

ЖУРБА М.Г.

СОКОЛОВ Л.И.

ГОВОРОВА Ж.М.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ



М.Г. Журба Л.И. Соколов Ж.М. Говорова

ВОДОСНАБЖЕНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ

в 3 томах

ТОМ 1

2-е издание, дополненное и переработанное

Допущено Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных
заведений, обучающихся по специальности «Водоснабжение
и водоотведение» направления подготовки
дипломированных специалистов
«Строительство»



Москва - 2003

Издательство Ассоциации строительных вузов

ББК 38.761.1.
УДК 628.1
П79

Рецензенты:

д.т.н., проф., академик РААСН *Дикаревский В.С.*,
д.т.н., проф. *Иванов В.Г.* (Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Водоснабжение и водоотведение»),
зав. каф., д.т.н., проф. *Стрелков А.К.* (Самарская Государственная архитектурно-строительная
Академия, кафедра «Водоснабжение и водоотведение»),
инж. *Самохин С.В.* (ГПИ «Союзводоканалпроект»)

Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М.

Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: издание второе, переработанное и дополненное. Учебное пособие. - М.: Издательство АСВ, 2003. - 288 с.

Научно-методическое руководство и общая редакция д.т.н., проф. М.Г. Журбы

ISBN 5-93093-210-7

Рекомендовано к изданию Министерством образования РФ в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Строительство" специальности "Водоснабжение и водоотведение".

В пособии приведены назначение, область применения, физико-химическая и биологическая суть методов, технологий и сооружений, конструктивные особенности сооружений и устройств систем водоснабжения. Даны методики их расчета и проектирования, снабженные необходимыми справочными графическими и табличными материалами.

Уделено должное внимание инвестиционному проектированию, оценке экологической деятельности предприятий, надежности и оптимизации систем водоснабжения, организации зон санитарной охраны. Приведены детальные примеры расчета основных сооружений и установок. Учебно-справочное пособие предназначено для инженерно-технических работников, преподавателей и студентов вузов, занимающихся проектированием систем и сооружений водоснабжения.

In the manual the general items of information, purpose, area of application, physical and chemical and biologic essence of methods, technologies, structures and devices of systems of water supply are given. The detailed techniques of their calculation and designing, supplied with necessary help graphic and tabular materials are presented as well.

The due attention is devoted to ecological and economic aspects of designing and evaluation of reliability of water supply systems, organization of zones of sanitary protection. In the appendices are given the examples of calculation of the basic structures and plants. The manual is intended for the engineering and technical workers, teachers and students of high schools, engaged in designing of systems and structures of water supply.

Компьютерная верстка: *А.А. Шмаев, Е.В. Орлов, Е.М. Лютова*
Дизайн обложки: *Н.С. Кузнецова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Сдано в набор 5.09.2002.
Подписано к печати 28.07.03. Формат 70х100/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. 18 п. л. Тираж 2000 экз. Заказ № 8534

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26
тел., факс 183-57-42
e-mail: iasv@norma.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленных диапозитивов в ППП «Типография «Наука»
121099, Москва, Шубинский пер., 6

ISBN 5-93093-210-7

© Журба М.Г. и др., 2003 г.
© Издательство АСВ, 2003 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие ко 2-му изданию.....	8
Введение.....	9
Том 1. СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ. ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ	
1. ИНВЕСТИЦИОННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ.....	11
1.1. Классификация инвестиционных проектов.....	11
1.2. Субъекты инвестиционной деятельности.....	12
1.3. Виды источников финансирования инвестиционных проектов.....	13
1.4. Этапы подготовки и реализации инвестиционного проекта.....	15
1.5. Порядок разработки, согласования и утверждения обоснований инвестиций.....	19
1.6. Состав и содержание обоснований инвестиций.....	22
1.7. Разработка проектной документации.....	31
2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОДОПРОВОДНО-КАНАЛИЗАЦИОННОГО ХОЗЯЙСТВА.....	40
2.1. Экологическое сопровождение и оценка деятельности предприятий.....	40
2.2. Экологическая оценка объекта строительства.....	43
2.3. Оценка воздействия объектов хозяйствования на окружающую среду.....	47
3. СИСТЕМЫ И СХЕМЫ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	54
3.1. Классификация систем.....	54
3.2. Выбор и очередность развития систем.....	56
3.3. Проектирование зонных систем водоснабжения.....	59
3.4. Специфика систем водоснабжения в условиях Севера.....	62
3.5. Локальные системы водоснабжения.....	69
4. ВОДОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	77
4.1. Классификация технической воды по целевому назначению.....	77
4.2. Схемы водобеспечения предприятий.....	77
4.3. Требования к качеству воды.....	80
4.4. Нормы водопотребления для предприятий.....	92
5. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	95
5.1. Основные понятия.....	95
5.2. Задачи и методология оценки надежности систем.....	99
5.3. Основы расчета надежности элементов системы.....	106
5.4. Расчет надежности стареющих элементов и систем.....	110
5.5. Надежность функционирования систем подачи и распределения воды.....	115
5.6. Резервирование и оценка надежности насосных станций.....	124
5.7. Надежность водозаборных сооружений и станций очистки воды.....	126
6. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСЧЕТЫ.....	130
6.1. Гидрологические изыскания.....	130
6.2. Расчет внутригодового распределения стока при наличии наблюдений.....	133
6.3. Определение характеристик расчетного годового стока при отсутствии данных измерений в проектном створе.....	139
6.4. Гидрологические и водохозяйственные расчеты при регулировании стока.....	143
6.5. Оценка качества воды в районах водозаборов.....	147

7. ВОДОЗАБОРЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ	155
7.1. Назначение и категории надежности водозаборов	155
7.2. Выбор места расположения и типа водозабора	156
7.3. Конструирование элементов сооружений в водозаборном узле	163
7.4. Оборудование водозаборных сооружений	183
7.5. Гидравлический расчет элементов водозаборов	194
7.6. Расчеты на устойчивость водозаборных сооружений	205
7.7. Мероприятия по рыбозащите и повышению надежности	209
7.8. Особенности проектирования водозаборов из промерзающих водоисточников	210
7.9. Проектирование водозаборов из каналов и горных рек	212
7.10. Особенности водозаборов на водоемах	220
7.11. Берегоукрепление	221
8. ВОДОЗАБОРЫ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ	223
8.1. Условия использования подземных вод. Стадии проектирования водозаборов	223
8.2. Типы подземных водозаборов и область их применения	227
8.3. Гидрогеологические и гидравлические расчеты водозаборных скважин ...	229
8.4. Расчет и конструирование основных элементов скважин	235
8.5. Подбор водоподъемного оборудования	242
8.6. Технология сооружения скважин на воду	249
8.7. Расчет и конструирование шахтных колодцев	259
8.8. Расчет и конструирование горизонтальных водозаборов	268
8.9. Расчет и конструирование лучевых водозаборов	271
8.10. Каптаж родниковых вод	276
8.11. Расчет сборных сифонных и напорных водоводов	277
8.12. Эксплуатация подземных водозаборов	282
Том 2. ОЧИСТКА И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ВОД	
9. КАЧЕСТВО ПРИРОДНЫХ ВОД	
9.1. Состав примесей в природных водах	
9.2. Классификации источников водоснабжения, природных вод и их примесей	
9.3. Качество воды поверхностных водоисточников	
9.4. Качество воды подземных водоисточников	
9.5. Требования к качеству очищенных вод	
10. ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ВОДООЧИСТКИ	
10.1. Эффективность традиционных водоочистных технологий	
10.2. Системный подход к выбору водоочистных технологий	
10.3. Технологические схемы очистки поверхностных вод	
10.4. Технологические схемы очистки и кондиционирования подземных вод	
10.5. Классификаторы технологий очистки природных вод	
11. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ВОДООЧИСТКИ И СОСТАВА СООРУЖЕНИЙ	
11.1. Методики технико-экономического обоснования	
11.2. Техничко-экономическое обоснование по приведенным затратам	
11.3. Техничко-экономическое обоснование инвестирования проектов	
11.4. Тарифная политика предприятий водопроводно-канализационного хозяйства	

- 12. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ БЕЗРЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД**
 - 12.1. Определение производительности водоочистной станции
 - 12.2. Сетчатые фильтры
 - 12.3. Гидроциклонные установки
 - 12.4. Сооружения для безреагентного отстаивания воды
 - 12.5. Водозаборно-очистные сооружения
 - 12.6. Медленные фильтры
 - 12.7. Предварительные зернистые фильтры
 - 12.8. Намывные фильтры
- 13. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ**
 - 13.1. Обработка воды химическими реагентами
 - 13.2. Электрохимическое коагулирование примесей
 - 13.3. Смесители
 - 13.4. Камеры хлопьеобразования
 - 13.5. Флотаторы
 - 13.6. Отстойники
 - 13.7. Осветлители со слоем взвешенного осадка
 - 13.8. Фильтровальные сооружения с тяжелой зернистой загрузкой
 - 13.9. Сооружения с плавающим фильтрующим слоем
- 14. ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ АНТРОПОГЕННЫЕ ПРИМЕСИ**
 - 14.1. Виды антропогенных примесей и методы их извлечения
 - 14.2. Технологические схемы очистки природных вод, содержащих антропогенные примеси
 - 14.3. Биологические методы очистки воды
 - 14.4. Озонирование природных вод
 - 14.5. Комплексная обработка воды физико-химическими методами
 - 14.6. Адсорбционная глубокая очистка питьевых вод
 - 14.7. Биосорбционная очистка воды
 - 14.8. Бытовые установки глубокой очистки водопроводной воды
- 15. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ, УСТАНОВОК И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД**
 - 15.1. Дегазация
 - 15.2. Стабилизационная обработка
 - 15.3. Обезжелезивание и деманганация
 - 15.4. Умягчение
 - 15.5. Обессоливание и опреснение
 - 15.6. Фторирование и обесфторивание
 - 15.7. Удаление бора и брома
 - 15.8. Удаление кремниевой кислоты
- 16. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД**
 - 16.1. Современные технологии обеззараживания воды
 - 16.2. Проектирование систем обеззараживания воды хлорреагентами
 - 16.3. Ультрафиолетовое облучение очищенной воды
 - 16.4. Обеззараживание воды озоном
 - 16.5. Физические методы интенсификации процессов обеззараживания

- 17. ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫВНЫХ ВОД, ОБРАБОТКА И УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ ВОДОПРОВОДНОЙ СТАНЦИИ**
 - 17.1. Влияние качества промывных вод на водоисточники и работу очистных сооружений
 - 17.2. Выбор технологической схемы и состава сооружений
 - 17.3. Расчет сооружений по очистке и повторному использованию промывных вод
 - 17.4. Естественные методы обработки осадков
 - 17.5. Искусственные методы обработки осадков
 - 17.6. Утилизация осадков
- 18. ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ВОДООЧИСТНЫХ СТАНЦИЙ**
 - 18.1. Постановка задачи
 - 18.2. Структурные блок-схемы
 - 18.3. Математические модели водоочистных станций
 - 18.4. Решение оптимизационных задач
 - 18.5. Системы управления водоочистой станцией в оптимальном режиме
- 19. КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ СТАНЦИЙ ОЧИСТКИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОДЫ**
 - 19.1. Станции очистки воды из поверхностных водоисточников
 - 19.2. Станции подготовки подземных вод
 - 19.3. Станции подготовки воды в промышленном узлеЛитература

Том 3. СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОДАЧИ ВОДЫ

- 20. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ**
 - 20.1. Выбор схемы питания и трассировка водопроводной сети
 - 20.2. Расчет разветвленной водопроводной сети
 - 20.3. Гидравлический расчет кольцевой водопроводной сети
 - 20.4. Применение ЭВМ для гидравлического расчета кольцевой водопроводной сети
 - 20.5. Оптимизация совместной работы систем подачи и распределения воды
 - 20.6. Детализация водопроводной сети
 - 20.7. Проектирование водоводов
 - 20.8. Сооружения и устройства на водоводах и распределительных сетях
- 21. ЗАПАСНЫЕ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ ЕМКОСТИ**
 - 21.1. Безнапорные регулирующие и запасные резервуары
 - 21.2. Напорно-регулирующие сооружения
 - 21.3. Расчет оптимальной регулирующей емкости на ЭВМ
- 22. НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ**
 - 22.1. Насосные станции первого подъема
 - 22.2. Насосные станции второго подъема
 - 22.3. Выбор основных типов насосов
 - 22.4. Трубопроводы и арматура насосных станций
 - 22.5. Системы заливки насосов
 - 22.6. Электросиловое оборудование
 - 22.7. Проектирование зданий насосных станций

23. ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

- 23.1. Основные принципы диспетчеризации систем водоснабжения
- 23.2. Автоматизация насосных станций
- 23.3. Автоматизация водозаборных сооружений
- 23.4. Автоматизация очистных станций

24. ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ

- 24.1. Границы зон санитарной охраны источников водоснабжения
- 24.2. Водоохранные зоны водопроводных систем
- 24.3. Границы зон санитарной охраны водоводов

25. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ

- 25.1. Техничко-экономическое обоснование систем водоснабжения
- 25.2. Выбор технологической схемы очистки поверхностных вод
- 25.3. Выбор технологической схемы кондиционирования подземных вод
- 25.4. Расчет надежности систем водоснабжения
- 25.5. Проектирование подземного водозабора
- 25.6. Проектирование поверхностного водозабора руслового типа
- 25.7. Гидравлический расчет водопроводной кольцевой сети с контррезервуаром
- 25.8. Расчет водопроводной кольцевой сети с применением ЭВМ
- 25.9. Проектирование водоводов от насосной станции второго подъема до водопроводной сети
- 25.10. Определение объема напорно-регулирующего резервуара
- 25.11. Подбор насосов первого и второго подъема
- 25.12. Техничко-экономический расчет оптимального диаметра труб
- 25.13. Проектирование станции очистки питьевой воды
- 25.14. Расчет и подбор вакуум-фильтра и осадительной центрифуги
- 25.15. Соотношение между единицами измерения концентраций растворов

Литература

Об авторах

ПРЕДИСЛОВИЕ КО 2-МУ ИЗДАНИЮ

В настоящем издании учтены замечания рецензентов и других специалистов по первому изданию книги и последние изменения и дополнения в нормативных документах по водоснабжению. Пособие дополнено новыми главами, имеющими актуальное значение в современных условиях: «Инвестиционное проектирование», «Водообеспечение промышленных предприятий», «Очистка природных вод, содержащих антропогенные примеси», «Основы проектирования диспетчеризации и автоматизации систем водоснабжения», «Технико-экономическое обоснование технологических схем водочистки». Дополнены главы по системам водоснабжения, оценке надежности, подземным водозаборам, выбору технологических схем водоочистки, проектированию сооружений для безреагентной и реагентной очистки поверхностных и кондиционированию подземных вод. Значительно переработана и расширена глава «Примеры расчетов и проектирования». В книге нашли отражение последние достижения научных исследований в области водоснабжения, проводимых в ГНЦ НИИ ВОДГЕО, НИИ КВОВ, МГСУ и других научно-исследовательских и учебных организациях страны. Расширен информационно-справочный материал по оборудованию и материалам для систем водоснабжения, поставляемых в Россию зарубежными фирмами.

Пособие рекомендовано к изданию Министерством образования РФ, Учебно-методическим объединением строительных вузов России по специальности «Водоснабжение и водоотведение» и Межведомственным Советом Российской Академии наук и Госстроя России «Химическая технология очистки природных и сточных вод» (председатель – академик РАН Яковлев С.В.).

Введение, главы 3, 8, 12, 13, 19, п.п.5.1, 5.3, 6.5 написаны д.т.н., проф. Журбой М.Г., главы 1,2,4, п.п.11.3, 25.14 - д.т.н., проф. Соколовым Л.И., главы 9,10,11,15, п.п. 25.2, 25.13 - к.т.н. с.н.с. Говоровой Ж.М., главы 14, 18 - д.т.н., проф. Журбой М.Г. и к.т.н. Говоровой Ж.М., глава 16 - д.т.н., проф. Журбой М.Г. и к.т.н. Ваниным В.В., глава 17 - д.т.н., проф. Журбой М.Г. и, д.т.н., проф. Соколовым Л.И.

Отдельные параграфы и главы пособия написаны:

п.п.5.2, 5.4 – д.т.н., проф. Ермолиным Ю.А. и д.т.н., проф. Алексеевым М.И., п.п.5.5-5.7 - к.т.н., доц. Гальпериным Е.М., глава 6 - к.т.н., доц. Лебедевой Е.А. и к.т.н., доц. Белым А.В., глава 7 - к.т.н., доц. Мезеневой Е.А., п.п.9.4, 25.3 – к.т.н., в.н.с. Ивлевой Г.А., п.13.2 - к.х.н., доц. Янковским А.А., п.14.7 - д.т.н., проф. Швецовым В.Н., п.п.20.1-20.3, 20.6-20.8, главы 21, 24 – к.т.н., доц. Медиоланской М.М., глава 22, п.п.20.4, 21.3 - к.т.н., доц. Гудковым А.Г., п. 20.5 - к.т.н., проф. Сомовым М.А., глава 23 – д.т.н. Лезновым Б.С., глава 25 – к.т.н., доц. Литвиненко Л.Л.

Авторы приносят благодарность коллективу кафедры «Водоснабжение и водоотведение» Санкт-Петербургского Университета путей сообщения, д.т.н., проф., академику Российской архитектурно-строительной академии Дикаревскому В.С., д.т.н., проф. Иванову В.Г., сотрудникам кафедры «Водоснабжение и водоотведение» СамГАСА, (зав. каф., д.т.н., проф. Стрелков А.К.), инж. Самохину С.В. ГП Союзводоканалпроект за ценные замечания и пожелания, сделанные ими при подготовке рукописи к изданию, а также сотрудникам издательства Ассоциации строительных вузов РФ (директор – Никитина Н.С.) по изданию настоящего пособия.

Замечания и пожелания специалистов по содержанию пособия просьба направлять по адресу: НИИ ВОДГЕО, лаборатория очистки природных вод и инженерных сооружений водоподготовки, г.Москва, Г-48, ГСП-2, Комсомольский пр., д.42, стр.2., 119992.

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в стране обострились проблемы надежного и рационального обеспечения населения, промышленных предприятий, сельского хозяйства и локальных потребителей водой необходимого качества.

Распад союзного государства и последующий за этим продолжительный спад экономики, переход на рыночные отношения и изменение форм собственности, снижение на отдельных этапах перестройки страны роли и функций органов санэпиднадзора, комитетов охраны и использования водных ресурсов – все это негативно сказалось и на работе водопроводных комплексов, предназначенных для добычи, производства и распределения среди потребителей воды требуемого качества и под нужным напором.

Несмотря на снижение объемов производства в последнее время продолжается фиксирование прогрессирующих загрязнений источников водоснабжения и расширение видов и диапазона концентраций загрязняющих веществ антропогенного (в первую очередь, техногенного) происхождения, попадающих в водотоки и водоемы. Это привело к тому, что построенные по проектам 50-60-х годов системы водоснабжения населенных мест и промпредприятий в настоящее время не в состоянии в должной мере решать возложенные на них задачи. Положение усугубляется и известными трудностями в подготовке инженерных кадров соответствующей квалификации для предприятий водопроводно-канализационного хозяйства, снижением роли и функций ведомственных и межведомственных комиссий по приему в производство вновь создаваемых и реконструируемых сооружений, технологий и систем водоснабжения в целом.

Одной из серьезных причин, препятствующих устранению отмеченных негативных явлений, является сокращение в последние два с половиной десятилетия подготовки изданий нормативно-справочной и учебной литературы по проектированию систем водоснабжения и их элементов. Последнее пособие из такого рода – «Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промпредприятий» под редакцией инж. Назарова И.А., был издан в 1977 г.

Между тем, завершение работ по подготовке новой редакции СНиП «Водоснабжение населенных мест и промпредприятий», г.Москва, 2003, ввод с 2001 г. СанПиН 2.4.1.1074.01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», «Правил эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения», г.Москва, НИИ ВОДГЕО, 2000 г. и др., создание новых и усовершенствование существующих технологий, сооружений и устройств аппаратного оформления систем водоснабжения требует обновления, изменений и дополнений методик их проектирования.

Настоящее учебно-справочное пособие ставит своей целью восполнить сложившийся к настоящему времени дефицит технической литературы в данной отрасли с учетом выхода в свет в 2002 году новых изданий законодательных и нормативно-технических документов, касающихся проектирования, строительства и эксплуатации систем водоснабжения. Оно состоит из трех частей: 1 – Системы водоснабжения. Водозаборные сооружения; 2 – Очистка и кондиционирование природных вод; 3 – Системы распределения и подачи воды.

По структуре и методическому подходу к изложению материала предлагаемое проектировщикам, строителям и эксплуатационному персоналу водопроводов, экологам и сотрудникам Центров санэпиднадзора, а также исследователям и студентам ВУЗов по

специальностям «Водоснабжение и водоотведение» и «Охрана водных ресурсов» пособие отличается от ранее изданных тем, что в нем приводятся более детализированные методики и примеры расчетов, взаимосвязанные со вспомогательным справочным материалом. Даются решения комплекса основных задач по водоснабжению (в том числе, связанных с усилением антропогенного воздействия на водоисточники). Подробно излагаются методы определения расчетных расходов воды, основы выбора и проектирования систем и схем водоснабжения, водозаборов из подземных и поверхностных источников, сооружений для очистки и кондиционирования поверхностных и подземных вод, систем подачи и распределения воды в населенных пунктах, напорно-регулирующих сооружений (в том числе с применением ЭВМ и оптимизационным подходом к работе составляющих водопроводных комплексов), насосных станций, оценка надежности систем и эколого-экономические основы проектирования. Даны детальные примеры расчетов систем сооружений и установок.

По каждому сооружению или комплексу таковых приводятся последовательно: область применения, назначение, принцип действия и физико-химические основы работы сооружений и технологий, реализуемых с их помощью; а затем – в общепринятой последовательности, приводятся расчетные зависимости для определения технологических и конструктивных параметров сооружений, установок и элементов технологического и механического оборудования. Практическая реализация представленных в книге методов расчетов и конструирования подкреплена обширными справочными и графическими материалами, позволяющими избежать во многих случаях необходимости обращения дополнительно к другим техническим справочным изданиям.

К каждой из частей пособия приводится список дополнительной литературы по тематике излагаемого материала.

1. ИНВЕСТИЦИОННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Под инвестиционным проектом понимают обоснование экономической целесообразности, объема и сроков осуществления капитальных вложений, включающее проектно-сметную документацию, разработанную в соответствии с законодательством РФ и утвержденными в установленном порядке стандартами (нормативами и правилами), а также описание практических действий по осуществлению инвестиций путем подготовки бизнес-плана (Федеральный закон №39 от 25.02.1999г. «Об инвестиционной деятельности в РФ, осуществляемой в форме капитальных вложений»).

Здесь, в частности, имеются в виду нормативы амортизационных отчислений, состава затрат, записываемых в себестоимость продукции, строительные нормативы, положения налогового законодательства, бухгалтерского учета и другие.

Всякий проект для своего осуществления нуждается в ресурсах – финансовых, материальных, трудовых. Ресурсы необходимы для осуществления как процесса производства, так и процесса управления.

На самом раннем этапе работы с проектом возникает необходимость в сборе максимально полной информации о сфере реализации проекта, об участниках этого проекта о правовом обеспечении нормального хода производственного процесса. На стадии разработки проектной документации эта информация дополняется и уточняется.

Инвестиционные проекты классифицируются по степени их обязательности, по срочности и по степени связанности:

По степени обязательности:

Обязательные. Эти проекты требуются для выполнения правил или норм (например, обеспечение населения качественной питьевой водой в требуемом количестве). Они предназначены для обновления и поддержания активов в рабочем состоянии. К этому типу относятся проекты, призванные обеспечить контрактные обязательства, например, по охране окружающей природной среды.

Необязательные. Сюда можно отнести любые необязательные проекты развития, например, замена вышедшего из строя оборудования.

По срочности:

Неотложные. Эти проекты, недоступные в будущем либо способные потерять привлекательность при отсрочке.

Откладываемые. Наряду с неотложными проектами существует довольно большой спектр инвестиций, которые можно отложить, поскольку их привлекательность меняется во времени незначительно. Пример — реактивация остановленных скважин на воду.

По степени связанности:

Альтернативные. Существуют проекты, в связи с которыми принятие одного проекта исключает принятие другого. Эти проекты являются как бы конкурентами за ресурсы предприятия. Оценка этих проектов происходит одновременно, а осуществляться одновременно они не могут. Примерами могут служить проекты, которые полностью исчерпывают имеющиеся на данный момент ресурсы фирмы: установка спутниковой связи на предприятии или освоение нового месторождения.

Независимые. Отклонение или принятие одного из таких проектов не влияет на принятие решения в отношении другого проекта, эти проекты могут осуществляться одновременно, их оценка происходит самостоятельно. Например, реализация проекта реконструкции фильтров на водопроводной станции и реализация проекта реконструкции реагентного хозяйства на той же станции.

Взаимосвязанные. Принятие одного проекта зависит от принятия другого. Типичный пример: выбор источника водоснабжения предполагает проекты водозаборных и очистных сооружений водопровода, насосной станции, санитарно-защитных зон источника водоснабжения.

1.2. СУБЪЕКТЫ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Субъектами инвестиционной деятельности являются:

- инвесторы;
- заказчики;
- подрядчики;
- пользователи объектов капитальных вложений.

Инвесторами являются те, кто осуществляет капитальные вложения с использованием собственных и/или привлеченных средств для реализации проекта.

Инвесторами могут быть: физические лица, юридические лица, объединения юридических лиц, создаваемые на основе договоров о совместной деятельности, государственные органы, органы местного самоуправления, а также иностранные субъекты инвестиционной деятельности.

Иностранными инвесторами являются:

- иностранные юридические лица;
- иностранные организации, не являющиеся юридическими лицами;
- иностранные граждане;
- лица без гражданства, постоянно проживающие за пределами РФ;
- международные организации;
- иностранные государства.

К приоритетным инвестиционным проектам относят:

- проекты с суммарным объемом иностранных инвестиций, составляющим не менее 1 млрд.руб. (или эквивалентная сумма, выраженная в иностранной валюте по курсу ЦБР);
- проекты, в которых минимальная доля иностранных инвесторов в уставном капитале составляет не менее 100 млн.руб.

Прямые иностранные инвестиции – это приобретение иностранным инвестором доли в уставном капитале предприятия свыше 10 %.

Заказчиками называют уполномоченных на то инвесторами физических и юридических лиц, осуществляющих реализацию инвестиционных проектов.

Заказчик, не являющийся инвестором, наделяется правами владения, пользования и распоряжения капитальными вложениями на период и в пределах полномочий, которые установлены договором и/или государственным контрактом.

Подрядчики – это физические и юридические лица, которые выполняют работы по договору подряда и/или государственному контракту, заключаемым с заказчиками.

Подрядчики обязаны иметь лицензию.

1.3. Виды источников финансирования инвестиционных проектов

Различают следующие виды источников финансирования инвестиционных проектов:

- внутренние источники финансирования;
- внешние источники финансирования.

К внутренним источникам финансирования проектов относят:

- собственные средства предприятий;
- экологические фонды, фонд водных ресурсов;
- бюджет;
- коммерческие банки;
- частный капитал.

К собственным средствам предприятия относят:

- амортизационные отчисления, идущие на восстановление основных фондов по охране окружающей природной среды;
- прибыль предприятия, часть которой направляется на строительство и реконструкцию систем водоподготовки, подачи и распределения воды или на модернизацию технологических процессов.

Экологические фонды (ЭФ) – это федеральный экологический фонд (10-18 % платежей), региональные ЭФ (25-30% платежей), местные ЭФ (57-60% платежей).

Источниками поступления в ЭФ являются:

1. Плата за выбросы и сбросы загрязняющих веществ, размещение отходов в пределах лимитов и нормативов и сверх них.
2. Взыскания и штрафы.
3. Прибыль, полученная от использования средств в ЭФ.
4. Погашение кредитов плюс проценты.
5. Прочие поступления.

Уровнями бюджетного финансирования являются: федеральный; региональный; местный.

Финансирование из бюджета развития РФ осуществляется:

1. Путем кредитования отобранных на конкурсах инвестиционных проектов, обеспеченных собственными средствами инвестора и другими источниками финансовых ресурсов (в дополнение к бюджетным средствам).
2. Посредством прямых инвестиций в имущество коммерческих организаций, осуществляющих инвестиционные проекты, при соответствующем увеличении доли государства в уставных капиталах этих организаций.
3. Предоставление государственных гарантий по кредитам.

Использование денежных средств бюджета развития осуществляется:

1. На финансирование инвестиционных проектов, отобранных на конкурсной основе в соответствии с Федеральным законом
 - исполнение обязательств Правительства РФ по предоставленным инвесторами государственным гарантиям.
2. Исключительно на конкурсной основе на условиях возвратности, платности и срочности.

Условиями предоставления средств на природоохранные проекты российскими коммерческими банками являются:

- небольшой срок окупаемости проекта (2-2,5 года);
- кредитная ставка не менее 26% годовых для кредитов в российских рублях;

- величина кредита не более 2 млн.долларов США.

Основными направлениями инвестирования частного капитала могут служить системы водоснабжения, водоотведения и энергосбережения, установки по утилизации и переработке отходов, производство некоторых видов природоохранного оборудования (приборы доочистки воды). Использование частных услуг осуществляется в различных формах, от простых контрактов на услуги до передачи отдельных объектов городской инфраструктуры в частную собственность.

В мировой практике привлечения частного капитала используются различные формы договоров: простой договор на оказание услуги, договор на оказание услуги и ремонт мощностей, договор на концессию, включающий также осуществление инвестиций в городские объекты, долгосрочный контракт на строительство или реконструкцию мощностей с последующей передачей в собственность, совместное владение объектами. Распределение ответственности и доходов между муниципальными органами управления и частными организациями определяется формой контракта. Проекты по строительству и реконструкции объектов городской инфраструктуры, требующие значительных инвестиций, в то же время имеют предсказуемый размер доходов в условиях роста тарифов на энергоснабжение, водоснабжение и водоотведение, удаление отходов. Вовлечение частных услуг в эту сферу деятельности позволяет упростить управление, снизить эксплуатационные издержки, повысить эффективность работы муниципальных служб.

Виды финансирования Международными финансовыми организациями (МФО): инвестирование в форме участия в капитале; займы; гранты; гарантии.

Инвестирование в форме участия в капитале предполагает подписку на обычные акции или подписку на привилегированные акции.

Использование обычных акций предполагает нефиксированный уровень дохода на акции. Выплачивать или не выплачивать дивиденд решается голосованием акционеров.

При применении привилегированных акций устанавливается фиксированный уровень дохода на акции. Выплата производится независимо от результатов деятельности предприятия в данном году.

МФО обычно участвуют в капитале, покупая привилегированные акции.

Различают следующие виды займов:

- по методу выплат (займы по методу аннуитета (выплачивается сумма долга с процентами), серийные займы (выплата равными долями равной суммы долга за 2-3 периода), в виде «пули» (выплачивается процент в течение всего срока, а в конце вся сумма основного капитала));

- субзаймы (средства взяли - отдали другому);

- займы в одной или смешанных валютах;

- льготные займы (возвращается только сумма долга без процентов, либо с учетом минимального процента).

Международными финансовыми организациями могут быть выделены гранты на оборудование и техническая помощь в форме передачи опыта, технологий, ноу-хау следующим путем: передача результатов исследований, обзоров, информационных материалов; обучение.

Гарантии МФО - обязательство стороны, представляющей гарантию выплатить заем, если основной заемщик по каким-то причинам не может выплатить свой долг.

Цена гарантии называется премией.

Международные финансовые организации устанавливают следующие ставки кредитования:

- **рыночные ставки** (основаны на коммерческих условиях, имеющихся на международном рынке. Могут быть переменными или фиксированными).

- **субсидированные ставки процента** (все ставки процента ниже коммерческих).

Субсидия покрывается финансирующей организацией в рамках международного соглашения (соглашение ОЭСР регулирует организацию экспортных кредитов, включая условия льготных займов).

МФО может быть установлен срок займа и льготный период.

Срок займа – это величина периода выплат (обычно до 10 лет, но зависит от характера инвестиций; для займов с правительственной гарантией срок займа может быть установлен до 20 лет).

Льготный период – это первые годы займа, в течение которых выплата основной суммы займа не производится. При этом процент должен выплачиваться. Может быть предоставлен льготный период до 3-5 лет, однако это – предмет переговоров и получения соответствующих договоренностей между сторонами.

Наиболее крупные МФО:

- Международный банк реконструкции и развития (МБРР)
- Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР)
- Международная финансовая корпорация (МФК)
- Европейское сообщество (ЕС)

Таким образом, перечень существующих и потенциально возможных источников финансирования инвестиционных проектов систем водоснабжения и водоотведения включает:

Внутренние источники финансирования

- государственный бюджет (федеральный, региональный, муниципальный);
- экологические фонды;
- собственные средства предприятий;
- фонды отраслевых министерств;
- коммерческие займы банков;
- инвестиционные венчурные фонды;
- платежи за природные ресурсы.

Внешние источники финансирования

- международные организации;
- двусторонние соглашения;
- международные финансовые институты.

1.4. Этапы подготовки и реализации инвестиционного проекта

Создание объекта строительства систем водоснабжения и водоотведения осуществляется в непрерывном инвестиционном процессе с момента возникновения идеи до сдачи объекта в эксплуатацию.

В инвестиционном процессе проектная подготовка строительства состоит из трех основных этапов.

1-ый этап — определение цели инвестирования, назначения и производительности объекта строительства, места (района) размещения объекта с учетом принципиальных требований (соблюдение водоохраных и санитарно-защитных зон и условий заказчика

(инвестора). На основе необходимых исследований и проработок об источниках финансирования, условиях и средствах реализации поставленной цели заказчиком проводится оценка возможностей инвестирования и достижения намечаемых технико-экономических показателей.

С учетом принятых на данном этапе решений заказчик представляет, в установленном порядке, ходатайство (декларацию) о намерениях (см. ниже в разделе 1.5).

После получения положительного решения соответствующего местного органа исполнительной власти заказчик приступает к разработке обоснований инвестиций в строительство.

2-ой этап—разработка обоснований инвестиций в строительство на основании полученной информации, требований государственных органов и заинтересованных организаций, в объеме, достаточном для принятия заказчиком решения о целесообразности дальнейшего инвестирования, получения от соответствующего органа исполнительной власти предварительного согласования места размещения объекта (акта выбора участка) и о разработке проектной документации.

3-ий этап—разработка, согласование, экспертиза и утверждение проектной документации, получение на ее основе решения об изъятии земельного участка под строительство.

Основные этапы реализации инвестиционного проекта и системы экологического мониторинга представлены на следующих упрощенных схемах (рис. 1.1-1.5).

Структура инвестиционного проекта предусматривает организацию экологического мониторинга и активный учет экологических последствий от реализации проекта и последующей эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения. Структура инвестиционного проекта позволяет обеспечить связь в управлении проектным и производственным процессами.

Экологическая инициатива на ранних стадиях выбора объекта инвестирования и правильного выбора его местонахождения обеспечивает достаточный объем информации для принятия сбалансированных эколого-экономических проектных решений.

По схемам можно проследить последовательные шаги экологического сопровождения каждого этапа реализации инвестиционного проекта, выделить узловые моменты, в разработке которых участвуют экологи.

На стадии инвестиционного замысла при оценке возможности инвестирования должна быть детально изучена экологическая характеристика района размещения объекта, как правило, в рамках административных границ области или района.

В экологическом обосновании возможности инвестирования приводятся природные и техногенные особенности территории, способные повлиять на выбор места размещения объекта: сейсмичность территории, возможность развития опасных природных процессов; водообеспеченность территории и степень вовлечения водных ресурсов в хозяйственную деятельность; промышленный потенциал и индекс промышленного освоения; структура и характер землепользования; сельскохозяйственное использование земель; показатели развития поселений и демографические структуры; социально-бытовые условия; ресурсный потенциал территории, состояние экосистем, устойчивость к антропогенным нагрузкам, экологическая емкость.

На основании собранного материала выделяются территории целесообразного размещения объекта с природной и экономической позиций.

Выбор территории размещения объекта должен выполняться с учетом дополнительных инвестиций на компенсацию возможного ущерба от воздействия на природные и экологические условия.

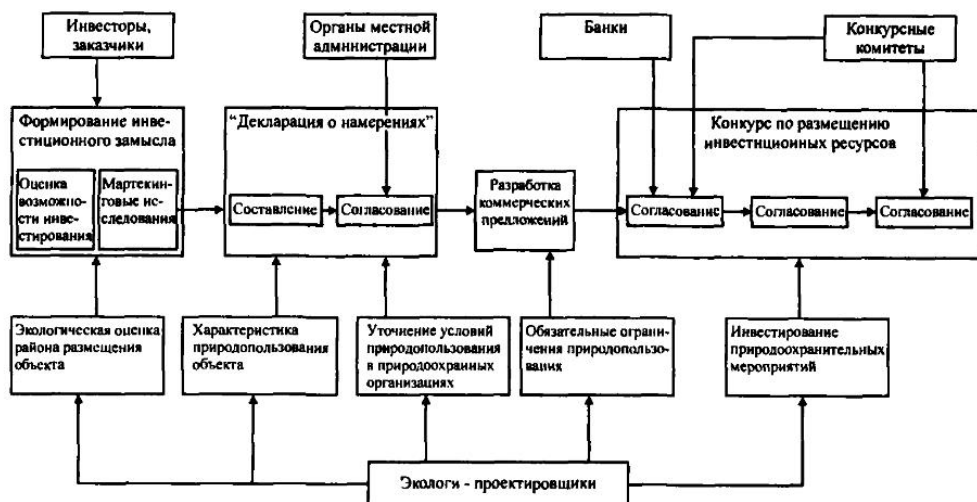


Рис. 1.1. Алгоритм определения цели инвестирования при проектной подготовке строительства



Рис. 1.2. Алгоритм обоснований инвестиций

———— ведущие исполнители
 - - - - - соисполнители

В процессе эксплуатации объекта бывают стадии технического перевооружения, реконструкции, расширения и ликвидации. На каждой стадии техническая документация сопровождается проведением ОВОС, разработкой раздела «Охрана окружающей среды» и экологической экспертизой, если технические решения предполагают внесение изменений в условия природопользования или социально-экономические условия, согласованные ранее уполномоченными на то органами.

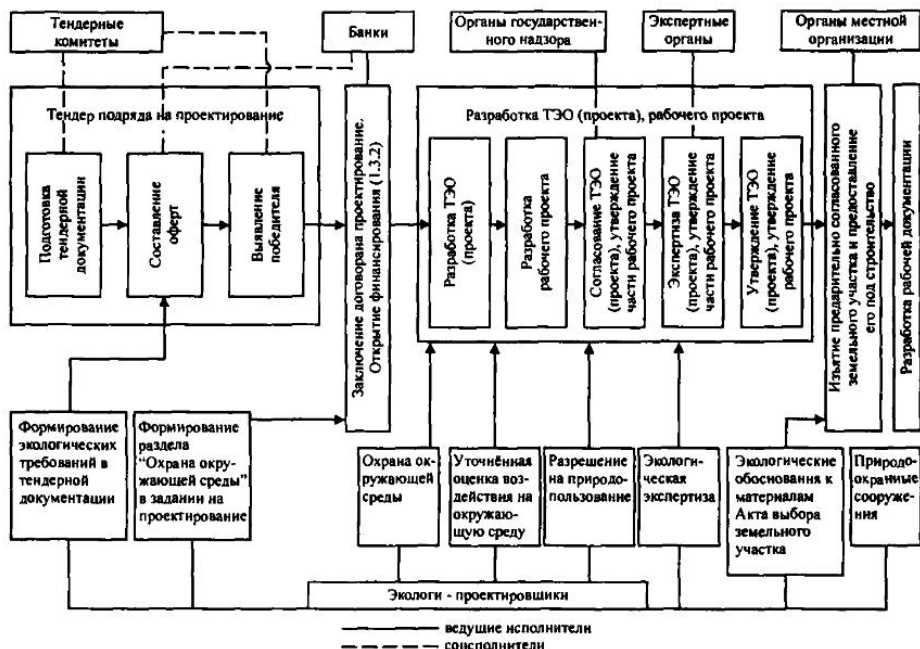


Рис. 1.3. Алгоритм разработки проектной документации

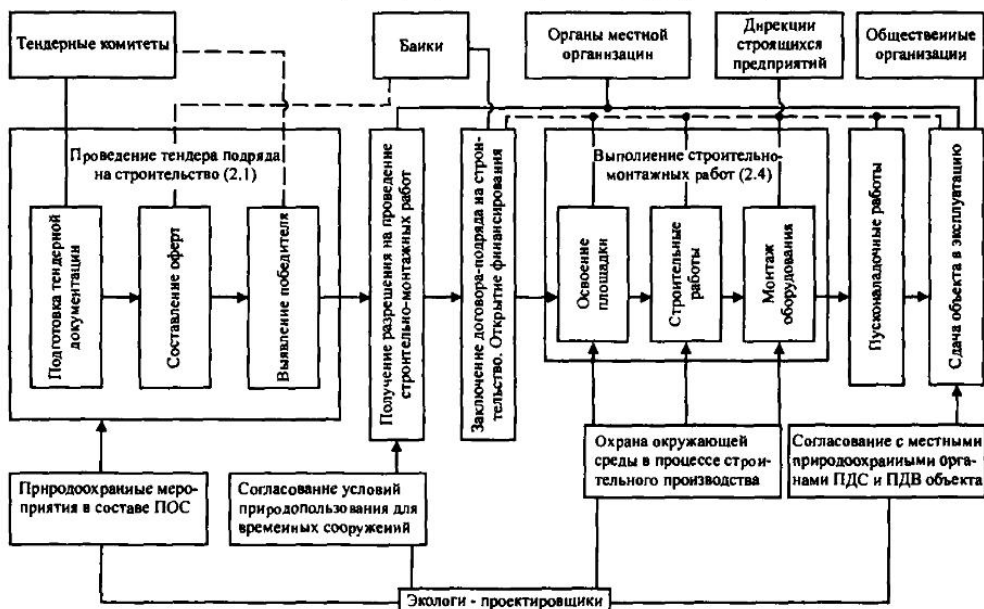


Рис. 1.4. Алгоритм организации строительно-монтажных работ

Обоснования инвестиции разрабатываются, как правило, заказчиком с привлечением, при необходимости, на договорной основе проектных, проектно-строительных организаций и других юридических и физических лиц, получивших в установленном порядке право на соответствующий вид деятельности.

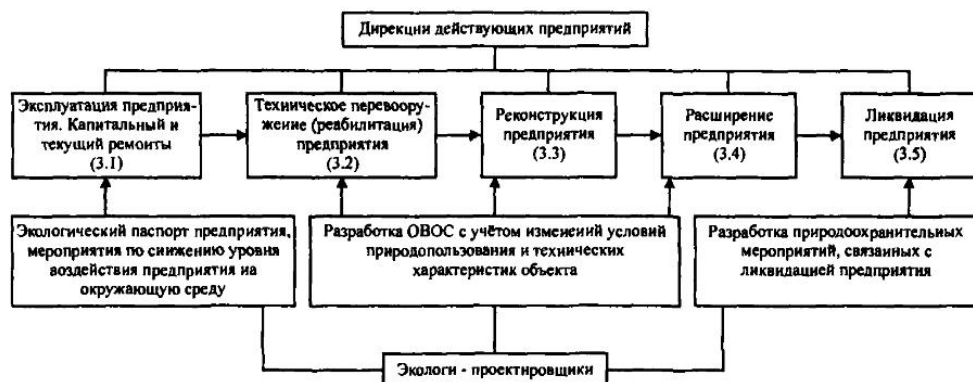


Рис. 1.5. Алгоритм эксплуатации предприятия

1.5. Порядок разработки, согласования и утверждения обоснований инвестиций

Заказчик, исходя из целей инвестирования и исследования ситуации на рынке продукции и услуг, с учетом решений и рекомендаций, принятых в программах, прогнозах и схемах развития и размещения производительных сил и иных материалов, составляет Ходатайство (Декларацию) о намерениях.

Ходатайство (Декларация) о намерениях имеет следующую структуру:

1. Инвестор (заказчик) — адрес.
2. Местоположение (район, пункт) намечаемых к строительству водоводов, сетей предприятия, зданий, сооружений или намечаемых к разработке скважин или группы скважин.
3. Наименование предприятия, его технические и технологические данные (например, производительность станций водоподготовки, протяженность сетей, состав сооружений и т.д., срок строительства и ввода объектов в эксплуатацию).
4. Примерная численность рабочих и служащих.
5. Ориентировочная потребность предприятия в сырье и материалах (в реагентах и т.п.).
6. Ориентировочная потребность предприятия в водных ресурсах (объем, источник водообеспечения).
7. Ориентировочная потребность предприятия в энергоресурсах (электроэнергия, тепло, пар, топливо), источник снабжения.
8. Транспортное обеспечение.
9. Обеспечение работников и их семей объектами жилищно-коммунального и социально-бытового назначения.
10. Потребность в земельных ресурсах (с соответствующим обоснованием примерного размера земельного участка и сроков его использования).
11. Водоотведение стоков. Методы очистки, качество сточных вод, условия сброса, использование существующих или строительство новых очистных сооружений.
12. Возможное влияние предприятия, сооружения на окружающую среду:
виды воздействия на компоненты природной среды (типы нарушений, наименование и количество ингредиентов - загрязнителей);

возможность аварийных ситуаций (вероятность, масштаб, продолжительность воздействия).

13. Отходы производства (виды, объемы, токсичность), способы утилизации.

14. Источники финансирования намечаемой деятельности, учредители, участвующие пайщики, финансовые институты, коммерческие банки, кредиты.

Важнейшим разделом документа является характеристика природопользования предприятия и его возможное влияние на окружающую среду. Экологическая часть «Декларации о намерениях» составляется, как правило, на основе изучения показателей деятельности аналогичного предприятия с последующей корректировкой, учитывающей особенности инвестиционного замысла. На этом этапе должна быть достаточно точно определена потребность в социальных и природных ресурсах, установлены объемы и масштаб загрязнения окружающей природной среды. В документе декларируются, кроме технических параметров объекта: потребность в ресурсах (трудовых, земельных, сырьевых, водных); источники загрязнения (вид, количество) и возможное воздействие на окружающую природную среду; размеры водоохранной зоны, санитарно-защитной зоны и зоны влияния объекта; обязательства заказчика по соблюдению экологических требований.

«Декларация о намерениях» направляется в органы местной администрации и по согласованию с ней в заинтересованные ведомства. Как правило, туда к ним относятся комитет по экологии и природопользованию, комитет по землеустройству, центр госсанэпиднадзора, управление водных ресурсов, управление жилищно-коммунальным хозяйством, управление лесами, инспекция рыбоохраны, росохотинспекция, дирекция по охране и реставрации памятников, центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и другие ведомства по усмотрению местной администрации, участвующие в согласовании Акта выбора земельного участка.

На основе данных, приведенных в «Декларации о намерениях», органы местной администрации решают вопрос о предварительном согласовании места размещения объекта и предлагают несколько вариантов площадок. Изменение экологических характеристик объекта в сторону увеличения воздействия приводит к повторному согласованию условий размещения объекта.

При рассмотрении «Декларации о намерениях» территориальными органами Минприроды устанавливаются дополнительные требования к условиям природопользования, связанные с экологическими характеристиками территории возможного размещения объекта, которые должны быть учтены при разработке коммерческих предложений и обосновании инвестиций.

Достаточно проработанная «Декларация о намерениях», отражающая полную характеристику объекта как в технико-экономическом плане, так и в части соблюдения экологических требований и условий природопользования, позволяет перейти к разработке «Обоснований инвестиций».

Таким образом, уже на этапе формирования , инвестиционного замысла проводится контроль за возможным влиянием объекта на окружающую природную среду.

Основным документом, регулирующим правовые и финансовые отношения, взаимные обязательства и ответственность сторон, в случае привлечения к разработке Обоснований проектных, проектно-строительных организаций и других юридических и физических лиц, является договор.

Неотъемлемой частью договора должно быть задание на разработку обоснование инвестиций, в котором приводятся исходные данные, основные технико-экономические показатели и требования заказчика.

Примерный перечень данных и требований, включаемых в задание на разработку обоснования инвестиций, состоит из следующих положений:

1. Основные данные о заказчике-инвесторе.
2. Местоположение предприятия, зданий сооружений, водоводов, сетей и т.п.
3. Цель и источники инвестирования, объем предусмотренных финансовых средств.
4. Пропускная способность, производительность станций, сооружений и других систем.
5. Требования к технологии подготовки воды и основному оборудованию.
6. Требования к архитектурно-планировочным, конструктивным и инженерным решениям.
7. Требования к охране окружающей природной среды.
8. Особые условия строительства.
9. Основные технико-экономические характеристики и показатели объекта.

К заданию прикладываются:

а) материалы, полученные от местных органов исполнительной власти, в том числе решения по результатам рассмотрения Ходатайства (Декларации) о намерениях, предварительных условиях на возможное присоединение предприятия (здания, сооружения) к источникам снабжения, инженерным сетям и коммуникациям, картографические (топографические) материалы, ситуационный план и пр., требования по санитарно-эпидемиологическим, экологическим условиям;

б) устанавливаемые качественные показатели воды на выходе, данные о себестоимости подготовки (очистки) воды;

в) требования по созданию (применению, использованию) технологических процессов и оборудования;

г) другие материалы.

Согласование намеченных в «Обоснованиях» решений по строительству объекта и условий предварительного согласованного места его размещения производится заказчиком или, по его поручению, юридическими и физическими лицами - разработчиками Обоснований.

Предварительное согласование места размещения объекта не производится в случаях предоставления земельных участков в городах и других населенных пунктах, где решение о размещении площадки (трассы) для строительства принимается органом местного самоуправления (администрацией) в соответствии с утвержденной градостроительной документацией (генеральными планами городов и других поселений, схемами и проектами планировки и застройки территориальных образований и др.).

«Обоснования» подлежат государственной экспертизе в установленном порядке.

Материалы «Обоснований» направляются в соответствующий орган исполнительной власти для оформления Акта выбора земельного участка (площадки, трассы) для строительства с приложением необходимых согласований и решения об утверждении предварительного согласования места размещения объекта.

Утверждение (одобрение) «Обоснования» заказчиком осуществляется на основе заключения государственной экспертизы и решения органа исполнительной власти о согласовании места размещения объекта.

Материалы «Обоснований» могут использоваться заказчиком для:

- проведения социологических исследований, опросов общественного мнения и референдумов о возможности сооружения объекта.

- разработки бизнес-плана, обеспечивающего подтверждение кредитору или организации гарантии по кредитам, платежеспособности и финансовой устойчивости предприятия или иного объекта инвестирования в части возможности инвестора выполнения обязательств по долгам;

- переговоров с государственными и местными органами исполнительной власти о предоставлении ему субсидии, налоговых и иных льгот.

В «Обоснованиях» должны выполняться альтернативные проработки, расчеты для всех предложенных земельных участков, в том числе, принципиальные объемно-планировочные решения, расчеты по определению эффективности инвестиций, социальных, экологических и других последствий осуществления строительства и эксплуатации объекта, а также по определению убытков землевладельцев, землепользователей, арендаторов, потерь сельскохозяйственного производства, связанных с изъятием земельного участка.

1.6. Состав и содержание обоснований инвестиций

Описание состава и содержания «Обоснований инвестиций» начинается с представления исходных данных. При этом указываются цели инвестирования, экономических, социальных эффекты, ожидаемые от функционирования объекта в намечасмом месте (районе) строительства, при заданных его параметрах, соблюдении обязательных требований и условий строительства.

Основанием и условиями, необходимыми для разработки «Обоснований инвестиций» являются результаты технико-экономических оценок на основе имеющихся материалов и исследований, градостроительной документации, а также требований, изложенных в задании на разработку «Обоснований инвестиций» и в Ходатайстве о намерениях.

Далее анализируется общая характеристика объекта инвестирования, водопотребность населенного пункта и представляются данные о необходимых ресурсах, сведения об окружающей природной среде (наличие водоохранных зон, возможность соблюдения санитарно-защитных зон, роза ветров и т.п.), сведения о рынке строительных услуг, предприятиях-поставщиках оборудования и материалов и пр.

Далее приводятся данные о производительности станции водоподготовки (очистных сооружений), расходах, качестве воды на выходе из сооружений, а также основные технологические решения.

Основные технологические решения включают:

- обоснование выбранной технологии подготовки воды и необходимого реагентного хозяйства на основе сравнения возможных вариантов технологических процессов (схем) по уровню их экономической эффективности, технической безопасности, потреблению ресурсов на кубометр воды, а также оценку степени риска и вероятности возникновения аварийных ситуаций;

- источники и порядок приобретения технологии подготовки воды и ее краткая характеристика, требования к основному технологическому оборудованию, выполнение которых обеспечивает технологическую и экологическую безопасность предприятия, обоснование выбора основного оборудования и источники его приобретения;

- решения по оптимальному использованию сырья, реагентов и переработке производственных отходов (осадков), по утилизации и безопасному уничтожению и хранению отходов очистки;

- описание производственно-технологической структуры и состава предприятия.

Далее анализируется обеспеченность предприятия ресурсами. Устанавливается годовая потребность предприятия в необходимых ресурсах: сырье, реагентах, воде, топливе, энергии, комплектующих и др., исходя из установленной производственной программы, принятых технологий и оборудования. Проводится анализ и обоснование возможных источников и условий получения ресурсов, оценка их надежности. Проводятся требования к качеству и способам подготовки реагентов перед использованием и дается расчет ежегодных расходов на обеспечение предприятия сырьевыми ресурсами.

В содержании «Обоснований инвестиций» должно быть описано место размещения предприятия (станции, сооружений). При этом указываются основные требования к месту (площадке, трассе) размещения объекта, выполняется анализ возможных вариантов мест размещения объекта, делается обоснование выбранного места размещения объекта с учетом социальной, экономической и экологической ситуации в регионе, наличия сырьевых ресурсов, транспортных коммуникаций, инженерных сетей и других объектов производственной и социальной инфраструктуры и дается краткая характеристика выбранного варианта размещения объекта, основные критерии его оптимальности.

В состав «Обоснований инвестиций» должны включаться картографические и другие материалы, в том числе, схема ситуационного плана с размещением объекта строительства и указанием мест присоединения его к инженерным сетям и коммуникациям, схема генерального плана объекта, обосновывающие размеры земельного участка.

Приводятся основные строительные решения, включающие принципиальные объемно-планировочные и конструктивные решения, основные параметры наиболее крупных и сложных зданий и сооружений, сроки и очередность строительства, потребность в строительной продукции и материалах; соображения по организации строительства.

В «Обоснованиях инвестиций» должны быть приведены решения по энергообеспечению, тепло-, водоснабжению и водоотведению.

В рамках «Обоснований инвестиций» проводится «Оценка воздействия объекта на окружающую среду» (ОВОС) по каждому варианту площадки и каждому варианту технологических решений.

Задачами комплекса работ по проведению ОВОС являются: выбор приоритетных по технологии и затратам вариантов проектных решений; определение максимально возможных последствий воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду по каждому варианту площадки с учетом конкретных природных и техногенных факторов, сложившихся в данном регионе.

Проведение ОВОС именно на стадии «Обоснования инвестиций» обеспечивает возможность принятия решения о строительстве объекта со стороны местной администрации на основании полной картины возможного воздействия объекта на окружающую среду и дает прогнозную оценку экологических последствий эксплуатации объекта, а со стороны инвестора — определение объемов дополнительных инвестиций на природоохранные мероприятия по каждому варианту площадки.

Отсюда требования к содержанию ОВОС включают в себя: детальную характеристику природных условий, фоновое загрязнение окружающей природной среды, загрязнение водных источников, характеристику источников загрязнения объекта, расчеты санитарно-защитной зоны и зоны воздействия, эколого-экономическую оценку ущерба от строительства и эксплуатации объекта.

В характеристике природных условий прежде всего отмечаются те факторы, которые могут повлиять на степень экологического риска и безопасность эксплуатации объ-

екта на даниой площадке. К таким факторам относятся: сейсмичность территории, опасные геологические процессы, условия залегания и степень защищенности подземных вод, гидрологические и гидробиологические характеристики водных объектов, аэроклиматические характеристики и другие специфические данные о природных условиях территории, попадающей в зону воздействия объекта.

Приводятся данные о хозяйственном использовании территории в сложившихся социально-экономических условиях. При этом выделяются особо сохраняемые территории, к которым относятся природные заповедники, национальные природные парки, заказники, охранные зоны водоемов, природные памятники, а также культурные и исторические заповедники, памятники культуры и архитектуры, курортно-лечебные зоны, зоны отдыха и туризма.

Устанавливаются состояние и степень загрязнения каждого компонента окружающей природной среды: загрязненность атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, состояние лесов, почв, прибрежных зон. Данные о фоновых загрязнениях окружающей природной среды выдаются территориальными комитетами охраны природы и природных ресурсов и, по их указаниям, специализированными организациями, связанными с природоохранной деятельностью. Таким образом, в ОВОС должна быть представлена картина загрязнения окружающей среды до строительства объекта и возможные граничные условия выбросов и сбросов, связанных с особым режимом территории. Оценивается загрязненность тех компонентов природной среды, на которые ожидается воздействие при реализации строительства объекта.

Проектируемый объект анализируется с позиций природопользования и возможного загрязнения окружающей среды по каждому варианту технологических решений. На основе схемы генерального плана устанавливаются объемы природопользования — площади занимаемых земель в постоянном и временном пользовании, потребность в свежей воде (из поверхностных и подземных источников), потребность в минеральном (органическом) сырье. Классифицируются источники загрязнения, возникающие в процессе строительства и эксплуатации объекта, и виды воздействия, выделяют организованные и неорганизованные источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сброс промышленных, бытовых и ливневых стоков в водоем, отходы (объемы, состав), условия хранения и утилизации отходов производства, устанавливаются источники других физических воздействий — радиационное и электромагнитное излучение, шум, вибрация и др.

По каждому источнику воздействия приводится качественная и количественная характеристика по видам загрязняющих веществ и групп веществ, обладающих эффектом суммации - суммированного наложения.

На основе анализа комплексного воздействия на окружающую среду источников загрязнения, рассчитываются санитарно-защитная зона (СЗЗ) и зона воздействия (ЗВ) объекта.

Эти параметры (СЗЗ и ЗВ) являются определяющими при оценке взаимодействия объекта с окружающей средой. СЗЗ — это зона, в которой уровни воздействия равны или превышают установленные нормы. ЗВ — зона, в которой уровень воздействия превышает 5% от предельно допустимых значений. Расчеты СЗЗ и ЗВ выполняются, исходя из учета максимальных разовых воздействий при неблагоприятных условиях рассеивания загрязняющих веществ.

Расчеты должны отражать величины полной концентрации загрязняющих веществ по каждому компоненту природной среды на всю территорию зоны влияния, причем расчет полной концентрации проводится как для проектируемого объекта, так и с учетом фоновых концентраций загрязнений.

Анализ возможных изменений загрязнения окружающей среды и сопоставление данных с предельно допустимыми значениями загрязняющих веществ позволяет оценить социально-экологический ущерб в связи со строительством объекта и рассчитать затраты на проведение природоохранных мероприятий и компенсационные выплаты за выбросы загрязняющих веществ по каждому варианту площадки и технологическим решениям.

К материалам ОВОС прилагаются проект «Разрешения на природопользование» и «Декларации безопасности промышленного объекта», выполненные в соответствии с требованиями Минприроды РФ и МинЧС.

Материалы ОВОС в составе «Обоснований инвестиций» передаются на согласование в местный комитет охраны среды и природных ресурсов (для объектов, зона воздействия которых затрагивает территории нескольких субъектов Российской Федерации, согласование ОВОС проводится в Минприроды РФ).

Материалы «Обоснований инвестиций», согласованные природоохранными органами, являются основой для подготовки «Решения о предварительном согласовании (выделении) земельного участка» и оформления Акта его выбора.

Таким образом, основная работа по экологической оценке окружающей природной среды и согласованию экологических последствий хозяйственной деятельности в процессе реализации инвестиционного проекта выполняются на этапе «Обоснования инвестиций» в разделе ОВОС.

В «Обоснованиях инвестиций» должны быть представлены условия и характеристика труда на предприятии:

- потребность в трудовых ресурсах по категориям работников: рабочих, ИТР и служащих; требования и их квалификации, альтернативные варианты удовлетворения потребности в трудовых ресурсах: привлечение местной рабочей силы, оргнабор, вахтовый метод и пр.; предложения по организации подготовки рабочих кадров для предприятия;
- анализ альтернативных вариантов обеспечения работников предприятия жильем, создания социальных и культурно-бытовых условий.

Оценка эффективности инвестиций проводится по результатам количественного и качественного анализа информации, полученной при разработке соответствующих разделов «Обоснований...» и основывается на следующих положениях:

стоимости строительства, определяемой по аналогам и укрупненным показателям, а также по прогнозным оценкам;

уточнения возможных источников и условий финансирования инвестиций, принятых на стадии прединвестиционных исследований;

определения себестоимости подготовки воды, прогноза изменения основных показателей производственной деятельности предприятия в течение расчетного периода, анализа тенденции изменения рентабельности и мероприятий по обеспечению минимизации возможных потерь; оценки риска инвестиций;

обоснования выбора расчетного периода, в пределах которого выполняются экономические расчеты, включающие продолжительность проектирования, строительства, освоения проектной мощности и эксплуатации объекта;

учета данных прогнозируемого изменения цен по всем составляющим элементам дохода и издержек производства по годам расчетного периода;

результатов расчетов с выявлением возможностей повышения экономической эффективности и надежности проекта за счет совершенствования проектных решений, более рационального использования ресурсов и прочих факторов.

Если полученные данные свидетельствуют о недостаточной рентабельности инвестиционного проекта, то производится корректировка его параметров, производственной программы и принятой технологии в целях повышения эффективности проекта.

Расчеты и анализ основных экономических и финансовых показателей рекомендуется приводить в форме следующих таблиц (формы 1...11):

1. Таблица «Производственная программа»
2. Расчет выручки от реализации продукции
3. Сводная ведомость инвестиционных издержек
4. Состав инвесторов и предполагаемые источники финансирования в предпроизводственный и производственный периоды
5. Сроки и объемы погашения банковских кредитов
6. Сводная ведомость накладных расходов
7. Сводная ведомость производственных издержек
8. Структура себестоимости продукции (по экономическим элементам)
9. Расчет чистой прибыли и налога на прибыль
10. Движение потоков наличностей (проектно-балансовая ведомость доходов и расходов) в период строительства и эксплуатации предприятия
11. Обобщенные данные об эффективности инвестиций в создание (развитие) предприятия

Форма 1

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОГРАММА

Наименование продукции	Един. измер.	Объем производства по годам					
		1-ый год		2-ой год		N-ный год	
		% от проектной мощности	Кол-во	% от проектной мощности	Кол-во	% от проектной мощности	Кол-во
1	2	3	4	5	6	7	8
1.							
2.							
3.							

Форма 2

РАСЧЕТ ВЫРУЧКИ ОТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ

Наименование продукции	Единица измерения	Цена ед.	1-ый год		N-ный год	
			Объем	Выручка	Объем	Выручка
1.						
2.						
3.						
Всего:						

Примечание: объем продаж (реализация) приводится в натуральных единицах, выручка (доход) от реализации – в денежном выражении

СВОДНАЯ ВЕДОМОСТЬ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ИЗДЕРЖЕК

Статьи затрат	Издержки*		Примечание
	НВ млн....	ИВ млн....	
1.Земельный участок			
2.Машины и оборудование			
3.Производственные здания и сооружения			
4.Нематериальные активы (лицензия, патенты, 5.ноу-хау и т.п.)			
6.Прочие основные производственные фонды			
7.Итого затрат на основные производственные фонды			
8.Объекты жилищно-гражданского назначения			
9.Всего			

Примечание: в таблице приняты обозначения: НВ - национальная валюта
ИВ - иностранная валюта

**СОСТАВ ИНВЕСТОРОВ И ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ
ФИНАНСИРОВАНИЯ
В ПРЕДПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПЕРИОДЫ**

(в млн.руб.)

Источники финансирования	Предпроизводственный период	Производственный период
	годы	годы
	1 2....t	1 2....t
Общая сумма финансовых средств, в том числе:		
Собственные финансовые средства и внутрихозяйственные резервы предприятия		
Акционерный капитал		
Ассигнования из республиканских и местных бюджетов и внебюджетных фондов		
Кредиты банков		
Государственные займы и кредиты		
Иностранный капитал (в долл.)		
Привлеченные финансовые средства		
Состав инвесторов и их долевое участие		
1.		
2.		

СРОКИ И ОБЪЕМЫ ПОГАШЕНИЯ БАНКОВСКИХ КРЕДИТОВ
(в соответствующих денежных единицах)

Сроки погашения кредита (годы)	Объемы кредитования	Из них	
		Выплаты в счет погашения основного долга (ссуды)	Выплаты, % за кредит
ИТОГО:			

Примечание: расчет выполняется по вариантно и по периодам погашения банковских кредитов

СВОДНАЯ ВЕДОМОСТЬ НАКЛАДНЫХ РАСХОДОВ

Статьи расходов	Категории издержек		
	по обслуживанию производства	Административные	финансовые
1. Затраты на оплату труда (включая отчисления на социальные нужды) работников, не занятых непосредственно в производстве	+	+	
2. Обязательное страхование имущества и отдельных категорий работников	+	-	+
3. Ежегодные платежи за земельный участок (земельный налог, арендная плата и т.д.)	-	-	+
4. Налог на имущество предприятия	-	-	+
5. Платежи за пользование недрами и отчисления на воспроизводство минерально-сырьевой базы	-	-	+
6. Выплаты ссудного процента в пределах установленной ставки	-	-	+
7. Малоценные и быстроизнашивающиеся предметы	+	+	-
8. Ремонт и обслуживание зданий и оборудования	+	+	-
9. Платежи за предельно допустимые выбросы (сбросы) загрязняющих веществ	-	-	+
10. Расходы по утилизации отходов	+	-	-
11. Отчисления в ремонтный фонд предприятия	+	-	-
12. Амортизация основных фондов, в т.ч. зданий и сооружений, оборудования	+	-	-
13. Износ нематериальных активов	+	-	-
14. Прочие расходы			

СВОДНАЯ ВЕДОМОСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИЗДЕРЖЕК

(в млн.руб.)

Статьи затрат	Годы
	1 2....t
Всего:	

**СТРУКТУРА СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОДУКЦИИ
(ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ ЭЛЕМЕНТАМ)**

Экономические элементы	Сумма (тыс.руб.)	Уд.вес элемента, %
1. Материальные затраты, в т.ч. по основным видам сырья и материалов		
2. Затраты на оплату труда		
3. Налоги от фонда оплаты труда		
4. Отчисления на социальные нужды		
5. Накладные расходы		
6. Амортизация основных фондов		
7. Налоги на имущество предприятия		
8. Прочие затраты		
ИТОГО:		

РАСЧЕТ ЧИСТОЙ ПРИБЫЛИ И НАЛОГА НА ПРИБЫЛЬ

Показатели	Годы
	1 2....t
1. Выручка (валовый доход) от реализации продукции, в т.ч. налог на добавленную стоимость (НДС)	
2. Выручка от реализации продукции без НДС	
3. Затраты на производство реализованной продукции	
4. Прибыль (+), убыток (-) от вилеализованных операций	
5. Балансовая прибыль	
6. Налоги	
7. Чистая прибыль (нарастающим итогом)	
8. Чистая дисконтированная прибыль	
9. Дисконтированная рентабельность	

В «Обоснованиях инвестиций» приводятся общие выводы о хозяйственной необходимости, технической возможности, коммерческой, экономической и социальной целесообразности инвестиций в строительство объекта с учетом его экологической и эксплуатационной безопасности, а также основные технико-экономические и финансовый показатели объекта инвестиций, рекомендуемые для утверждения (одобрения).

Основные технико-экономические и финансовые показатели, включаемые в порядительный документ об утверждении (одобрении) обоснований инвестиций в строительство новых, расширение и реконструкцию действующих предприятий, должны отражать следующее:

1. Мощность предприятия (пропускная способность)	м ³ /сут.
2. Себестоимость подготовки воды	руб./ м ³
3. Общая численность работающих, в т. ч. рабочих чел.	чел.
4. Количество (прирост) рабочих мест	место
5. Общая стоимость строительства,	млн.руб.
в том числе:	
объектов производственного назначения	»
прочих объектов	»
6. Стоимость основных производственных фондов	»
7. Продолжительность строительства	лет
8. Удельные капитальные вложения	руб./ед. мощности
9. Балансовая прибыль	млн. руб.
10. Чистая прибыль (доход)	млн.руб.
11. Срок окупаемости капитальных вложений	лет
12. Внутренняя норма рентабельности	%

Форма 10

ДВИЖЕНИЕ ПОТОКОВ НАЛИЧНОСТЕЙ
(ПРОЕКТНО-БАЛАНСОВАЯ ВЕДОМОСТЬ ДОХОДОВ И РАСХОДОВ)
В ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Стадия инвестиционного периода	Строительство			Освоение производства			Эксплуатация на полную мощ.		
Годы	1	2	3	4	5	6	7	8	9 ...
Производственная программа	0	0	0	55%	75%	80%	100%	100%	100%
А. Приток наличностей									
1. Источники финансирования									
1.1. Ассигнования из республиканского и местных бюджетов									
1.2. Внебюджетные фонды									
1.3. Собственные ресурсы и внутрихозяйственные резервы									
1.4. Заемные средства									
1.5. Прочие									
1.6.									
2. Выручка от реализации продукции									
3. Прочие поступления									
В. Отток наличностей									
1. Капитальные вложения									
2. Себестоимость реализованной продукции									
3. Выплаты по обязательствам									
4. Погашение задолженностей по ссуде									
5. Выплата ссудного процента									
6. Налог на прибыль									
7. Дивиденды, выплачиваемые владельцам акций									
8. Прочие расходы									

Превышение доходов над расходами (+), дефицит (-)

«Обоснования инвестиций» должны содержать рекомендации по порядку дальнейшего проектирования, строительства (совмещенное строительство и проектирование, строительство по очередям) и эксплуатации объекта, обеспечивающих инвестору получение максимальной и стабильной во времени прибыли, достижение положительных социальных результатов и других целей, а также программу проектирования и проведе-

ние необходимых исследований и изысканий, план-график осуществления инвестиционного проекта.

К «Обоснованиям инвестиций» прилагаются документы согласований и графические материалы — схемы, чертежи (при необходимости, демонстрационные материалы).

Форма 11

ОБОБЩЕННЫЕ ДАННЫЕ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В СОЗДАНИЕ (РАЗВИТИЕ) ПРЕДПРИЯТИЯ

Показатели	Варианты
	А Б В Г Д ...
1. Показатели эффективности с точки зрения интересов предпринимателя:	
1.1. Чистая прибыль (доход)	
1.2. Годовая рентабельность КВ	
1.3. Среднегодовая рентабельность КВ	
1.4. Срок окупаемости КВ	
1.5. Интегральный эффект	
1.6. Внутренняя норма рентабельности затрат на создание и эксплуатацию предприятия	
2. Показатели эффективности с позиций национальной экономики:	
2.1. Улучшение использования природных ресурсов	
2.2. Прирост количества рабочих мест	
2.3. Экономия валютных затрат на импортных товарах	
2.4. Другие экономические и социальные выгоды	

1.7. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Разработка проектной документации на строительство¹ объектов осуществляется на основе утвержденных (одобренных) «Обоснований инвестиций» в строительство систем и сооружений водоснабжения. Проектной документацией детализируются принятые в «Обоснованиях...» решения и уточняются основные технико-экономические показатели.

Основным проектным документом на строительство объектов является, как правило, технико-экономическое обоснование (проект) строительства. На основании утвержденного в установленном порядке технико-экономического обоснования (проекта) строительства разрабатывается рабочая документация.

Для технически и экологически сложных объектов и при особых природных условиях строительства по решению заказчика (инвестора) или заключению государственной экспертизы по рассмотренному проекту одновременно с разработкой рабочей документации и осуществлением строительства могут выполняться дополнительные детальные проработки проектных решений по отдельным объектам, разделам и вопросам.

Для объектов, строящихся по проектам массового и повторного применения, а также других технически несложных объектов на основе утвержденных (одобренных) «Обоснований инвестиций в строительство» или градостроительной документации, может разрабатываться рабочий проект (утверждаемая часть и рабочая документация) или рабочая документация.

Основным документом, регулирующим правовые и финансовые отношения, взаимные обязательства и ответственность сторон, является договор (контракт), заключаемый заказчиком с привлекаемыми им для разработки проектной документации проектными, проектно-строительными организациями, другими юридическими и физическими ли-

¹ Понятие строительство включает (новое строительство, расширение, реконструкцию и техническое перевооружение)

цами. Неотъемлемой частью договора (контракта) должно быть задание на проектирование.

1. Задание на проектирование объектов

Рекомендуется следующий состав и содержание задания на проектирование для объектов систем водоснабжения и водоотведения (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Задание на проектирование объектов
(наименование и месторасположение проектируемого предприятия и сооружений)

Перечень основных данных и требований	
1.	Основание для проектирования
2.	Вид строительства
3.	Стадийность проектирования
4.	Требования по вариантной и конкурсной разработке
5.	Особые условия строительства
6.	Основные технико-экономические показатели объекта, в т.ч. мощность, производительность, производственная программа
7.	Требования к качеству конкурентоспособности и экологическим параметрам продукции
8.	Требования к технологии, режиму предприятия
9.	Требования к архитектурно-строительным, объемно-планировочным и конструктивным решениям
10.	Выделение очередей и пусковых комплексов, требования по перспективному расширению предприятия
11.	Требования и условия к разработке природоохранных мер и мероприятий
12.	Требования к режиму безопасности и гигиене труда
13.	Требования по ассимиляции производства
14.	Требования по разработке инженерно-технических мероприятий гражданской обороны и мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций
15.	Требования по выполнению опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ
16.	Состав демонстрационных материалов

Проектирование объектов строительства должно осуществляться юридическими и физическими лицами, получившими в установленном порядке право на соответствующий вид деятельности.

2. Порядок разработки, согласования и утверждения проектной документации

Разработка проектной документации осуществляется при наличии утвержденного решения о предварительном согласовании места размещения объекта, на основе утвержденных (одобренных) «Обоснований инвестиций в строительство» или иных предпроектных материалов, договора, задания на проектирование и материалов инженерных изысканий.

При проектировании систем водоснабжения и водоотведения следует учитывать решения, принятые в схемах и проектах районной планировки, генеральных планах городов, поселков и сельских поселений, проектах планировки жилых, промышленных и других функциональных зон.

Проектная документация разрабатывается преимущественно на конкурсной основе, в том числе, через торги подряда (тендер).

Проекты, рабочие проекты на строительство объектов, независимо от источников финансирования, форм собственности и принадлежности подлежат государственной экспертизе.

Утверждение проектов, рабочих проектов на строительство объектов в зависимости от источников его финансирования производится:

- при строительстве за счет государственных капитальных вложений, финансируемых из республиканского бюджета Российской Федерации — в порядке, установленном Минстроем России совместно с заинтересованными министерствами и ведомствами;

- при строительстве за счет капитальных вложений, финансируемых из соответствующих бюджетов республик в составе Российской Федерации, краев, областей, автономных образований, городов Москвы и Санкт-Петербурга — соответствующими органами государственного управления или в устанавливаемом ими порядке;

- при строительстве за счет собственных финансовых ресурсов, заемных и привлеченных средств инвесторов (включая иностранных инвесторов) — непосредственно заказчиками (инвесторами).

3. Состав и содержание проектной документации на строительство сооружений

Проект на строительство предприятий, зданий и сооружений производственного назначения состоит из следующих разделов:

- Общая пояснительная записка;
- Генеральный план и транспорт;
- Технологические решения;
- Организация и условия труда работников;
- Управление производством и предприятием;
- Архитектурно-строительные решения;
- Инженерное оборудование, сети и системы;
- Организация строительства;
- Охрана окружающей среды;
- Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны. Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций;
- Сметная документация;
- Эффективность инвестиций.

Общая пояснительная записка включает:

основание для разработки проекта, исходные данные для проектирования, краткую характеристику предприятия и входящих в его состав производств и цехов, данные о проектной производительности станции, сырьевой базе, потребности в топливе, воде, тепловой и электрической энергии, комплексном использовании сырья, отходов водоподготовки, вторичных энергоресурсов; сведения о социально-экономических и экологических условиях района строительства. В пояснительной записке отражаются основные показатели по генеральному плану, инженерным сетям и коммуникациям, мероприятия по инженерной защите территории, а также общие сведения, характеризующие условия и охрану труда работающих, санитарно-эпидемиологические мероприятия, основные

решения, обеспечивающие безопасность труда работников и условия жизнедеятельности населения. В записке приводятся сведения об использованных в проекте изобретениях и патентах. Пояснительная записка содержит технико-экономические показатели, полученные в результате разработки проекта, их сопоставление с показателями утвержденного (одобренного) «Обоснования инвестиций в строительство объекта» и установленным заданием на проектирование, выводы и предложения по реализации проекта, а также сведения о проведенных согласованиях проектных решений; подтверждение соответствия разработанной проектной документации государственным нормам, правилам, стандартам, исходным данным, а также техническим условиям и требованиям, выданным органами государственного надзора (контроля) и заинтересованными организациями при согласовании места размещения объекта. Оформленные в установленном порядке согласования об отступлениях от действующих нормативных документов.

В пояснительную записку включаются краткая характеристика района и площадки строительства; решения и показатели по генеральному плану (с учетом зонирования территории), внутриплощадочному и внешнему транспорту, выбор вида транспорта, основные планировочные решения, мероприятия по благоустройству территории; решения по расположению инженерных сетей и коммуникаций; организация охраны предприятия.

В проектную документацию на строительство включаются следующие основные чертежи:

- ситуационный план размещения предприятия, здания, сооружений с указанием на нем существующих и проектируемых внешних коммуникаций, инженерных сетей и селитебных территорий, границы санитарно-защитной зоны, особо охраняемые территории. Для линейных сооружений приводится план трассы (внеплощадочных и внутриплощадочных), а при необходимости — продольный профиль трассы;

- картограмма земельных масс;

- генеральный план, на котором нанесены существующие и проектируемые (реконструируемые), и подлежащие сносу здания и сооружения, объекты охраны окружающей среды и благоустройства, озеленения территории и принципиальные решения по расположению внутриплощадочных инженерных сетей и транспортных коммуникаций, планировочные отметки территории. Выделяются объекты, сети и транспортные коммуникации, входящие в пусковые комплексы.

В состав проектной документации должны включаться также технологические решения, содержащие данные о производственной программе; краткую характеристику и обоснование решений по технологии очистки воды, данные о трудоемкости автоматизации технологических процессов; сведения о составе оборудования и обоснование применяемого оборудования, в том числе, импортного, решения по применению ресурсосберегающих технологических процессов и производств, повторному использованию тепла и уловленных химвеществ; число рабочих мест и их оснащенность; характеристика межцеховых и цеховых коммуникаций.

В документации должны присутствовать решения по организации ремонтного хозяйства. Проектная документация в разделе «Технологические решения» должна содержать данные о количестве и составе вредных выбросов в атмосферу и сбросов в водные источники (по отдельным цехам, производствам, сооружениям); технические решения по предотвращению (сокращению) выбросов и сбросов вредных веществ в окружающую природную среду; оценка возможности возникновения аварийных ситуаций и решения по их предотвращению, вид, состав и объем отходов водоподготовки и очистки

воды, подлежащих утилизации и захоронению; топливно-энергетический и материальный балансы технологических процессов; потребность в основных видах ресурсов для технологических нужд, балансовые схемы водопотребления и водоотведения.

Технологические решения должны быть представлены графически. Графическая часть должна включать: принципиальные схемы технологических процессов; технологические планировки по корпусам (цехам) с указанием размещения оборудования и транспортных средств; схемы грузопотоков.

В проектной документации должен содержаться раздел: «Управление производством, предприятием и организация условий и охраны труда рабочих и служащих». Настоящий раздел выполняется в соответствии с нормативными документами Минтруда России.

В этом разделе рассматриваются: организационная структура управления предприятием и отдельными производствами, автоматизированная система управления и его информационное, функциональное, организационное и техническое обеспечение; автоматизация и механизация труда работников управления; результаты расчетов численного и профессионально-квалификационного состава работающих; число и оснащенность рабочих мест; санитарно-гигиенические условия труда работающих; мероприятия по охране труда и технике безопасности, в том числе, решения по снижению производственных шумов и вибраций, загазованности помещений, избытка тепла, по повышению комфортности условий труда и т. д.

Раздел «Архитектурно-строительные решения» должен включать: сведения об инженерно-геологических, гидрогеологических условиях площадки строительства; краткое описание и обоснование архитектурно-строительных решений по основным зданиям и сооружениям; обоснование принципиальных решений по снижению производственных шумов и вибраций, бытовому, санитарному обслуживанию работающих; мероприятия по электро-, взрыво- и пожаробезопасности; защите строительных конструкций, сетей и сооружений от коррозии.

При этом разрабатываются следующие основные чертежи: планы, разрезы и фасады основных зданий и сооружений со схематическим изображением основных несущих и ограждающих конструкций.

Раздел «Инженерное оборудование, сети и системы» должен содержать решения по водоснабжению, водоотведению, теплоснабжению, газоснабжению, электроснабжению, отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха. Необходимо дать описание инженерного оборудования зданий и сооружений, в том числе: электрооборудования, электроосвещения, связи и сигнализации, радиофикации и телевидения, противопожарных устройств и молниезащиты. Должны быть решены вопросы диспетчеризации и автоматизации управления инженерными системами.

При этом разрабатываются следующие основные чертежи: принципиальные схемы теплоснабжения, электроснабжения, газоснабжения, водоснабжения и канализации и др.; планы и профили инженерных сетей; чертежи основных сооружений; планы и схемы внутрицеховых отопительно-вентиляционных устройств, электроснабжения и электрооборудования, радиофикации и сигнализации, автоматизации управления инженерными системами, внутрицеховых систем водоснабжения и водоотведения. Составляют спецификации оборудования, включая нестандартное.

Раздел «Организация строительства» разрабатывается в соответствии со СНиП «Организация строительного производства» и с учетом условий и требований, изложенных в договоре на выполнение проектных работ и имеющихся данных о риске строительных услуг.

В разделе проекта «Охрана окружающей среды» дается уточненная экологическая характеристика объекта на основании выбранных вариантов технических решений: источники загрязнения — объемы и виды воздействия, уточненные границы СЗЗ и ЗВ, характеристики фонового загрязнения компонентов окружающей среды. Приводится эколого-экономическая оценка эксплуатации объекта, эффективность и достаточность природоохранных мероприятий; приводятся мероприятия по организации экологического контроля, мониторинга природной среды.

Раздел «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны. Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций» выполняется в соответствии с нормами и правилами в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Для определения сметной стоимости строительства предприятия, зданий и сооружений (или их очередей) составляется сметная документация в соответствии с положениями и формами, приводимыми в нормативно-методических документах Минстроя России.

Состав документации должен содержать:

сводные сметные расчеты стоимости строительства и, при необходимости, сводку затрат²;

объектные и локальные сметные расчеты;

сметные расчеты на отдельные виды затрат (в т.ч. на проектные и изыскательские работы).

В составе рабочей документации должны быть представлены объектные и локальные сметы³.

Для определения стоимости строительства рекомендуется использовать действующую сметно-нормативную (нормативно-информационную) базу, разрабатываемую, вводимую в действие и уточняемую в установленном порядке.

Стоимость строительства в сметной документации заказчика рекомендуется приводить в двух уровнях цен:

- в базисном (постоянном) уровне, определяемом на основе действующих сметных норм и цен.

- в текущем или прогнозном уровне, определяемом на основе цен, сложившихся ко времени составления смет или прогнозируемых к периоду осуществления строительства.

В состав сметной документации проектов строительства включается также пояснительная записка, в которой приводятся данные, характеризующие применяемую сметно-нормативную (нормативно-информационную) базу, уровень цен и другие сведения, отличающие условия данной стройки.

На основе текущего (прогнозного) уровня стоимости, определенного в составе сметной документации, заказчики и подрядчики формируют свободные (договорные) цены на строительную продукцию.

Эти цены могут быть открытыми, то есть уточняемыми в соответствии с условиями договора (контракта) в ходе строительства, или твердыми (окончательными).

В результате совместного решения заказчика и подрядной строительно-монтажной организации оформляется протокол (ведомость) свободной (договорной) цены на строительную продукцию по соответствующей форме.

² Составляются в том случае, когда капиталовложения предусматриваются из разных источников финансирования

³ Составляются, если это предусмотрено договором на выполнение рабочей документации.

При составлении сметной документации, как правило, используется ресурсный (ресурсно-индексный) метод, при котором сметная стоимость строительства определяется на основе данных проектных материалов о потребных ресурсах (рабочей силе, строительных машинах, материалах и конструкциях) и текущих (прогнозных) ценах на эти ресурсы.

В сводном сметном расчете отдельной строкой предусматривается резерв средств на непредвиденные работы и затраты, исчисляемый от общей сметной стоимости (в текущем уровне цен) в зависимости от степени проработки и новизны проектных решений. Для строек, осуществляемых за счет капитальных вложений, финансируемых из республиканского бюджета Российской Федерации, размер резерва не должен превышать трех процентов по объектам производственного назначения и двух процентов по объектам социальной сферы.

Дополнительные средства на возмещение затрат, выявившихся после утверждения проектной документации в связи с введением по решениям Правительства Российской Федерации повышающих коэффициентов, льгот, компенсаций и др., следует включать в сводный сметный расчет отдельной строкой, с последующим изменением итоговых показателей стоимости строительства и утверждением произведенных уточнений инстанцией, утвердившей проектную документацию.

На основе количественных и качественных показателей, полученных при разработке соответствующих разделов проекта, выполняются расчеты эффективности инвестиций.

Производится сопоставление обобщенных данных и результатов расчетов с основными технико-экономическими показателями, определенными в составе «Обоснований инвестиций в строительство» данного объекта, заданием на проектирование и на его основе принимается окончательное решение об инвестировании и реализации проекта. Примерный перечень технико-экономических показателей приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Примерный перечень технико-экономических показателей для объектов производственного назначения

Наименование показателя	Ед. измерения
1. Мощность предприятия, годовой выпуск продукции: в стоимостном выражении в натуральном выражении	млн.руб. в соответ.ед.
2. Общая площадь участка	гв
3. Коэффициент застройки	коэфф.
4. Удельный расход на единицу мощности:	
электроэнергии	кВт час
воды	куб.м
производственной сточной воды	куб.м
природного газа	тыс.куб.м
мазута	т
угля	т
5. Общая численность работающих	чел.
6. Годовой выпуск продукции на работающего:	
в стоимостном выражении	тыс.руб./чел
в натуральном выражении	ед./чел.

Наименование показателя	Ед. измерения
7. Общая стоимость строительства, в том числе СМР	млн.руб.
8. Удельные капитальные вложения	млн.руб.
9. Продолжительность строительства	руб./ед.мощности
10. Стоимость основных производственных фондов	мес.
11. Себестоимость продукции	млн.руб.
12. Балансовая (валовая) прибыль	тыс.руб./ед.
13. Чистая прибыль	тыс.руб.
14. Уровень рентабельности производства	тыс.руб.
15. Внутренняя норма доходности	%
16. Срок окупаемости	%
Срок погашения кредита и других заемных средств	лет
	лет

В соответствующих разделах проекта следует приводить:

спецификации оборудования, составляемые применительно к форме, установленной государственными стандартами СПДС;

исходные требования к разработке конструкторской документации на оборудование индивидуального изготовления, что оговаривается в договоре (контракте).

4. Состав рабочей документации

Состав рабочей документации на строительство предприятий, зданий и сооружений определяется соответствующими государственными стандартами СПДС и уточняется заказчиком и проектировщиком в договоре (контракте) на проектирование.

Государственные, отраслевые и республиканские стандарты, а также чертежи типовых конструкций, изделий и узлов, на которые имеются ссылки в рабочих чертежах, не входят в состав рабочей документации и могут передаваться проектировщиком заказчику, если это оговорено в договоре.

Вместе с заданием на проектирование заказчик выдает проектной организации исходные материалы⁴:

- обоснование инвестиций строительства данного объекта;
- решение местного органа исполнительной власти о предварительном согласовании места размещения объекта;
- акт выбора земельного участка (трассы) для строительства и прилагаемые к нему материалы;
- архитектурно-планировочное задание, составляемое в установленном порядке;
- технические условия на присоединение проектируемого объекта к источникам снабжения, инженерным сетям и коммуникациям;
- сведения о проведенных с общественностью обсуждениях решений о строительстве объекта;
- исходные данные по оборудованию, в том числе индивидуального изготовления;
- необходимые данные по выполненным научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам, связанным с созданием технологических процессов и оборудования;

⁴ Номенклатура, порядок и сроки представления материалов оговариваются в договоре (контракте) на выполнение проектных работ.

- материалы инвентаризации, оценочные акты и решения органов местной администрации о сносе и характере компенсации за сносимые здания и сооружения;

- материалы, полученные от местной администрации и органов государственного надзора, в том числе характеристика социально-экономической обстановки, природных условий и состояния природной окружающей среды, данные о существующих источниках загрязнения и другие сведения в соответствии с требованиями природоохранных органов, санитарно-эпидемиологические условия в районе строительства;

- имеющиеся материалы инженерных изысканий и обследований, обмерочные чертежи существующих на участке строительства зданий и сооружений, подземных и наземных сетей и коммуникаций;

- задание на разработку тендерной документации на строительство (при необходимости);

- заключения и материалы, выполненные по результатам обследования действующих производств, конструкций зданий и сооружений;

- технологические планировки действующих цехов, участков со спецификацией оборудования и сведениями о его состоянии, данные об условиях труда на рабочих местах;

- условия на размещение временных зданий и сооружений, подъемно-транспортных машин и механизмов, мест складирования строительных материалов;

- другие материалы.

Вместе с заданием на проектирование заказчик выдает проектной организации следующие документы и материалы:

- архитектурно-планировочное задание;

- имеющиеся материалы утвержденного проекта детальной планировки участка строительства;

- имеющиеся материалы топографической съемки участка строительства и данные геологических и гидрогеологических изысканий;

- материалы по существующей и сохраняемой застройке и зеленым насаждениям;

- сведения о надземных и подземных инженерных сооружениях и коммуникациях;

- материалы инвентаризации, оценочные акты и решения местной администрации о сносе и характере компенсации за сносимые сооружения;

- данные по виду выделяемого топлива;

- данные по стандартам железобетонных изделий местных заводов;

- технические условия на присоединение к внешним инженерным сетям и коммуникациям;

- сведения о фоновом состоянии окружающей природной среды, комфортности проживания населения, о наличии техногенных объектов вблизи строительства и зонах их воздействия при возможных аварийных ситуациях;

- другие материалы.

2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОДОПРОВОДНО-КАНАЛИЗАЦИОННОГО ХОЗЯЙСТВА

2.1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ И ОЦЕНКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ

На предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) необходима реализация непрерывного процесса учета экологических факторов: оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) и подготовка экологических разделов в рамках технико-экономического обоснования (ТЭО) или проектов; экологическая экспертиза; послепроектный анализ; экологические аудит; сертификация, лицензирование использования природных ресурсов; страхование.

Этапами экологического сопровождения хозяйственной деятельности являются:

1. Планирование и согласование планов реализации деятельности. Здесь разрабатывается и утверждается предпроектная и проектная документация. Этап предусматривает проведение ОВОС.

2. Создание объектов планируемой деятельности, обеспечивающих ее реализацию (строительство водозаборных сооружений, зданий насосных станций, реагентного хозяйства, очистных сооружений, прокладка трубопроводов). Этап предусматривает мониторинг.

3. Осуществление планируемой деятельности в штатном и во внештатном режимах. Предусматриваются мероприятия по локализации экологического ущерба, экологический аудит для определения причин возникновения нештатной ситуации.

К нештатным ситуациям относятся: разрыв трубопроводов, утечки воды из разводящей сети, ледошуговые осложнения на водозаборах, утечки озона, хлора на станциях обеззараживания воды, нарушение правил хранения реагентов и техники безопасности в хлорном хозяйстве предприятий и др.

Предприятия ВКХ должны быть экологически безопасными. Совокупность управленческих, технологических, финансово-экономических мероприятий, направленных на снижение воздействия предприятий ВКХ на окружающую природную среду при сохранении целей производства (подготовка, транспортирование к потребителю воды питьевого качества и очистка образующихся сточных вод) составляет экологизацию экономики.

Структурная перестройка экономики должна проводиться в условиях изменения законодательства в области экологизации: ужесточения госстандартов на качество питьевой и сбрасываемой вод и требований к технологическим процессам с определением целей производства, обеспечивающих восстановление качества среды обитания; подготовку воды, которая бы не наносила ущерба здоровью населения и природным объектам в течение всего жизненного цикла.

Экологически ориентированное управление производством представляет собой систему планирования и контроля на разных этапах, основными из которых являются:

- составление производственной программы. Для новых предприятий программа предусматривает последовательность соблюдения стадий проектирования, экспертизы, получения разрешительной документации и. т.д. Если модернизируется старое предприятие, то речь идет о замене устаревшего оборудования водоразводящих сетей и старой технологии очистки на новую;

- календарное планирование подготовки и проверки состояния работы очистных сооружений, реагентного хозяйства, насосного оборудования и водоразводящих сетей. Водоразводящие сети должны регулярно прочищаться и промываться растворами реагентов с целью поддержания в них должной санитарно-гигиенической обстановки;

- производственный контроль;
- постоянный контроль качества воды.

Оценка воздействия на окружающую среду проводится при возникновении угрозы значительного экологического ущерба и используется для прогноза таких последствий, а также нахождения способов снижения отрицательных воздействий предприятий ВКХ на окружающую природную среду.

Важнейшей мерой экологического контроля на предприятии является экологическая ревизия. Она предусматривает систематическую документально подтверждаемую оценку руководства предприятия с экологических позиций. Достигается это созданием системы экологического контроля на предприятии.

Крупные предприятия могут создавать у себя экологическую службу более высокого уровня, что требует больших расходов, которые в перспективе окупаются и приносят экономический эффект. Средние предприятия могут содержать специалиста в ранге менеджера-консультанта по экологическим вопросам. Крупные вопросы экономического аудирования решаются обращением к аудиторским, консультативным, инжиниринговым фирмам.

Менеджер-консультант, полностью отвечающий за экологическую безопасность на предприятии, подчинен непосредственно директору и не может быть включен в штат службы главного инженера в качестве инженера по технике безопасности.

Национальная процедура оценки возможного воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности воздействия на окружающую среду (в дальнейшем экологическая оценка (ЭО) – это проведение оценки воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и экологической экспертизы документации, обосновывающей намечаемую хозяйственную и иную деятельность (ГОСТ 14001Р).

Основными составляющими процесса ЭО являются:

- анализ (прогноз) и оценка значимости воздействий объекта ВКХ на окружающую среду;
- консультации с заинтересованными сторонами с целью поиска взаимоприемлемых решений;
- использование результатов прогноза воздействий и консультаций для последующих решений, относящихся к проектированию, строительству и эксплуатации объекта.

Участниками ЭО являются: инициатор намечаемой деятельности (заказчик, инвестор), исполнители, органы государственной власти и местного самоуправления, другие заинтересованные лица (общественные и научные организации, население и широкая общественность).

Основные этапы процесса ЭО представлены на рис. 2.1.

Наиболее важными элементами системы ЭО являются государственная экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду.

Экологическая экспертиза - это установление соответствия намечаемой хозяйственной и иной деятельности экологическим требованиям и определение допустимости реализации объекта экологической экспертизы в целях предупреждения возможных неблагоприятных воздействий этой деятельности на окружающую природную среду и связанных с ними социальных, экономических и иных последствий реализации объекта экологической экспертизы.

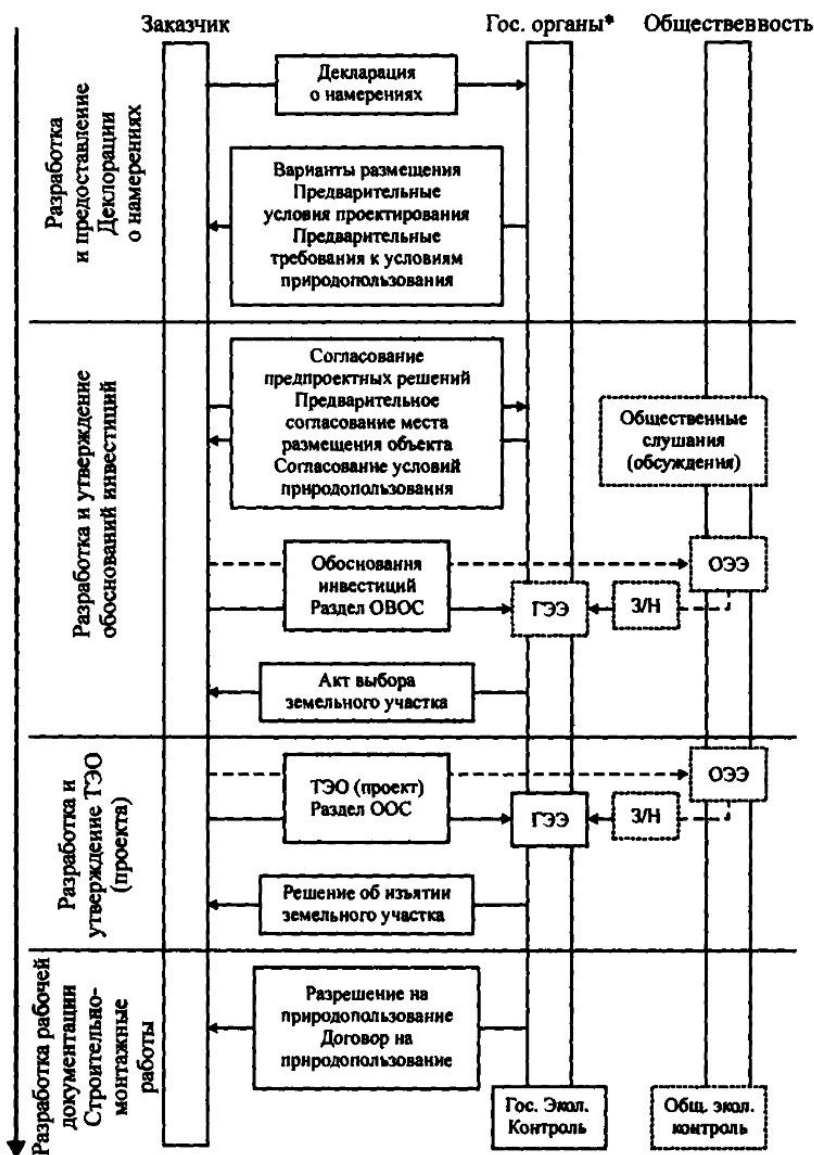


Рис. 2.1. Стадии инвестиционного проектирования, экологической оценки и утверждения (согласования) проекта:

ГЭЭ - государственная экологическая экспертиза, ОЗЭ - общественная экологическая экспертиза, З/Н - заключение от общественной экологической экспертизы и наблюдатели от нее; ОВОС - оценка воздействия на окружающую среду; ТЭО - технико-экономическое обоснование; ООС - охрана окружающей среды; * органы местного самоуправления, государственного надзора (контроля), в т.ч. природоохранные, и другие.

Пунктиром показаны необязательные элементы процедуры ЭО.

Объектами экологической экспертизы (ЭЭ) являются все проекты хозяйственных объектов, а также планов и программ территориального и отраслевого развития, норма-

тивно-технических документов, законодательных актов и др. В соответствии с этим проект каждого вновь строящегося, реконструируемого объекта ВКХ должен подвергаться экологической экспертизе. Экологическая экспертиза может быть государственной (ГЭЭ) и общественной (ОЭЭ). Результатом ГЭЭ является заключение о возможности осуществления намечаемой деятельности. Таким образом, только положительное заключение дает право на строительство объекта ВКХ, изменение технологии подготовки питьевой воды и пр. ГЭЭ организуется специально уполномоченными государственными органами в области ЭЭ (Министерство природных ресурсов РФ, федеральные территориальные управления, комитеты природных ресурсов при Администрациях).

Предметом ЭО являются объекты, материалы по которым представляются на государственную экологическую экспертизу. Проектируемые и строящиеся объекты ВКХ будут различны как по масштабу строительства, применяемым технологиям, так и по масштабу и характеру воздействия на окружающую среду. Отсюда проведение ЭО для всех объектов может оказаться экономически нецелесообразным. Например, в случае обеспечения водой из каптажных колодцев и одиночных скважин малых населенных пунктов при небольшом заборе воды, не оказывающем заметного влияния на динамику поверхностных и подземных вод, ЭО может оказаться необязательной. Однако согласование с органами Госсанэпиднадзора обязательно. Кроме того, при устройстве колодцев и скважин необходимым условием является соблюдение санитарно-защитных зон (СЗЗ). И наоборот, если планируется устройство подземных водозаборов для крупного населенного пункта, необходимо учесть все виды воздействия, возникающие при заборе больших количеств воды, а именно: влияние на динамику поверхностного и подземного стока, воздействие на состояние болот и малых рек, питаемых подземными водами, изменения экосистем и т.п. Таким образом, во втором случае ЭО является обязательной и должна проводиться на каждой стадии проектирования, в процессе которых проводится процедура отбора проектов на ЭО.

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) - это процесс, способствующий принятию экологически ориентированного управленческого решения о реализации намечаемой хозяйственной и иной деятельности посредством определения возможных неблагоприятных воздействий, оценки экологических последствий, учета общественного мнения, разработки мер по уменьшению и предотвращению воздействия.

Правовую базу экологической оценки в РФ составляют нормативно-правовые акты природоохранной направленности, основные из которых приведены в табл. 2.1.

2.2. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОБЪЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА

Создание объекта строительства осуществляется в непрерывном инвестиционном процессе: с момента возникновения замысла до сдачи объекта в эксплуатацию. В целом схема подготовки документации может быть представлена 3 циклами:

- разработка предпроектной документации;
- разработка проектной документации;
- послепроектный анализ.

Процесс ЭО наиболее тесно связан с инвестиционным процессом или стадией подготовки предпроектной и проектной документации. **Инвестиционный процесс** – это последовательность действий заказчика и органов власти по подготовке и утверждению инвестиционной и проектной документации. Фактически, элементы ЭО встроены в этот цикл (рис. 2.1).

Таблица 2.1

Краткая характеристика основных нормативно-правовых актов в области экологической оценки в Российской Федерации

Год утверждения	Нормативно-правовой акт	Краткое содержание
1991 г. с изменениями 1992 г., 1993 г., 2002 г.	Закон РСФСР "Об охране окружающей природной среды"	Определение государственной экологической экспертизы и обязательность ее для всех видов намечаемой деятельности. Запрещается реализация проектов без положительного заключения ГЭЭ
1995 г.	СНиП 11-01-95 "Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений"	Требование о включении тома "Охрана окружающей среды" в ТЭО и регламентация его содержания. В соответствии с документом проект должен содержать информацию о сбросах, выбросах, образующихся отходах и мероприятиях по экологизации деятельности предприятия
1995 г.	СП 11-101-95 "Порядок разработки, согласования, утверждения и состав обоснований инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений"	Требование о включении тома ОВОС в "Обоснование инвестиций" в ТЭО. Определяют требования к предпроектной документации, а именно к обоснованию инвестиций, которое готовится до начала работы над проектной документацией и отражает основные параметры намечаемой деятельности
23.11.1995 г. №174-ФЗ	Федеральный закон "Об экологической экспертизе"	Установления основных принципов, распределения ответственности и порядка проведения государственной и общественной экологических экспертиз
1995 г.	Инструкция Госкомэкологии РФ по экологическому обоснованию хозяйственной и иной деятельности	Установления более конкретных требований к материалам, предоставляемым на ГЭЭ
1995 г.	СНиП 11-02-96 "Инженерные изыскания для строительства. Основные положения"	Установления основных требований к организации и порядку проведения инженерных изысканий, в т.ч. - инженерно-экологических. Результатом является информация, необходимая для обоснования намечаемой деятельности с точки зрения охраны природы
11.06.96 г.	Положение о порядке проведения государственной экологической экспертизы	Описания порядка проведения ГЭЭ в соответствии с Федеральным Законом
1997 г.	СП 11-102-97 "Инженерно-экологические изыскания для строительства"	Основные требования к инженерно-экологическим изысканиям

Год утверждения	Нормативно-правовой акт	Краткое содержание
1997 г.	Регламент проведения государственной экологической экспертизы	Установления подробной процедуры проведения ГЭЭ специально уполномоченными органами
1998 г.	Рекомендации по экологическому сопровождению инвестиционно-строительных проектов	Порядок действий заказчика (разработчика) при планировании и проектировании намечаемой деятельности, который учитывает требования действующего законодательства и нормативных документов в области природоохранной деятельности
2000 г.	Положение "Об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в Российской Федерации"	Основные принципы и процедуры оценки воздействия для всех видов деятельности, проходящих ГЭЭ. Впервые интерпретирует как единую систему такие элементы ЭО в РФ, как требования к ОВОС, правила инвестиционного проектирования, процедуры государственной и общественной ЭЭ и правила взаимодействия с общественностью. Определяет общие требования к техническому заданию (ТЗ) и делает его общедоступным документом
21.07.1997 г. №116-ФЗ, изменения от 7.08.2000 г.	Закон "О промышленной безопасности опасных производственных объектов"	Перечень предприятий, представляющих опасность для окружающей природной среды и человека. Вводит обязательное экологическое страхование и оформление Декларации промышленной безопасности

1. Предпроектная документация.

- разработка и представление в органы местного самоуправления «Декларации (ходатайства) о намерениях», отражающей основные цели и параметры проектируемого объекта. Декларация должна содержать краткие сведения о предполагаемом воздействии объекта на окружающую среду и возможность аварийных ситуаций. При подготовке Декларации «Рекомендациями по экологическому сопровождению...» предлагается проводить природно-экологическую оценку района размещения объекта. Форма Декларации устанавливается СП 11-101-95;

- на основе Декларации государственные природоохранные органы устанавливают требования и условия, которые необходимо учесть при разработке предпроектной и проектной документации (могут быть установлены так называемые «граничные условия», т.е. требования к условиям природопользования и охраны окружающей среды);

- разработка по результатам Декларации «Обоснования инвестиций». Цель документа – обоснование места размещения объекта. На рис. 2.2 представлена принципиальная схема предварительного согласования размещения объекта строительства;

- согласование природоохранными органами на основании материалов Обоснования инвестиций основных характеристик предполагаемой деятельности (предпроектных решений). Составной частью этого процесса является согласование условий природопользования.

Обязательным элементом Обоснования инвестиций является разработка раздела «Оценка воздействия на окружающую среду».

II. Проектная документация.

- разработка на основе утвержденного Обоснования инвестиций проектной документации – технико-экономического обоснования (ТЭО). Задача ТЭО – детализация решений, отраженных в Обосновании инвестиций, и уточнение основных технико-экономических показателей (ТЭП) намечаемой деятельности. ТЭО является основным проектным документом. Обязательный элемент ТЭО – разработка раздела «Охрана окружающей среды», в котором должны быть предусмотрены мероприятия по «смягчению воздействия» на окружающую среду (например, выбор более экологически приемлемых проектных решений, программы экологического менеджмента, компенсационные мероприятия и т.д.) и дано их обоснование. ТЭО является объектом ГЭЭ;

- экологическая экспертиза предпроектной и проектной документации. Для крупных и сложных объектов ГЭЭ проводится на каждом из этапов, для объектов меньших по сложности и масштабам экспертиза может проводиться только на стадии разработки и утверждения ТЭО. В процессе ЭО должен быть сделан вывод о полноте и достоверности предоставляемых документов и информации на ЭО, который находит свое отражение в заключении ГЭЭ. Экспертная комиссия имеет право сделать запрос о предоставлении дополнительной информации, а также принять решение о возвращении документации на доработку для повторного представления на экспертизу. Неполнота или неадекватность представленных на экспертизу материалов может послужить причиной отрицательного заключения;

- утверждение заказчиком ТЭО для последующей разработки на его основе рабочей документации;

- обращение заказчика в органы местного самоуправления с ходатайством об изъятии земельного участка и предоставлении его под строительство объекта;

- оформление разрешения на комплексное природопользование с указанием видов, объемов, лимитов хозяйственной деятельности по использованию природных ресурсов, а также экологических требований, при которых это использование допускается. Форма разрешения на природопользование приведена в «Рекомендациях по экологическому сопровождению инвестиционно-строительных проектов».

2.3. Оценка воздействия объектов хозяйствования на окружающую среду

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) должна проводиться на каждом из этапов инвестиционного проектирования:

1. Уведомление, предварительная оценка и составление Технического задания (ТЗ) на проведение ОВОС. Заказчик уведомляет органы власти и общественность об основных характеристиках намечаемой им деятельности; проводит предварительную оценку воздействия с целью составления ТЗ и проведения консультаций с общественностью. Эти процедуры целесообразно проводить параллельно со стадией разработки и представления Декларации о намерениях и получения предварительных условий на проектирование.

2. Проведение исследований по ОВОС и подготовка предварительного варианта Материалов по оценке воздействия (ПМОВ), которые являются основной задачей этого этапа. Предварительный этап должен включать резюме нетехнического характера и

быть доступен заинтересованным сторонам. Проведение этих процедур целесообразно совместно со стадией разработки и утверждения Обоснования инвестиций. ПМОВ является объектом общественных слушаний.

3. Подготовка окончательного варианта Материалов по оценке воздействия (ОМОВ). Учитываются все предложения и замечания, полученные в ходе обсуждения предварительного варианта Материалов по оценке воздействия. Окончательный вариант Материалов представляется на ГЭЭ и ОЭЭ. Материалы должны включать описание альтернативных вариантов деятельности и их экологических последствий, оценку значимости воздействий, описание программ послепроектного анализа, методов и результатов взаимодействия с общественностью и резюме нетехнического характера, а также копию ТЗ на разработкуОВОС. Эти процедуры целесообразно проводить совместно с разработкой и утверждением ТЭО (проекта).

Прогноз и оценка значимости воздействий намечаемой деятельности на окружающую среду является одной из наиболее важных задач процедуры ЭО. Целью данного этапа является установление того, какие изменения могут произойти в окружающей среде в результате осуществления каждой из рассматриваемых альтернатив, а также оценка важности или значимости этих изменений. Поставленная цель достигается:

- изучением тех компонентов окружающей среды, на которые может повлиять намечаемая деятельность;

- прогнозированием и анализом возможных изменений в окружающей среде в результате осуществления намечаемой деятельности;

- оценкой значимости прогнозируемых изменений.

Различают следующие этапы прогноза и оценки воздействий на окружающую среду:

- определение источников воздействий (шум от строительства; сбросы сточных вод, поверхностный сток со стройплощадок, выбросы в атмосферу и пр.) и их характеристика;

- описание и анализ окружающей природной среды (анализ текущих характеристик окружающей среды);

- определение индикаторов и ограничений (основной вопрос на который требуется ответить: что собираемся прогнозировать?);

- прогноз изменений в окружающей среде (природа воздействий, масштаб, вероятность);

- оценка значимости.

Прогноз воздействия должен учитывать любые изменения в природной и социально-экономической средах. Как правило, применяется пошаговая схема оценки воздействия на: воздушную среду; поверхностные воды; почвы и подземные воды; шум; экосистемы; ландшафты и визуальные воздействия; социально-экономическую ситуацию; культурно-историческое наследие.

При оценке воздействия на водные ресурсы может быть применена следующая схема. Сначала устанавливаются источники забора и сброса сточных вод. Исходными данными являются гидрологические условия водного объекта и категория водопользования. Далее в соответствии с нормативно-законодательными актами устанавливается соответствие оцениваемого объекта ВКХ стандартам и лимитам водопользования. В качестве методов прогноза могут быть использованы: массовый баланс, модели разбавления, модели экосистем. На последнем этапе прогнозирования устанавливается значимость каждого вида воздействия объекта на водные ресурсы.

Главной задачей послепроектного анализа является оценка воздействия работающих предприятий и сооружений на окружающую среду и определение степени риска для здоровья людей и качества окружающей среды (оценка последствий функционирования объекта). Подготовка и проверка документации по ЭО должна быть объективной, научно-обоснованной, понятной и сжатой и выполняться с целью принятия решений и информирования заинтересованных сторон. Тем самым должна осуществляться проверка соответствия параметров и характеристик работы объектов требованиям природоохранного законодательства и стандартам качества окружающей среды; положениям и выводам заключения проектной экологической экспертизы.

Функция проверки, верификации или аудирования, которая выполняется на стадии послепроектной экологической экспертизы, определяет:

- степень соответствия заключения проектной экологической экспертизы установленным требованиям;
- оценку готового текста заключения проектной экспертизы лицом, принимающим решение, целью которого является анализ заключения с точки зрения обоснованности возможности (невозможности) строительства и эксплуатации объекта ВКХ;
- готовность объекта по критерию медико-экологической безопасности, включая инспекцию органом приемки объекта. Устанавливается соответствие объекта требованиям проектно-сметной документации, определяется качество выполненных строительно-монтажных работ и т.д. и проверяется уровень подготовки объекта по природоохранным вопросам.

При соответствии объекта нормативным требованиям экологической безопасности выдается лицензия на эксплуатацию объекта.

Дальнейшие этапы послепроектной экспертизы охватывают процесс функционирования объекта.

Целями послепроектной стадии ЭО являются:

- уменьшение неопределенности прогнозов;
- учет непредвиденных обстоятельств;
- обеспечение выполнения рекомендаций ЭО;
- улучшение качества будущих ЭО.

Сначала дается оценка работы объекта и, прежде всего, обслуживающего персонала. В ходе проверки персонал должен показать свою готовность решать возможные экологические проблемы, связанные с эксплуатацией объекта. Проверка осуществляется инспектирующими организациями или менеджерами проекта (предприятия). Подготовка персонала оценивается по тому, насколько быстро они могут реагировать в аварийных ситуациях и насколько эффективны окажутся их действия, направленные на предотвращение или ликвидацию крупной аварии на объекте. Эти характеристики очень важны, поскольку от скорости принятия решений и характера реакции на аварийную ситуацию, например, аварийный сброс сточных вод, во многом может зависеть величина возможного ущерба.

Федеральным законом «О промышленной безопасности» понятие «авария» регламентируется как разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ (например, хлора).

Кроме того, в задачи послепроектной экспертизы входит оценка методов прогнозирования, т.е. сравнение расчетных результатов деятельности предприятия с фактическими. В РФ экологический аудит пока не получил законодательной поддержки, хотя нор-

мативный акт «Основы экологического аудита» подготовлен в Госкомэкологии в 1999 г. Однако на территории РФ действуют Временные правила аудиторской деятельности, утвержденные Указом Президента РФ от 22.12.93 №2263. В соответствии с этими Правилами аудит представляет собой предпринимательскую деятельность аудиторских фирм (аудиторов) по осуществлению независимых вневедомственных проверок бухгалтерской (финансовой) отчетности, платежно-расчетной документации, налоговых деклараций и других финансовых обязательств и требований экономических субъектов.

Экологический аудит может рассматриваться как средство мониторинга, включающее системную, документированную, периодическую и объективную оценку того, насколько эффективна организация природоохранных мероприятий.

Процедура аудита в соответствии с правовыми актами международной торговой палаты должна проводиться на добровольной основе. Однако процедура экологического аудита может носить добровольно-принудительный характер и проводиться по инициативе природоохранных органов или общественных организаций.

В законопроекте об экологическом страховании предусматривается создание комиссии по экологическому аудиту. На основе оценок комиссии определяется перечень видов деятельности предприятий ВКХ, подлежащих обязательному экологическому страхованию.

Таким образом, ответственность предприятий за загрязнение окружающей среды провозглашается на государственном уровне и предусматривается возможность удовлетворения исков частных лиц, организаций и государства к предприятию - виновнику нанесения экологического ущерба.

Обязательное экологическое страхование рассматривается как механизм управления экологическими рисками.

Экологический риск может возникнуть в процессе строительства и эксплуатации любых производственных объектов. Под **экологическим риском** понимают вероятность наступления гражданской ответственности за нанесение ущерба окружающей среде, жизни и здоровью людей. Ущерб окружающей среде выражается в виде загрязнения или уничтожения лесных, водных, воздушных и земельных ресурсов, нанесения вреда флоре и фауне. Наиболее вероятными случаями, в результате которых может возникнуть экологический риск, являются аварии, сверхлимитные сбросы и утечки вредных веществ на объектах ВКХ, воздействие которых затронуло окружающую территорию.

Анализ экологического риска является одним из важнейших элементов системы ЭО. Оценка риска может быть проведена различными способами, например, построением «деревьев отказов». Такая методика определения величины вероятности возникновения нештатной ситуации является наиболее приемлемой для оценки той или иной технологии подготовки воды, поскольку производится учет по возможности большего количества причин отказов в работе оборудования и, как следствие, возникновения аварии. Однако этот метод имеет один существенный недостаток: он трудоемок и требует больших затрат времени. Кроме того, метод построения «деревьев отказов» предъявляет достаточно высокие требования к эксперту в области знания вопроса эксплуатации задействованного в принятой технологии оборудования.

На основе метода анализа риска работы объекта ВКХ может быть составлена эколого-экономическая оценка практически любой технологии подготовки воды. Таким образом, методика анализа возможного риска может быть использована при выборе варианта технологии подготовки воды питьевого качества наряду с технико-экономическим сравнением возможных вариантов.

В последнее время все большее внимание уделяется сертификации предприятий по разработанным международным стандартам. Одной из наиболее значительных международных природоохранных инициатив называют появление серии международных стандартов ISO 14000 системы экологического менеджмента на предприятиях.

Система стандартов ISO 14000 ориентируется не на количественные параметры (объем сбросов, концентрации загрязняющих веществ и т.п.) и не на технологии (требование использовать или не использовать определенные технологии, требование использовать «наилучшую доступную технологию»). Основным предмет ISO 14000 - система экологического менеджмента. Ключевые положения этих стандартов состоят в том, что на предприятиях должны быть введены и соблюдаться определенные процедуры, подготовлены определенные документы, назначен ответственный за определенную область. Основным документ серии - ISO 14001 не содержит никаких обязательных требований к воздействию организации на окружающую среду, за исключением того, что организация в специальном документе должна объявить о своем стремлении соответствовать национальным стандартам.

Входящие в систему стандартов документы можно разделить на три основные группы:

- принципы создания и использования систем экологического менеджмента;
- инструменты экологического контроля и оценки;
- стандарты, ориентированные на продукцию.

В настоящее время разработаны и разрабатываются документы стандартов ISO 14000, представленные в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Принципы экологического менеджмента		
ISO 14001	Системы экологического менеджмента (EMS) - спецификации и руководство по использованию	+
ISO 14004	Общее руководство по принципам, системам и методам экологического менеджмента	+
ISO 14014	Руководство по определению "начального уровня" экологической эффективности предприятия. Должно использоваться перед созданием формальной системы экологического менеджмента	
Инструменты экологического контроля и оценки		
ISO 14010	Руководство по экологическому аудиту - Общие принципы экологического аудита	+
ISO 14011/1	Руководство по экологическому аудиту - Процедуры аудита - Аудит систем экологического менеджмента	+
ISO 14012	Руководство по экологическому аудиту - Критерии квалификации экологических аудиторов	+
ISO 14031	Руководство по оценке экологических показателей деятельности организации	
Стандарты, ориентированные на продукцию		
ISO 14020 (серия документов)	Принципы экологической маркировки продукции	
ISO 14040 (серия документов)	Методология "оценки жизненного цикла" - оценки экологического воздействия, связанного с продукцией, на всех стадиях ее жизненного цикла	
ISO 14050	Глоссарий	+
ISO 14060	Руководство по учету экологических аспектов в стандартах на продукцию	

Основополагающим понятием стандартов серии ISO 14000 является понятие «системы экологического менеджмента» (СЭМ) предприятия. Отсюда важнейшим документом стандарта считается ISO 14001 - «Спецификации и руководство по использованию систем экологического менеджмента». В отличие от остальных документов, все его требования являются аудируемыми, т.е. предполагается, что соответствие или несоответствие им конкретного предприятия может быть установлено с высокой степенью определенности. Именно соответствие стандарту ISO 14001 и является предметом формальной сертификации. Все остальные документы рассматриваются как вспомогательные. Воздействие на окружающую среду стандартом связывается не только непосредственно с деятельностью предприятия, но и с ее продуктами и услугами.

Основные требования, которые предъявляет к предприятию ISO 14001, и соответствие которым означает, что предприятие имеет систему управления охраной окружающей среды, соответствующую этому стандарту, следующие:

- Предприятие должно выработать экологическую политику - специальный документ о намерениях и принципах, служащий основой для действий предприятия и определения экологических целей и задач. Экологическая политика должна соответствовать масштабу, природе и экологическим воздействиям, создаваемым деятельностью, продуктами и услугами предприятия, а также содержать заявления о стремлении к соответствию нормативам, постоянному улучшению СЭМ и к предотвращению загрязнений.

- Предприятие должно выработать и соблюдать процедуры для определения значимых воздействий на окружающую среду.

- Для достижения поставленных целей предприятие должно выработать программу экологического менеджмента с установлением ответственных, средств и сроков для достижения поставленных целей и задач.

- Должен выполняться ряд требований по обучению персонала, а также по подготовке к нештатным ситуациям.

- Предприятие должно осуществлять мониторинг основных параметров той деятельности, которая может оказывать существенное воздействие на окружающую среду. Должны быть установлены процедуры для периодической проверки соответствия действующим законодательным и другим требованиям.

- Должен проводиться периодический аудит системы экологического менеджмента для выяснения, соответствует ли она критериям, установленным организацией, а также требованиям стандарта ISO 14001, внедрена и работает ли она надлежащим образом. Аудит может проводиться как самим предприятием ВКХ, так и внешней стороной.

- Руководство предприятия должно периодически рассматривать работу СЭМ с точки зрения ее адекватности и эффективности. В основе требований стандарта лежит открытый цикл «план - осуществление - проверка - пересмотр плана».

Все процедуры, их результаты, данные мониторинга должны документироваться.

Предприятие может использовать стандарты ISO 14000 для *внутренних* нужд, например, как модель системы экологического менеджмента или формат внутреннего аудита СЭМ. Создание такой системы может дать организации эффективный инструмент, с помощью которого оно может управлять всей совокупностью своих воздействий на

окружающую среду и приводить свою деятельность в соответствие с разнообразными требованиями. Стандарты могут использоваться и для *внешних* нужд: продемонстрировать клиентам и общественности соответствие СЭМ современным требованиям. Наконец, организация может получить формальную сертификацию от третьей (независимой) стороны.

Предприятия могут пожелать получить сертификацию по ISO 14000 еще и потому, что такая сертификация (регистрация) является одним из непереносимых условий маркетинга продукции (например, бутилированная вода) на международных рынках. Другие причины, по которым предприятию может понадобиться сертификация или внедрение СЭМ, можно подразделить на внешние и внутренние выгоды.

Внутренние:

- экономия энергии и ресурсов, в том числе направляемых на природоохранные мероприятия, за счет более эффективного управления ими;
- уменьшение экологических платежей и штрафов;
- уменьшение риска аварийных ситуаций и их последствий;
- увеличение оценочной стоимости основных фондов предприятия;
- улучшение системы управления предприятием на всех уровнях организации;
- интерес в привлечении высококвалифицированной рабочей силы и повышение сознательности работников.

Внешние:

- стабилизация и постепенное уменьшение воздействия на окружающую среду;
- улучшение отношения населения, живущего в зоне влияния предприятия;
- улучшение образа предприятия в области выполнения природоохранных требований (в т.ч. природоохранительного законодательства);
- улучшение позиций на рынке (желание завоевать рынки «зеленых» продуктов).

3. СИСТЕМЫ И СХЕМЫ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Система водоснабжения - комплекс взаимосвязанных инженерных устройств и сооружений, обеспечивающих потребителей водой в требуемом количестве и заданного качества. Система водоснабжения включает в себя устройства и сооружения для забора воды из источника водоснабжения, ее транспортирования, обработки, хранения, регулирования подачи и распределения между потребителями.

Схема водоснабжения - последовательное расположение этих сооружений от источника до потребителя и их взаимное расположение относительно друг друга.

Системы водоснабжения должны проектироваться в соответствии с требованиями по проектированию наружных сетей и сооружений водоснабжения, а также других нормативно-технических рекомендаций и требований, предъявляемых к воде потребителями. При этом необходимо учитывать местные условия, многообразие которых приводит к тому, что система водоснабжения любого объекта по-своему уникальна.

3.1. КЛАССИФИКАЦИИ СИСТЕМ

Все многообразие встречающихся на практике систем водоснабжения классифицируется по следующим основным признакам:

- по назначению: хозяйственно-питьевые; противопожарные; производственные; сельскохозяйственные. Перечисленные типы систем могут быть как самостоятельными, так и объединенными. Объединяют системы в том случае, если требования, предъявляемые к качеству воды одинаковые или это выгодно экономически;

- по характеру используемых природных источников: системы, получающие воду из поверхностных источников (реки, озера, водохранилища, моря, океаны); системы, забирающие воду из подземных источников (артезианские, грунтовые); системы смешанного питания (при использовании различных видов водоисточников);

- по территориальному признаку (охвату): локальные (одного объекта) или местные; групповые или районные, обслуживающие группу объектов; внеплощадочные; внутриплощадочные;

- по способам подачи воды: самотечные (гравитационные); напорные (с механической подачей воды с помощью насосов); комбинированные;

- по кратности использования потребляемой воды (для предприятий): прямоточные (однократное использование); с использованием воды (двух-трехкратное); оборотные (многократное использование воды, осуществляемое по замкнутой, полужамкнутой схеме или со сбросом части воды - продувкой); комбинированные;

- по видам обслуживаемых объектов: городские; поселковые; промышленные; сельскохозяйственные; железнодорожные и т.д.;

- по способу доставки и распределения воды: централизованные; децентрализованные; комбинированные.

Системы водоснабжения в населенных пунктах предусматривают, как правило, централизованными. При этом в зависимости от местных условий и экономической целесообразности они могут быть отдельными - с собственными источниками водоснабжения для каждой из зон (селитебной или производственной) - или объединенными - с общим источником водоснабжения для обеих зон (рис. 3.1).

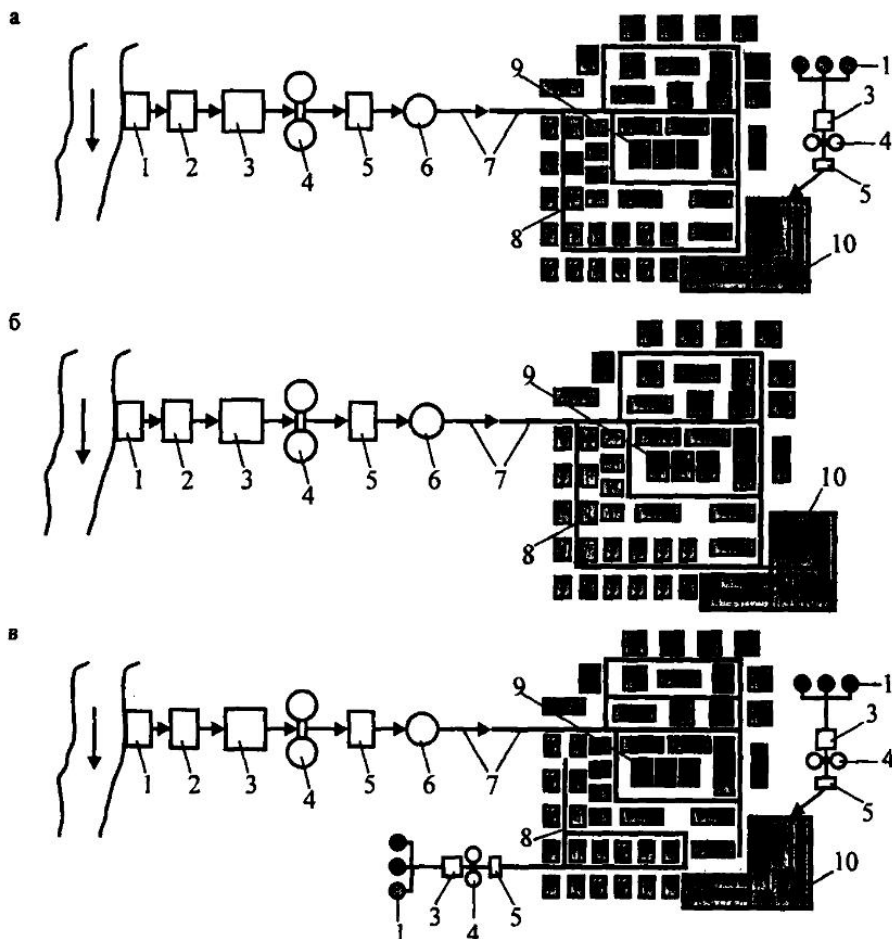


Рис. 3.1. Системы водоснабжения:

а - централизованная раздельная; **б** - централизованная объединённая; **в** - комбинированная:
 1 - водозаборное сооружение; 2 - насосная станция НС-; 3 - очистные сооружения; 4 - резервуары чистой воды; 5 - НС-; 6 - водонапорная башня; 7 - водоводы; 8 - распределительная водопроводная сеть; 9 - населённый пункт; 10 - производственная зона

Децентрализованные (местные) системы водоснабжения строятся для отдельных удалённых локальных потребителей или группы зданий, а также поселков, намеченных к переселению.

По надёжности или по степени обеспеченности подачи воды централизованные системы водоснабжения делятся на три категории (табл. 3.1).

Системы водоснабжения (водопроводы), используемые одновременно для хозяйственно-питьевого и (или) производственного водоснабжения и для тушения пожаров, или специальный противопожарный водопровод могут быть низкого или высокого давления (рис. 3.2):

а с подачей воды из водопроводной сети через гидранты низкого давления (при наличии пожарного депо необходимый напор обеспечивается с помощью пожарных автомашин или мотопомп);

б) при отсутствии пожарного депо напор создается стационарными пожарными насосами, установленными в насосных станциях, при этом трубы сети должны быть выбраны с учетом повышения давления при пожаре.

Таблица 3.1

Категория надежности подачи воды

Численность населения, тыс. чел	Категория надежности	Допустимое снижение подачи, %	Длительность снижения подачи, сут.	Допустимый перерыв в подаче воды
> 50	I	≤ 30	≤ 3	≤ 10 мин
5-50	II	≤ 30	≤ 10	≤ 6 час
< 5	III	≤ 30	≤ 15	≤ 24 час

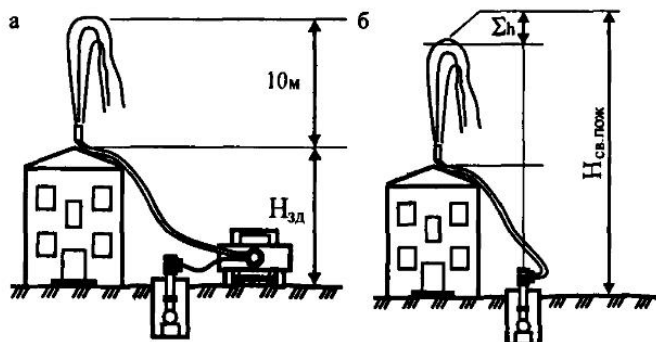


Рис. 3.2. Схемы тушения пожара из водопровода:
а - низкого давления; б - высокого давления.

Специальный противопожарный водопровод может устраиваться с подачей воды непосредственно из противопожарных резервуаров или естественных водоемов (рек, озер, прудов); необходимый напор обеспечивается пожарными автомашинами или мотопомпами.

В населенных пунктах с числом жителей более 5 тысяч человек противопо-

жарный водопровод должен быть низкого дааления. Противопожарное водоснабжение поселков с числом жителей до 5 тысяч человек допускается также из естественных или искусственных водоемов или резервуаров с забором воды из них пожарными автонасосами или мотопомпами. В этом случае требуемое число водоемов или резервуаров определяют исходя из того, что радиус их действия не должен превышать при тушении пожара: автонасосами - 200 м, мотопомпами - 100-150 м. Объем каждого резервуара должен быть рассчитан на расход воды, необходимый для тушения пожара в течение 3 часов. Пополняют противопожарные резервуары из хозяйственно-питьевого водопровода. Выбор системы противопожарного водоснабжения обосновывают технико-экономическими расчетами. Для поселков при застройке одно-двухэтажными зданиями, а также для отдельно стоящих производственных зданий I и II степени огнестойкости объемом до 1000 м³ противопожарное водоснабжение можно не предусматривать.

Примерная схема водоснабжения населенного пункта представлена на рис. 3.3.

3.2. ВЫБОР И ОЧЕРЁДНОСТЬ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ

Технико-экономическое обоснование (ТЭО) выбранного варианта системы и схемы водоснабжения следует производить по чистому дисконтированному доходу и внутригодовой норме доходности (гл. 1) или приведенным затратам с согласованными сроками окупаемости на основании проектных решений. При этом пользуются укрупненными показателями стоимости строительства сетей и сооружений водопровода и рыночными ценами на годовые издержки.

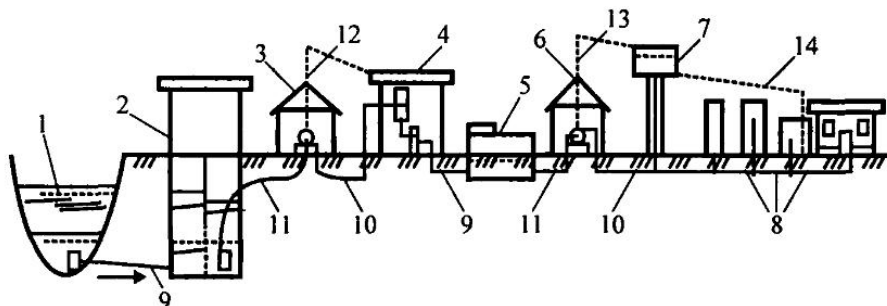


Рис. 3.3. Схема водоснабжения населённого пункта при использовании поверхностного водоисточника:

1 - источник водоснабжения; 2 - водозаборное сооружение; 3 - насосная станция I-го подъёма; 4 - водоочистная станция; 5 - резервуар чистой воды (РЧВ); 6 - насосная станция II-го подъёма; 7 - напорно-регулирующее сооружение (водонапорная башня); 8 - распределительная сеть населённого пункта; 9 - самотёчные водоводы; 10 - напорные водоводы; 11 - всасывающие водоводы

Сравнение вариантов следует производить по срокам и очередности строительства с определением капитальных вложений и годовых эксплуатационных расходов. Эти затраты следует определять на 1 м³ суточной производительности системы в целом и отдельно очистных сооружений (с учетом себестоимости подачи и очистки 1 м³ воды).

При рассмотрении возможных вариантов централизованных систем следует отдавать предпочтение объединенной системе, обслуживающей селитебную и производственную зоны населенного пункта. Это в ряде случаев обеспечивает снижение требуемых капитальных вложений и упрощает условия эксплуатации.

Применение отдельных систем для обслуживания каждой зоны может быть оправдано:

- при дебите водоисточника на каждой из площадок водозабора подземных вод, меньше требуемых суммарных расходов воды в жилой и производственной зонах;
- при значительном (более чем на 2-3 км) удалении селитебной зоны от производственной;
- при прокладке коммуникаций между обеими зонами, связанной с большими дополнительными затратами из-за сложного рельефа местности.

В целях экономии питьевой воды следует учитывать возможность использования для полива приусадебных участков воду местных источников (ручьи, водоемы, колодцы и т.п.).

Рекомендуется рассматривать целесообразность поэтапного развития системы водоснабжения в зависимости от темпов строительства населенного пункта с поочередным объединением осуществленных этапов в общую схему водопровода. Пример поэтапного развития системы водоснабжения в три очереди проиллюстрирован на рис.3.4:

- I очередь (рис. 3.4, а): схема водоснабжения с одним подъемом воды и пожаротушением из водоемов, с водонапорной башней, в баке которой хранится регулирующий и неприкосновенный противопожарный запасы воды;

- II очередь (рис. 3.4, б): мощность водопровода развивается за счет строительства дополнительных скважин, резервуара чистой воды с регулирующим и противопожарным запасом воды, насосной станции второго подъема с переходом на пожаротушение через пожарные гидранты;

- III очередь (рис. 3.4, в): завершается строительство водопровода путем расширения водозабора, строительства второго резервуара, замены и дополнительной установки насосных агрегатов второго подъема или второго блока насосной станции второго подъема.

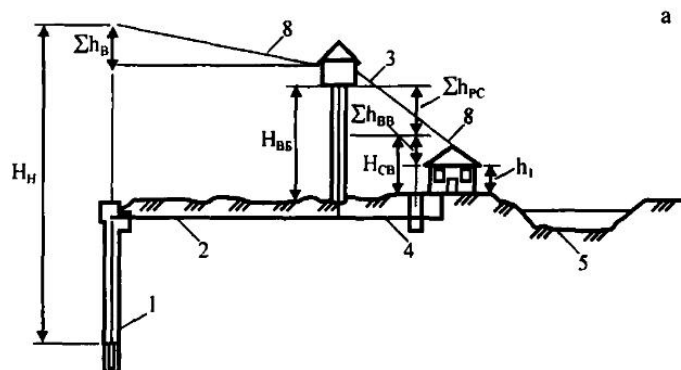
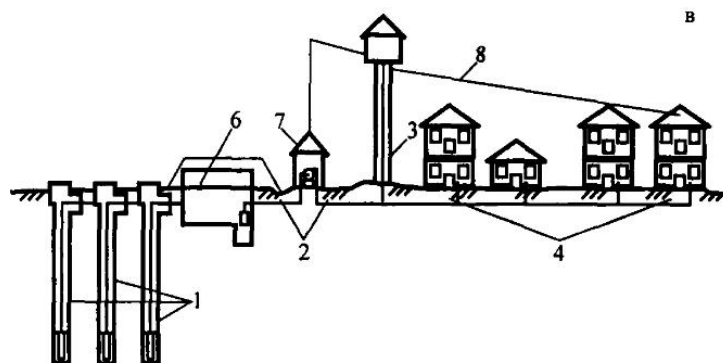
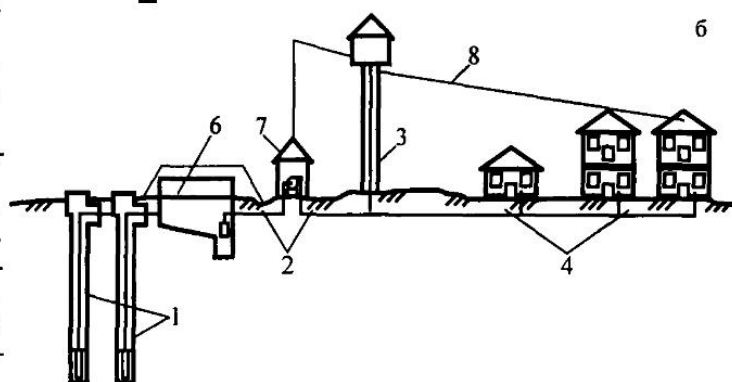


Рис. 3.4. Пример очередности строительства систем водоснабжения для малых населённых пунктов с использованием подземных водоисточников:
 1 - скважина; 2 - водоводы; 3 - водонапорная башня; 4 - распределительная сеть; 5 - пожарный водоём; 6 - резервуар чистой воды; 7 - насосная станция второго подъёма; 8 - пьезометрические линии напоров воды.



Водоснабжение объекта может осуществляться по различным схемам. Для предварительной оценки вариантов наиболее часто встречающихся схем водоснабжения небольших объектов рекомендуется пользоваться данными об основных элементарных блоках систем водоснабжения и составе сооружений (табл. 3.2).

В табл. 3.2 рассмотрены следующие схемы:

1 - один подъём воды НС-I с водонапорной башней ВБ, пожаротушение непосредственно из искусственных (или естественных) водоемов;

2 - один подъем воды НС-I с водонапорной башней ВБ, пожаротушение через гидранты;

3 - два подъема воды с резервуарами при насосной станции второго подъема НС-II и водонапорной башней ВБ, пожаротушение через гидранты с возможным частичным использованием противопожарных водоемов ППВ (для удаленных объектов);

4 - два подъема воды с резервуарами при насосной станции второго подъема НС-II без водонапорной башни (безбашенная система), пожаротушение через гидранты;

Для 2-4 схем принята система пожаротушения низкого давления.

Таблица 3.2

Состав блоков и сооружений для различных схем системы водоснабжения

Источник водоснабжения	№ схемы	Количество подъемов воды	Сооружения						
			водозаборы	НС-I	очистные станции	РЧВ	НС-II	ВБ	ППВ
Поверхностный	1	1	+	+	+	-	-	+	+
	2	1	+	+	+	-	-	+	-
	3	2	+	+	+	+	+	+	-
	4	2	+	+	+	+	+	-	+
Подземный	1	1	+	+	+	-	-	+	+
	2	1	+	+	+	-	-	+	-
	3	2	+	+	+	+	+	+	-
	4	2	+	+	+	+	+	-	-

Примечание:

1. Необходимость применения данного блока или сооружения обозначается знаком (+).
2. Очистные сооружения для обработки подземных вод включены условно; применяются лишь при не-кондиционном качестве воды.
3. Схемы 1 и 2 при поверхностных водоисточниках могут применяться при очистных сооружениях напорного типа.

Технико-экономическое сравнение вариантов башенных и безбашенных систем производится чаще всего для населенных мест с потребностью в воде до 6-8 тыс м³/сут. При большей производительности и невозможности устройства напорных наземных резервуаров экономически целесообразно устройство безбашенных систем.

3.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗОННЫХ СХЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Разделение единой системы водоснабжения на отдельные части для каждой группы потребителей, предъявляющих разнородные требования к подаваемой воде (напор, степень водоподготовки и т.п.), принято называть зонированием системы водоснабжения, а сами схемы - зонными.

Зонирование применяется как в городских, так и в промышленных водопроводах. Зонирование снижает недопустимо высокие напоры, уменьшает затраты электроэнергии на подъем воды, сокращает утечки. Зонные схемы устраивают при значительной разности отметок (вертикальные схемы) и большой протяженности охватываемой водопроводом территории (горизонтальные или вертикальные схемы), а также при большой разности свободных напоров, требуемых отдельными потребителями. Различают два основных типа зонных схем: *параллельное* и *последовательное*.

Однозонная схема водоснабжения обычно оказывается экономически эффективной в малых населенных пунктах (с водопотреблением до 10-12 тыс. м³/сут) при перепаде отметок в пределах территории города до 60-70 м; в больших городах - при перепаде отметок до 40-45 м.

В системах параллельного зонирования, схема которой представлена на рис. 3.5, зоны включаются параллельно и вода поступает в каждую зону отдельно по своим водоводам.

В здании насосной станции для каждой зоны установлены отдельные группы насосов, отличающиеся по производительности и напору. Каждая зона рассчитывается как отдельный объект водоснабжения.

При последовательном зонировании (рис. 3.6) вода в полном объеме водопотребности объекта сначала подается в нижнюю зону, часть ее (в необходимом количестве) транзитом проходит через нижнюю зону и далее отдельной группой насосов передается в верхнюю зону.

Деление на зоны при значительной разности отметок или большой протяженности обслуживаемой территории обусловлено чаще всего технической необходимостью: в наиболее высоко расположенной (диктующей) точке сети должен быть обеспечен необходимый свободный напор, а в нижней точке напор не должен превышать 60 м.

Зонирование может быть осуществлено и в целях повышения экономичности системы за счет снижения затрат электроэнергии насосами на подъем воды. Общая затрата энергии насосами на подачу воды в сеть может быть определена по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_m + \mathcal{E}_y, \quad (3.2)$$

где $\mathcal{E}_n$ - энергия, затрачиваемая на подъем воды отдельным потребителям и создание необходимых напоров; $\mathcal{E}_m$ - энергия, затрачиваемая на преодоление гидравлических сопротивлений; $\mathcal{E}_y$ - затраты энергии на бесполезную работу при подъеме общего количества воды под избыточным напором по сравнению с полезным.

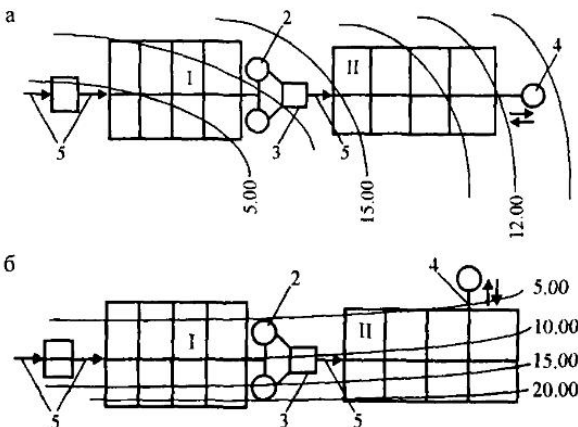


Рис. 3.6. Схемы последовательного зонирования:

а - вертикальная; б - горизонтальная:
1 - насосная станция первой зоны;
2 - резервуары; 3 - насосная станция второй зоны; 4 - водонапорная башня зоны; 5 - водоводы

Снижение энергозатрат может быть достигнуто только за счет снижения Σ , так как две первые составляющие являются заданными и не могут быть изменены. Снижение Σ обеспечивают выделением в самостоятельные зоны снабжения отдельных групп потребителей, расположенных в начале сети, на низких или высоко расположенных отметках. При этом следует учитывать, что зонирование сети связано с увеличением строительных затрат, поэтому оно будет целесообразно только в том случае, если величина эксплуатационных затрат будет невелика по сравнению с однозонным вариантом водоснабжения.

При зонировании систем водоснабжения всегда снижается суммарная мощность насосных станций, а, следовательно, эксплуатационные расходы. В ряде случаев зонирование оказывается целесообразным исключительно по экономическим соображениям. Таким образом, использование зонирования для повышения экономичности системы имеет смысл только в том случае, когда вызываемое зонированием повышение строительной стоимости системы и стоимости содержания эксплуатационного персонала не превышает экономию, достигаемую благодаря снижению энергозатрат.

Основными факторами, влияющими на выбор схемы зонирования, являются:

- форма территории города;
- расположение водопотребителей, предъявляющих сходные требования к воде;
- величина и характер изменения геодезических отметок местности в пределах снабжаемой водой территории;
- расстояние от водисточника до объекта водоснабжения.

Если вопрос о целесообразности зонирования объекта решен положительно, то необходимо правильно и экономически обоснованно произвести выбор схемы зонирования (последовательного или параллельного) и определить число зон. Экономически наиболее выгодное число зон соответствует минимальным приведенным затратам на строительство и эксплуатацию системы. Оно определяется технико-экономическими расчетами при сравнении вариантов разделения систем на отдельные зоны с учетом соблюдения допустимых давлений в сети.

Гидравлический расчет зонных схем производится так же, как и обычных водопроводов, но с учетом их взаимосвязи и особенно влияния верхних зон на нижние зоны.

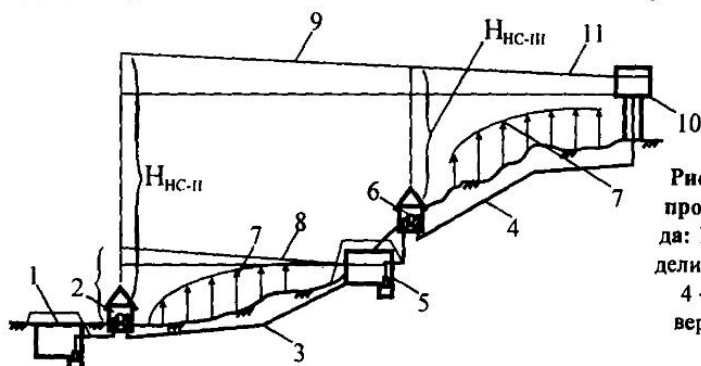


Рис. 3.7. Пьезометрический профиль зонного водопровода: 1 - РЧВ; 2 - НС; 3 - распределительная сеть нижней зоны; 4 - распределительная сеть верхней зоны; 5 - резервуар; 6 - НС;

7 - пьезометрическая линия требуемых свободных напоров; 8 - пьезометрический напор в нижней зоне; 9 - то же при отсутствии зонирования; 10 - водоопорная башня,

$H_{нс-II}$, $H_{нс-III}$ - требуемые напоры насосов, 11 - пьезометрический напор в верхней зоне.

3.4. СПЕЦИФИКА СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Важнейшим фактором, определяющим специфику водоснабжения на Севере, является мерзлотно-климатический. Он подлежит обязательному учету при проектировании водопроводных сооружений и диктует необходимость модернизации существующих и разработки новых решений, технологий и конструкций.

Основными принципами проектирования водоснабжения в зоне вечной мерзлоты являются:

- учет и всесторонняя оценка факторов, определяющих особые требования к устройству и эксплуатации систем водоснабжения на Севере: вечномерзлые грунты, их льдистость, суровый резко континентальный климат, своеобразный гидрологический режим водоисточников, снеготаносы и др.;
- технически обоснованные и экономически оправданные мероприятия по защите от воздействия вечной мерзлоты и холода всей системы водоснабжения: от источника до потребителя;
- реализация резервов удешевления строительства водопроводных сооружений и снижения затрат на их эксплуатацию: снижение металлоемкости, компактность и блокировка сооружений, сокращение доли привозных материалов, конструкций, реагентов, рационализация технологий и сооружений;
- максимальное внедрение эффективных конструктивных решений и технологий (укрупнение узлов и элементов заводского изготовления, домонтажная теплогидроизоляция труб; блочно-пакетные поставки оборудования), методов производства работ (создание специализированных монтажно-наладочных организаций, централизация производства укрупненных узлов, серийный выпуск специальной арматуры) и т.д.;
- широкое использование местных строительных материалов (дерево, камень, местные фильтрующие материалы, теплоизоляционные композиции из местных вермикулитов, диоксидов и пр.);
- обязательный учет и использование опыта водоснабжения и водоотведения в северной строительной-климатической зоне, оценка результатов научных исследований и конструкторских проработок (любое, даже эффективное решение может оказаться неприемлемым в иных мерзлотно-гидрологических условиях).
- необходимость учета реальной, постоянно существующей угрозы перемерзания любых элементов систем водоснабжения и водоотведения, которые независимо от их мощности, типа и конструкций большую часть года находятся в среде низких отрицательных температур. Нужны определенные меры по выполнению тепловых потерь сооружениями и трубопроводами соответственно условиям теплового баланса транспортируемой или сохраняемой воды от водоисточника до потребителя (циркуляция и подогрев, соответствующая арматура, теплоизоляция, электрообогрев сетей и сооружений и др.);
- обеспечение постоянного контроля и поддержание оптимального теплового режима всех элементов систем водоснабжения, особенно при малых расходах.

При проектировании водоснабжения на Севере должны также учитываться дороговизна и дефицит электроэнергии, малая обеспеченность кадрами; неустойчивые транспортные связи, характер производства, застройка поселений, мощность предприятий, условия водоотведения, мощность и особенности режима источников, уклад жизни населения и т.д.

Системы водоснабжения специальных очистных сооружений обязательно имеют тепловые пункты (котельные, бойлерные и др.), задачей которых является обеспечение требуемых тепловых режимов сетей и сооружений за счет подогрева воды непосредственно на водозаборе, в пунктах хранения и обработки воды, «тепловое сопровождение» водопроводов и др.

Инженерные изыскания дают не только исходные материалы для проектирования, но и являются его составной частью, влияя непосредственно на качество и сроки проектирования, выбор схем и типов сооружений, их экономичность, надежность и долговечность. Важно правильно оценить геокриологические (инженерно-мерзлотные) свойства и особенности грунтов с прогнозом их изменения в зависимости от принятого принципа строительства сооружений. Последний должен быть определен уже на стадии инженерных изысканий.

Принцип сохранения мерзлого состояния грунтов оснований на весь период строительства и эксплуатации сооружений назначается при слое мерзлоты более 10 м, ее устойчивым температурном режиме, малых габаритах и незначительных тепловыделениях сооружений.

Целесообразен принцип приспособления конструкций сооружений к неравномерным осадкам оснований при их оттаивании в процессе эксплуатации объектов водоснабжения, если ожидаются большие тепловыделения, неустойчив температурный режим мерзлоты и относительно малы равномерно распределенные в грунтах ледовые включения.

Подобные мерзлотные условия вызывают при оттаивании небольшие осадки грунтов, исключаяющих их разжижение и выдавливание из-под сооружений. Это особо важно при создании водохранилищ, прудов, резервуаров и т.п., когда под объектом сложно сохранить мерзлоту, а предварительное оттаивание грунтов дорого. Необходима осторожность, если противофильтрационные элементы выполняются из полимерных пленочных экранов, легко разрывающихся при осадках оттаявших грунтов в основаниях.

Принцип предпостроечного оттаивания грунтов оснований применим, если нельзя сохранить их мерзлыми, при высокой льдонасыщенности, неравномерной в плане и профиле, т.е. если реальна большая и неравномерная осадка грунтов при общем их слое до 10 м. Это наблюдается при крупносkeletalных грунтах (возможно и на мелкозернистых) при естественном их дренировании. Наиболее реальная технология инженерной подготовки площадок по этому принципу - предпостроечное оттаивание основания и одновременный намыв грунта средствами гидромеханизации.

Выбор принципа использования мерзлоты в качестве оснований водопроводных сооружений - ответственная задача.

Для целей водоснабжения важной частью инженерных изысканий является геокриологическая съемка, в задачи которой входят выявление генезиса, криогенной текстуры и физических свойств грунтов, специальное изучение оснований (наличие термокарста, солифлюкций, трещин, заполненных льдом, пучения, таликов, наледей и т.д.). Геокриологическая съемка сопровождается геофизической разведкой, бурением скважин, проходкой шурфов с отбором проб грунтов и воды на исследования. Глубины скважин зависят от мощности мерзлоты: до 30 м она вскрывается скважинами полностью для нахождения верхней (под деятельным слоем) и нижней границы вечномерзлой толщи, а при мощности более 30 м скважины проходят до 20-26 м от подошвы деятельного слоя. К сожалению, эти требования на практике выполняются редко.

Важнейшая характеристика мерзлоты - ее температурный режим, изучаемый сетью специальных режимных скважин (термических), в том числе в акваториях водоисточников и близ сооружений, позволяющих оценить влияние сооружений (водоемов) на грунты. Правила оборудования таких скважин изложены в инструктивной литературе. При мерзлотно-геологическом изучении грунтов под объекты водоснабжения важен учет опыта изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации подобных сооружений на соседних участках (районах) со сходными условиями.

Объем мерзлотно-геологических исследований зависит от сложности, мощности проектируемых водопроводных объектов, стадии проектирования, района Севера (характер мерзлоты, мощность, термический режим, устойчивость во времени, виды и масштаб мерзлотных явлений и процессов, географическая зона – северная, центральная или южная). Северная зона – районы сплошного распространения вечной мерзлоты - занимает территорию выше геоизотермы -5°C . Центральная зона (между геоизотермами $-5(-1)^{\circ}\text{C}$ определяется прерывистым расположением вечной мерзлоты. Южная зона располагается между геоизотермами $0(-1)^{\circ}\text{C}$; для нее характерно островное распространение вечномерзлых толщ.

При изысканиях под объекты водоснабжения выявляются геокриологические особенности мерзлоты в полевых условиях: генезис, литология мерзлых толщ, их мощность и площадь распространения, криогенная текстура, льдистость, формы ледяных включений, мощность и состав пород деятельного слоя, наличие и типы подземных вод, их состав и др. Кроме того, в полевых условиях определяют физические, теплофизические и механические свойства вечномерзлых грунтов.

При наличии схем водоснабжения в зоне мерзлоты следует учитывать:

- мерзлотно-гидрологические, гидрогеологические условия организации водоснабжения и прогноз их изменения; мерзлотно-гидрологические характеристики водоисточников и т.д.;

- преимущественное использование подземных или подрусловых вод, особенно для первоочередного строительства. Создание водохранилищ при невозможности получения воды из естественных поверхностных источников правомерно лишь при соответствующих технико-экономических обоснованиях;

- максимальное использование существующих сооружений, их реконструкцию и интенсификацию (прокладка дополнительных водопроводов, замена традиционных технологий более прогрессивными, интенсификация работы сооружений и др.);

- возможность развития водопроводов и сооружений с обеспечением наиболее эффективного использования капиталовложений без перебоев подачи воды при выполнении реконструкции и расширении систем;

- наиболее целесообразную при минимизации затрат энергии на защиту элементов системы от перемерзания компоновку сооружений в плановом и высотном отношениях, обеспечивающую на основе технико-экономических сравнений наиболее экономичные решения;

- все технологические (количество водопотребителей, объемы и режимы водоподачи, требуемые напоры, качество воды и пр.) и местные мерзлотно-климатические и гидрологические условия, диктующие выбор источников, способы и конструкции прокладок водопроводов, степень обработки и подогрева воды и др.;

- требование приближения источников водоснабжения и энергообеспечения к потребителям.

Схемы водоснабжения и отдельные элементы на Севере могут быть весьма различными в зависимости от мерзлотно-климатических условий и технико-экономических соображений. Основополагающими при этом являются водоисточник, его расположение относительно потребителя, хозяйственно-строительные возможности водообеспечения. Мощность и режим водоисточников определяют не только схему водоснабжения, но и конструкции всех сооружений, условия и стоимость их строительства и эксплуатации. Правильный выбор схем водоснабжения дает значительные резервы экономики капиталовложений, материальных и трудовых затрат.

Для поселений целесообразнее добыча подрусловых вод, а также фильтрационных вод из водохранилищ на перемерзающих реках. Сложнее получить поверхностные воды незарегулированных источников. В настоящее время все более увеличивается ориентация на специально создаваемые водохранилища, пруды и водоемы-копани. При выборе воды из любых источников должны учитываться возможность резкого сокращения их глубин и расходов, высокая вероятность перемерзания. Наиболее надежны схемы, базирующиеся на комбинированных водозаборах с приемом и поверхностных и подрусловых вод. Эти схемы и наиболее экономичны, так как упрощается водоочистка и можно широко использовать более доступные поверхностные источники, несмотря на необходимость в ряде случаев их регулирования.

Различия схем водоснабжения обусловлены надежностью водоисточников, набором сооружений, степенью соответствия условиям эксплуатации, сложностью обеспечения теплового режима элементов системы. Схемы водоснабжения из перемерзающих рек с забором воды из подрусловых отложений или из искусственно созданных фильтрующих слоев с регулированием поверхностного и подруслового стока наиболее распространены и перспективны на Севере для относительно малых объектов (рис. 3.8). Водохранилища здесь не только аккумулируют поверхностный сток, но и обводняют подрусловые водовмещающие отложения, улучшая гидротерметику отбора и очистки воды. Эти схемы испытаны временем, некоторые из них эксплуатируются свыше 40 лет.

За счет подрусловых вод надежно решается водоснабжение даже крупных городов в различных зонах Севера (Якутск, Алдан, Тында и др.);

Примеры организации водоснабжения в условиях ограниченных водных ресурсов и крайней их неравномерности распределения в году иллюстрируют схемы рис. 3.10.

Схема 3.8, а достаточно типична при водоснабжении объектов равнинно-тундровой зоны. Создание запасов воды на бессточный период (ноябрь-май) обеспечивается устройством пруда - копани, оборудованного системой фильтрующих сооружений для очистки забираемой воды, и ледохранилища в качестве резервного источника. Водозабор в течение года осуществляется из пруда, вода из ледохранилища отбирается при расплавлении льда с помощью пара, теплой воды или электрокабелей.

Широко распространены на Северо-Востоке схемы организации водоснабжения крупных предприятий и поселков из водохранилищ на перемерзающей реке. В качестве дополнительного источника создают водоемы - копани, из которых подпитывают основные водохранилища. Создание водохранилищ часто нецелесообразно из-за неблагоприятных мерзлотно-гидрологических условий. Водозаборы чаще всего выполняются в виде фильтрующих ряжей. Забираемая вода очищается и обеззараживается на очистных станциях, заблокированных с насосами станциями II подъема, тепловыми пунктами и резервуарами, очищенная вода подается лишь на хозяйственно-питьевые нужды; на технологические цели вода от фильтрующих водозаборов идет без очистки.

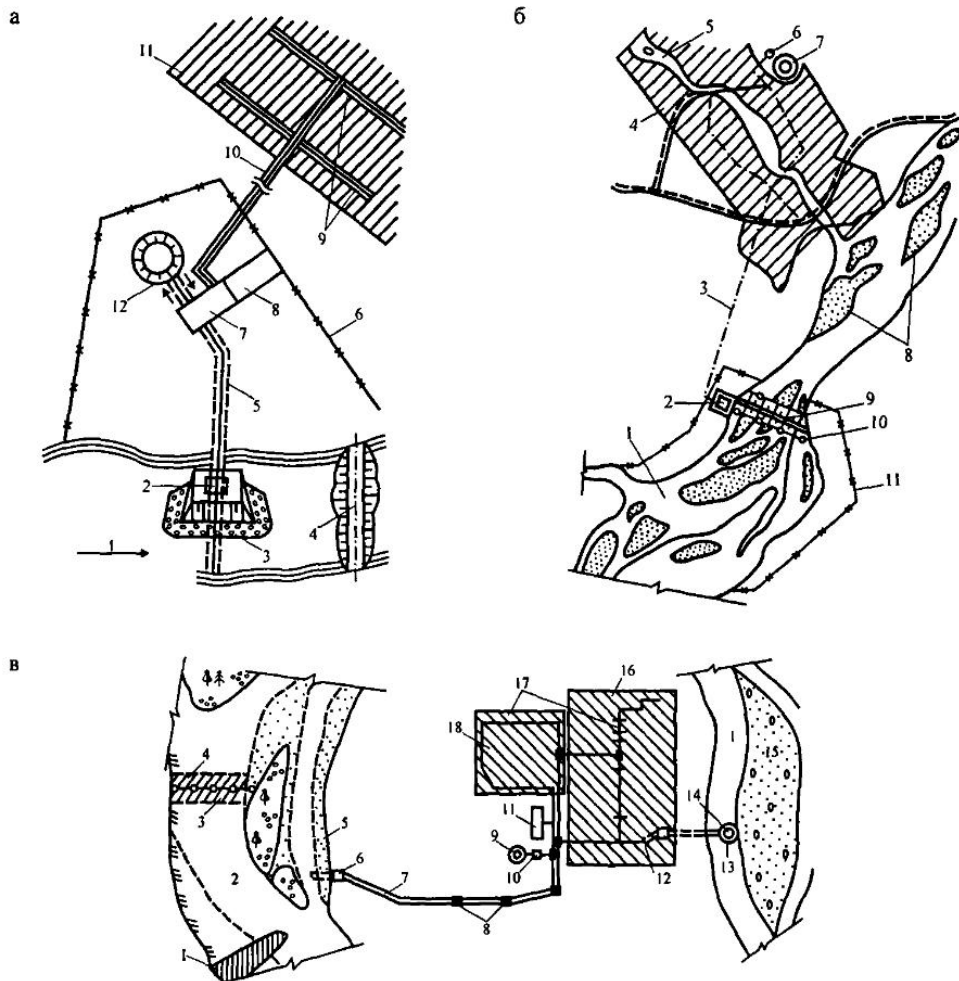


Рис. 3.8. Схемы водоснабжения из перемерзающих водотоков с регулированием подрусловых вод:

а – фильтрующей плотиной: 1 – ручей; 2 – водоприемный колодец; 3 – фильтр; 4 – фильтрующая дамба; 5 – самотечно-всасывающие трубы (250 мм); 6 – санитарная зона; 7 – насосная станция; 8 – тепловой пункт; 9 – водопровод с теплосетями; 10 – водоводы; 11 – поселок; 12 – резервуар, 1000 м³; **б** – глухой плотиной: 1 – река; 2 – водозабор-насосная; 3 – водоводы (219 мм); 4 – поселок; 5 – ручей; 6 – резервуар, 300 м³; 7 – резервуар, 1000 м³; 8 – острова; 9 – глухая плотина; 10 – водосборная дрена; 11 – ограда; 12 – мерзлотной завесой: 1 – шпора; 2 – река; 3 – мерзлотная завеса; 4 – замораживающие устройства; 5 – дрена; 6 – насосная станция; 7 – водовод; 8 – колодцы; 9 – пожарный резервуар, 300 м³; 10 – противопожарная станция; 11 – котельная; 12 – дублирующий водовод; 13 – фильтр; 14 – дублирующая водозабор; 15 – островной массив; 16 – жилая зона; 17 – разводящая сеть; 18 – промзона.

Схема водоснабжения поселков в бассейне р. Индигирка (рис. 3.8, б) показывает невозможность получения воды из основной реки с достаточным расходом. Необходимый запас воды приходится создавать устройством на перемерзающем ручье подпорной дамбы и обвалований от подтопления основной реки. Указанные на рис. 3.9 схемы пер-

спективны для водоснабжения предприятий и пионерных поселков при правильном учете особенностей местности и режима водоисточников. В практике применяются и другие схемы, отличающиеся набором сооружений, степенью надежности и гибкостью функционирования. Преобладание на Севере комплексных промышленно - хозяйственно-питьевых водопроводов предполагает резкую сезонную неравномерность водопотребления. Поэтому целесообразно подавать большие расходы воды на технологические нужды (промысловые и обогатительные установки, горные предприятия) летом по сборно-разборным трубопроводам больших диаметров из полимеров, легких сплавов и пр. Сезонные поверхностные водопроводы существенно упрощают и удешевляют водообеспечение крупных объектов.

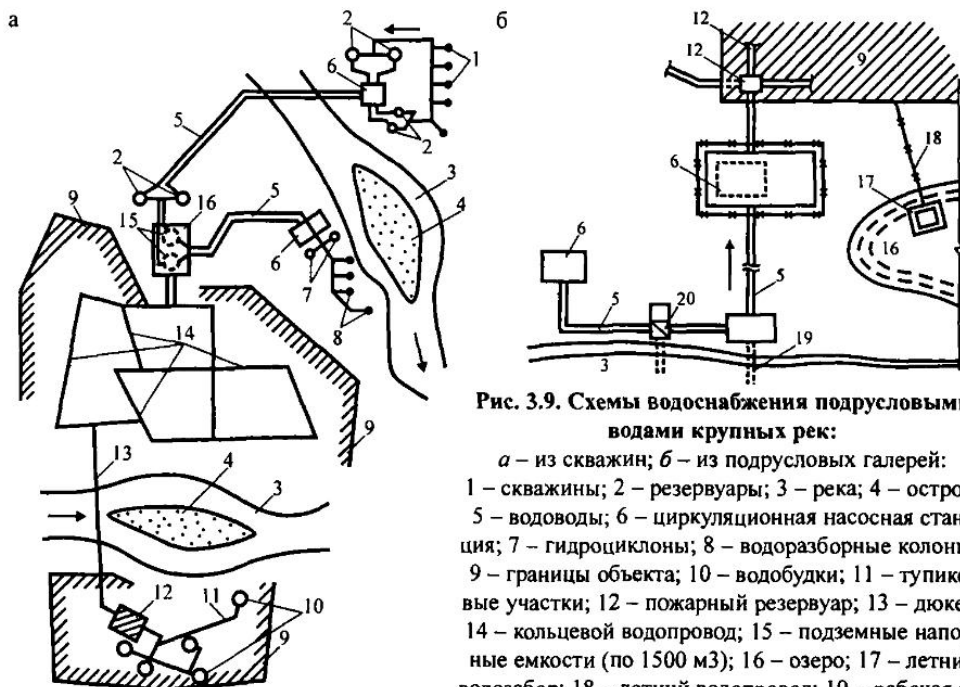


Рис. 3.9. Схемы водоснабжения подрусовыми водами крупных рек:

а – из скважин; б – из подрусовых галерей:
 1 – скважины; 2 – резервуары; 3 – река; 4 – остров;
 5 – водоводы; 6 – циркуляционная насосная станция;
 7 – гидроциклоны; 8 – водоразборные колонки;
 9 – границы объекта; 10 – водобудки; 11 – тупиковые участки;
 12 – пожарный резервуар; 13 – дюкер; 14 – кольцевой водопровод;
 15 – подземные напорные емкости (по 1500 м³); 16 – озеро; 17 – летний водозабор;
 18 – летний водопровод; 19 – рабочая галерея; 20 – дублирующий водозабор.

Суровый климат, вечная мерзлота, особенности мерзлотно-гидрологического и гидрогеологического режима водоисточников позволяют создавать ресурсосберегающие технологии. Возможными путями рационального использования сурового климата и мерзлотных факторов являются:

1. Использование льда для теплоизоляции сооружений и водопроводов в холодный период года. Высокие теплоизоляционные свойства льда, наносимого на наружные поверхности сооружений и трубопроводов, позволяют ограничиться их минимально необходимой стационарной теплоизоляцией, т.е. снизить их термическое сопротивление и стоимость. Доказано, что обледенение внутренних поверхностей водонапорных башен и резервуаров обеспечивает защиту от перемерзания всей воды в емкостях. Используется в качестве меры теплозащиты внутритрубное оледенение водоводов, получившее солидное теоретическое обоснование и аппаратное обеспечение.

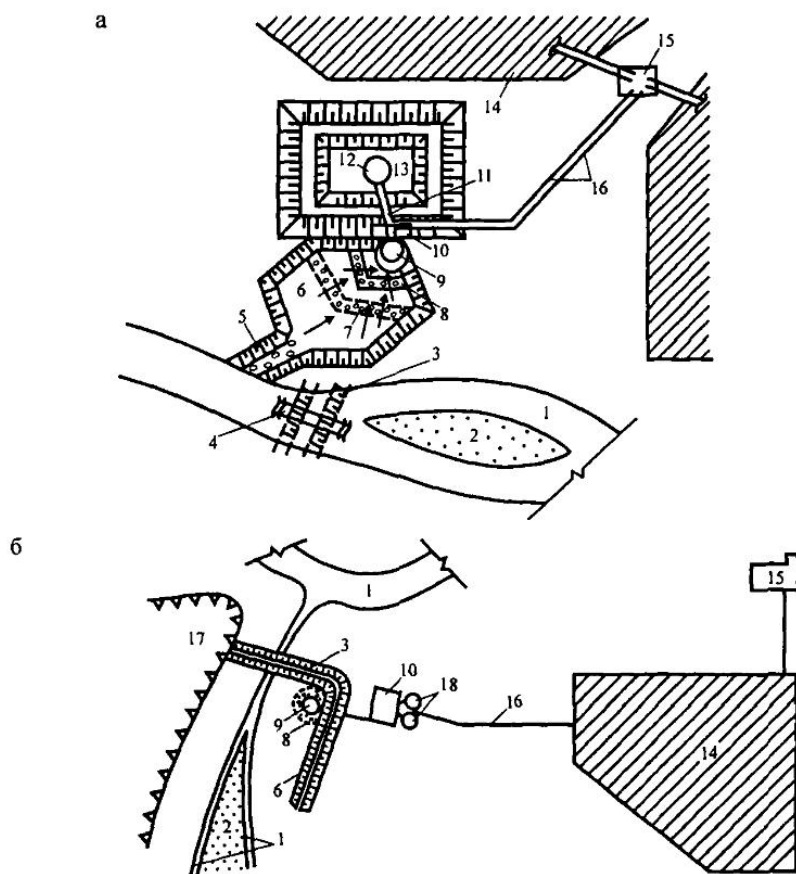


Рис. 3.10. Схемы водоснабжения при ограниченных водозапасах:

а – из пруда-копани; *б* – из водоема: 1 – водоток; 2 – пески; 3 – плотина; 4 – водосбор; 5 – фильтрующая траншея; 6 – водоем; 7 – фильтрующая дамба; 8 – фильтр; 9 – фильтрующий колодец; 10 – насосная-котельная; 11 – подача воды на намораживание; 12 – водосборная шахта; 13 – льдохранилище; 14 – объект; 15 – циркуляционная насосная; 16 – водовод; 17 – скала; 18 – резервуары

В последние годы разработаны теоретические основы и технические средства получения пористого льда для теплозащиты больших площадей (акваторий водозаборов, подрусовых береговых отложений и пр.) и создание больших массивов льда. Отработана технология ускоренного намораживания льда методами дальноструйного дождевания. На базе серийных насосных станций СНП –50/80 (СНП-75/100) в Сибирском НИИ гидротехники и мелиорации разработана установка для ускоренного намораживания льда различной плотности. Плотность фирнового льда обеспечивается от 0,2-0,3 до 0,6-0,75 г/см³.

2. Создание ледовых подпорных сооружений для водоснабжения, обводнения (плотины, дамбы, льдохранилища и пр.) и накопления запасов воды практически апробировано в сельских районах Якутии в 1984 – 1985 гг. Глухая ледовая плотина с напором до 6,0 м из льда плотностью 0,6-0,7 г/см³ с предотвращением фильтрации через ее тело имеет полимерный пленочный экран. Без дополнительных мероприятий по теплоизоляции

ции ледовая плотина устойчиво работала 2025 суток, обеспечив заполнение паводковыми водами ближайших озер и стариц, обводнение прилегающих пастбищ.

3. Регулирование русел водотоков и их напорного режима в зимнее время. Оно предусматривает управление подледным потоком, защиту берегов и островов от размыва, регулирование наносов и пр. с помощью струенаправляющих дамб и шпор, возводимых из льда за счет естественного холода, струенаправляющих элементов, устанавливаемых на поверхности льда, и др.

4. Использование естественного холода вечномерзлых недр и атмосферы при строительстве водопроводных сооружений: укрепление оснований сооружений замораживающими установками-термосифонами, промораживание таликов и плывунов, выморозка котлованов под водозаборы и береговые колодцы, создание противоточных мерзлотных завес и др. Широкое распространение получили в практике северного строительства замораживающие установки Гапеева С.И., применяемые и для решения задач водоснабжения.

5. Создание в вечномерзлых массивах полостей (емкостей) для хранения запасов хозяйственно-питьевых вод, консервации сточных вод и жидких отходов, хранения реагентов и т.д. Горные выработки, образуемые, как правило, средствами гидромеханизации, достигают значительных объемов. Существуют методики теплотехнического расчета таких полостей при различных наполнениях водой, а также условий замерзания водных масс или поддержания их в жидком состоянии.

6. Охлаждение оборотных и циркуляционных вод с использованием ресурсов холода вечномерзлых толщ.

Эти способы должны получить развитие в практике водоснабжения Севера.

3.5. Локальные системы водоснабжения

Под локальными (местными) системами водоснабжения понимают такие, которые обслуживают:

- отдельные здания или группы зданий (микрорайоны населенных пунктов) жилого и коммунального назначения;
- небольшие отдельно расположенные промышленные предприятия, водопойные пункты животноводческих ферм и комплексов, полевые станции сельхозкооперативов;
- постоянно действующие станции и пункты сети наблюдения за гидрометрией и климатом, изыскательских партий;
- отдельно расположенные военные гарнизоны.

Основной *отличительной способностью* локальных систем водоснабжения является наличие индивидуальных источников водоснабжения или подводящих водоводов (каналов) от групповых и центральных систем водоснабжения крупных населенных пунктов и промпредприятий и ограниченная суточная производительность. Последняя, в зависимости от количества, вида и режима жизнеобеспечения водопотребителей, может колебаться в пределах от 1 до 1000 м³ сут и более. *Второй отличительной особенностью* таких систем является меньшее насыщение оборудованием. Оно преимущественно состоит из полу- или полностью автоматизированных блоков забора, очистки и подачи воды, характеризующихся совмещением нескольких процессов в одном сооружении или устройстве. *Третьей отличительной особенностью* локальных систем водоснабжения является резко выраженная неравномерность водопотребления в течение суток в

коммунальном секторе, ввиду незначительного количества водопотребителей и специфического режима водопотребления. Для таких систем характерно отсутствие разветвленной кольцевой водопроводной сети и громоздких сооружений по обработке воды и хранению ее запасов.

Схема локального водоснабжения зависит от характера и расположения на местности объекта водоснабжения (одного или нескольких водопотребителей), вида, мощности и санитарной защищенности источника водоснабжения, высоты расположения точек водоотбора и технических характеристик водоразборных приборов. Различают системы водоснабжения, обеспечиваемые водой из достаточно мощных, отдельно расположенных малodeбитных водоисточников и снабжаемые водой из централизованных или групповых водопроводов. По месту размещения основного оборудования (насосных станций, водоочистных устройств) такие системы могут оборудоваться в подвалах или технических этажах обслуживаемых зданий, в центральных тепловых пунктах, заглубленных хорошо вентилируемых и отапливаемых камерах. По характеру обеспечения требуемого напора, расхода и качества воды системы локального водоснабжения различают на системы с одним узлом водоподачи (насос с гидропневмобаком) и комбинированные системы (с гидропневмобаком и открытым резервуаром, расположенным на требуемой высоте по отношению к водопотребителю).

При наличии водоисточника с дебитом, превышающим расчетный расход воды, подаваемой потребителям, система водоснабжения проектируется, как правило, с одной рабочей и одной резервной насосно-регулирующей установкой одного типоразмера. На объектах, где водопотребление превышает производительность типовой установки, предусматривается монтаж и работа нескольких таких установок, работающих на одну сеть. Наличие реле давления в насосных автоматических станциях позволяет устанавливать оптимальный режим их поочередного и совместного включения и отключения, обеспечивая тем самым оптимальный режим водоподачи, максимально приближенный к режиму водопотребления.

При наличии в системе лишь малodeбитных водоисточников предпочтение следует отдавать отдельно расположенным запасным регулирующим емкостям, подаче воды группой насосных автоматических станций и водозабора из водоразборных колонок.

Водозабор из центрального водопровода (из городской водопроводной сети или с помощью водовода от системы группового водопровода) должен производиться с учетом достаточности напоров воды в подводящем трубопроводе и соотношения количества отбираемого к расчетному протекаемому расходу.

Водоочистные установки в системах локального водоснабжения включаются в единую гидравлическую технологическую цепь. При напорном варианте место расположения водоочистных устройств устанавливают после насосной установки первого подъема. При этом следует учитывать, что оптимальные условия работы практически всех водоочистных сооружений и установок наблюдается при постоянном расходе подаваемой на них воды. Поэтому, напорно-аккумулирующие баки желательно размещать до и после очистного блока.

Схемы локальных систем водоснабжения представлены на рисунке 3.11.

Водозабор для систем локального водоснабжения осуществляется чаще всего из подземных водоисточников. В этих случаях могут использоваться как артезианские воды, так и грунтовые из малodeбитных горизонтов или линз с пресной водой. Помимо скважин, весьма распространенными используемыми водозаборными сооружениями являются шахтные колодцы, каптажные родники, горизонтальные водосборы.

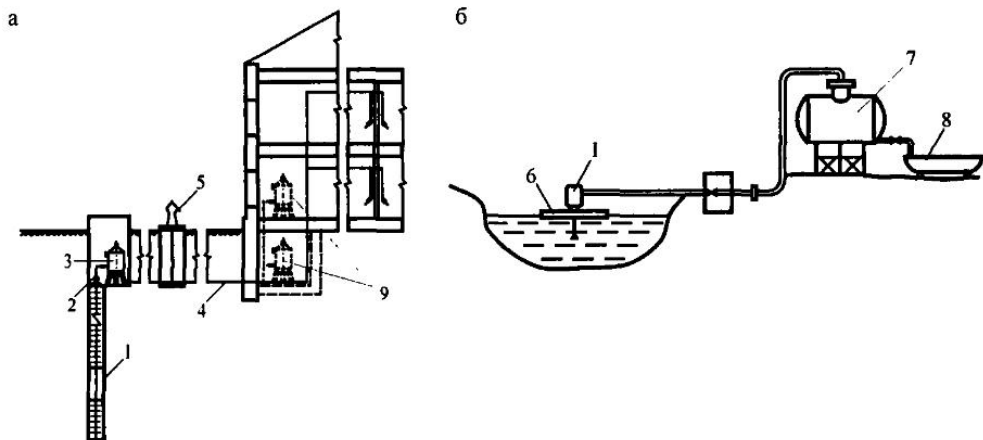


Рис. 3.11. Схемы локальных систем водоснабжения:

а) с автономным водоисточником и отдельно расположенными водопотребителями с разными требуемыми напорами; б) локальная система водоснабжения водопойного пункта животных, 1 – насос; 2 – оголовок скважины; 3 – гидропневматический бак; 4 – водопроводная сеть; 5 – водоразборная колонка; 6 – понтон; 7 – бак осветленной воды; 8 – водопойное корыто; 9 – водовоздушные баки

При заборе поверхностных вод в качестве водозаборных сооружений используют русловые или простейшие береговые водоприемники. Для временного водоснабжения применяют передвижные насосные станции, монтируемые на берегу реки с опускаемым колодезем и всасывающим трубопроводом или с защищенным оголовком и самотечной линией монтируемых в русле водотока (см. подробнее п.5 настоящей статьи).

Аналогично централизованным и групповым системам водоснабжения количество воды, используемой в локальных системах водоснабжения, расходуется на хозяйственно-питьевые нужды населения, поение домашних животных и птиц, технические нужды, на полив приусадебных участков.

Отличительной особенностью режимов водопотребления является повышенная по сравнению с централизованными системами, неравномерность водопотребления по часам суток (обычно коэффициент неравномерности составляет от 3.5 до 4.5), а в сельскохозяйственных объектах (фермы, тракторные бригады) – и сезонностью потребления.

При одно- и двухэтажных жилых помещениях водозабор для нужд населения осуществляется либо из колонок, либо через вводы в дома. При использовании воды из водоразборных колонок на фактическое водопотребление существенное влияние оказывает радиус водопользования. Удельный расход воды одним жителем в сутки в таких случаях колеблется обычно от 15 до 35 л чел⁻¹ в сутки. В зданиях, оборудованных внутренним водопроводом, канализацией и ваннами на одного жителя приходится от 125 до 150 л чел⁻¹ в сутки. Нормы водопотребления в животноводческих секторах в сети в точках водоразбора зависят от технических характеристик сантехнических приборов и высоты их расположения над поверхностью земли.

Требуемый напор в высотных зданиях локальных систем обеспечивается специальными повысительными насосно-пневматическими установками.

Тушение пожара в локальных объектах водоснабжения обеспечивается, как правило, из открытых водоемов или специально устраиваемых подземных резервуаров с помощью передвижных пожарных машин и оборудования.

Основным элементом системы локального водоснабжения является насосная установка, обычно совмещенная с напорно-регулирующим баком чистой воды. К таким установкам предъявляются требования:

- их серийное производство, обеспечивающее возможность поставки в комплекте со средствами автоматического управления и напорно-регулирующим баком;
- возможность размещения насосной установки без использования специальных зданий (в шахтах колодцев, вспомогательных помещениях, трубах большого диаметра);
- простота конструкции, комплектность, высокая ремонтоспособность;
- простота и надежность эксплуатации без постоянного присутствия персонала за счет высокой автоматизации процессами управления.

Тип и характеристики автоматических насосных станций зависят от особенностей режима водопотребления объекта водоснабжения, размещения на местности основных водопотребителей и требуемых напоров в сети. Учитывая большую неравномерность водопотребления по часам суток и даже в течение часа, предпочтение при выборе насосной установки отдается насосам с регулирующим приводом. Однако, при выборе такого решения необходимо производить технико-экономическое обоснование. Суть такого обоснования состоит в сравнении капитальных и эксплуатационных затрат на приобретение большего числа мощных насосов с высоким коэффициентом полезного действия и меньшими объемами бака для регулирования неравномерности водопотребления и десяти минутного запаса для тушения пожара, или с меньшим числом насосов, но большим запасом регулирующего объема воды в водонапорных баках. Предпочтение в системах местного водоснабжения отдают насосным установкам с периодическим действием одного или нескольких насосов с разными напорно-расходными характеристиками.

Принципиальные схемы автоматических насосных установок, смонтированных с гидропневматическим и открытым водонапорным баком, установленным на высоких отметках местности, представлены на рисунке 3.12.

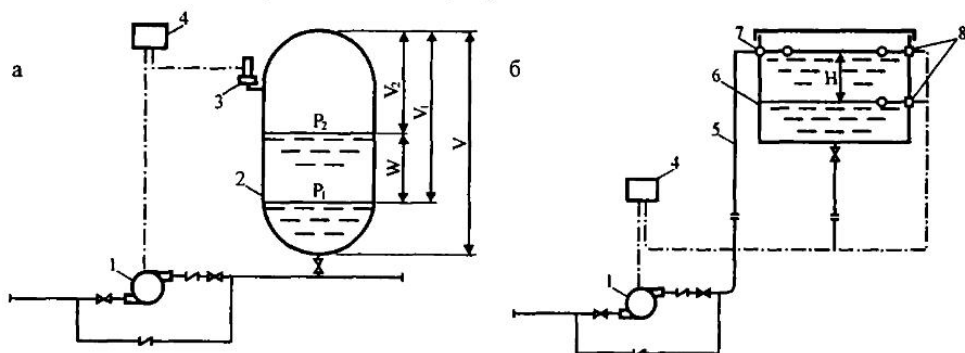


Рис. 3.12. Принципиальные схемы автоматических насосных установок:

- а) с гидропневматическим водонапорным баком; б) с открытым водонапорным баком; 1 – насос; 2 – гидропневматический бак; 3 – реле давления; 4 – шкаф управления; 5 – подающий трубопровод; 6 – открытый бак; 7 – поплавковый клапан; 8 – поплавковые реле уровня

Такие установки состоят из следующих основных элементов:

- насос с электродвигателем;
- напорно-регулирующий бак;
- запорно-регулирующая и электронная(механическая) управляющая арматура.

Регулирование производительности таких установок достигается периодическим попеременным включением и выключением автоматически действующих элементов системы в зависимости от изменяющихся режимов водопотребления. Частота включения насоса зависит от регулирующего объема бака, рассчитанного на определенный режим водопотребления. Число включений установки при определенном режиме неравномерного водопотребления определяется по формуле:

$$N = \sum_i \frac{Q}{W} \left(1 - \frac{Q}{q} \right) \Delta t \quad (3.2)$$

где Δt - принятый промежуток времени, в течение которого неравномерность не учитывается; Q - расход воды потребителями, $\text{м}^3 \text{ ч}^{-1}$; q - средняя за цикл производительность насоса, $\text{м}^3 \text{ ч}^{-1}$; W - регулируемый объем бака, м^3 ; t - продолжительность между двумя последовательными включениями и выключениями насоса, ч.

Регулирующая емкость, а следовательно и полный объем напорно-регулирующего бака существенно сокращается при включении в состав насосной станции группы насосов, управляемых отдельными реле давления или датчиками уровня. В таких системах насосы включаются и выключаются из работы поочередно в зависимости от изменения расходов воды потребителями и связанных с ними изменениями давлений и уровней воды в баке. В России разработан ряд унифицированных автоматических насосных установок с погружными, лопастными и водоструйными насосами, основные технические характеристики которых приведены в таблице 3.3.

В ряде стран разработан широкий спектр автоматических насосных станций с аккумулирующими водяными и водовоздушными баками для коттеджей и отдельно расположенных объектов коммунального и технического водоснабжения. К наиболее известным относятся гидропневматические мембранные резервуары, смонтированные с насосами конструкций фирм VAREM, CWG и Grundfos.

Таблица 3.3

Основные технические характеристики автоматических насосных установок

Тип насосов	Тип установок	Емкость гидропневмо бака	Диапазон производительностей, $\text{м}^3 \text{ ч}^{-1}$	Полный напор, м.в.д.ст.	Марка насосов	Источник водоснабжения
Погружные	ВУ-2-20... ВУ-10-180	0.16-1.25	2-10	20-180	ЭЦВ	Скважины $D = 4-6''$
Горизонтальные	ВУ-2-25... ВУ-16-30	0.16-0.8	2-16	25-30	1,5В, 2В	Шахтные колодцы
лопастные	АНУ-20-30... АНУ-150-15	2.0-5.0	2-5	15-60	К, КМ	Открытые водоемы
Водоструйные	ВУ-3-35... ВУ-8-90	20-180	0,3-0,8	45-100	ВН-2-Щ	Шахтные колодцы, скважины

Экономически оправданными в системах локального водоснабжения, использующих воду из открытых поверхностных или подземных водоисточников, являются ком-

пактные установки заводского изготовления, оборудованные и отличающиеся более простой системой управления. Для объектов сезонного водопользования предпочтение отдают передвижным контейнерным водоочистным установкам с автономной системой энергоснабжения или подключением их к внешней линии электропередач. Примеры систем водоснабжения с компактными водоочистными сооружениями и установками для очистки природных вод приведены на рисунке 3.13.

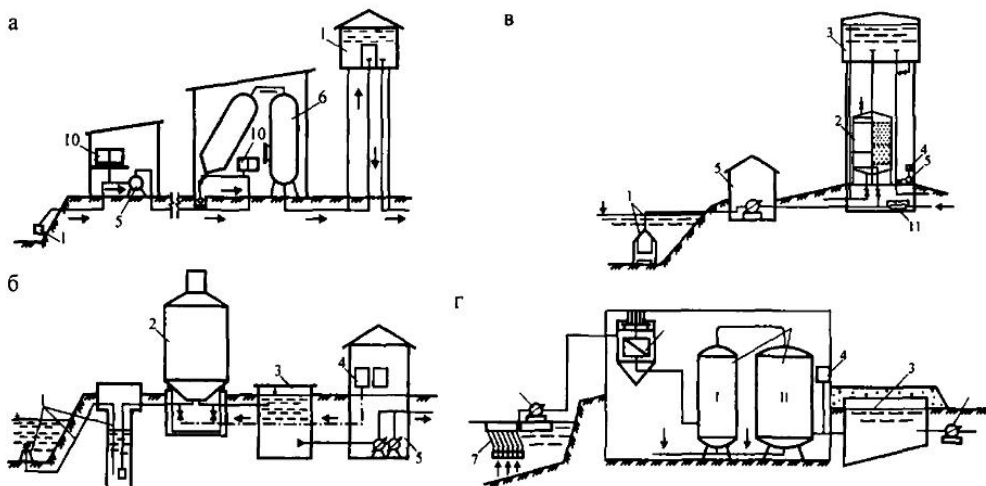


Рис. 3.13. Схемы локального водоснабжения с компактными водоочистными установками: а) с применением установки «Струя»; б) с гидроавтоматическими фильтровальными блоками с плавающей полимерной загрузкой; в) с фильтрующим оголовком и размещением двухъярусного фильтра в стволе водонапорной башни; г) с размещением плавучего отстойника в русле реки; 1 – водозаборные устройства; 2 – фильтрблок; 3 – резервуар чистой воды; 4 – установка для обеззараживания воды; 5 – насосы; 6 – зернистые фильтры для глубокой очистки воды; 7 – плавучий тонкослойный отстойник; 8 – акустический фильтр; 9 – смеситель; 10 – реагентное хозяйство

Установки «Струя» оборудованы простым реагентным хозяйством для растворения и дозирования растворов коагулянта, блоками тонкослойного отстаивания и фильтрования через кварцевую загрузку и водонапорным баком для хранения промывной воды. Последний одновременно выполняет функции обеспечения требуемого напора в разводящей сети, а иногда – и хранения 10-ти минутного запаса воды для тушения пожара. Компактные установки аналогичного назначения изготавливают цилиндрической и реже шаровидной формы из сборных элементов, в Финляндии, Польше, Германии – в контейнерном исполнении, в США и Японии – с применением намывных фильтров.

Применение реагентов даже для установок небольшой производительности вызывает удорожание системы на их доставке и усложняет эксплуатацию водоочистного блока. Поэтому, в тех случаях, когда требуемое качество воды может быть достигнуто безреагентными методами, стремятся обеспечить предочистку воды в русле реки, и последующую доочистку фильтрованием в направлении убывающей крупности гранул загрузки – в утепленных блоках, стволах водонапорной башни или небольшом по размерам полузаглубленном наземном павильоне (рисунок 3.13 в).

Весьма перспективными и экономичными установками водоочистки заводского изготовления являются комбинированные блоки, реализующие процессы осаждения, уда-

ления плотных частиц взвеси в центробежном поле и фильтрации. В фильтровальных блоках используются вспененные полимерные легкие гранульные и волокнистые загрузки: пенополистирол, стеклопор, пенополиуретан, капроновые нити и др.

В системах водоснабжения, использующих некондиционную воду подземных источников, наибольшее распространение получили установки для обезжелезивания воды методом упрощенной аэрации или вакуумной эжекции воздуха с последующим фильтрованием. При наличии в подземных водах железа в трудноокисляемой форме и марганца используют на первой стадии окисления железа озонаторные, установки для получения ультразвука и ультрафиолета.

При благоприятных гидрогеологических условиях отбора воды из галечниковых пород, рациональным может оказаться метод обезжелезивания в водоносном пласте (типа «Веридокс»).

Удаление из воды фтора, катионов жесткости, растворенных газов, обессоливания требует применения более дорогостоящих технологий. Примеры некоторых из сооружений и установок, реализующих такие технологии, приведены на рисунке 3.14.

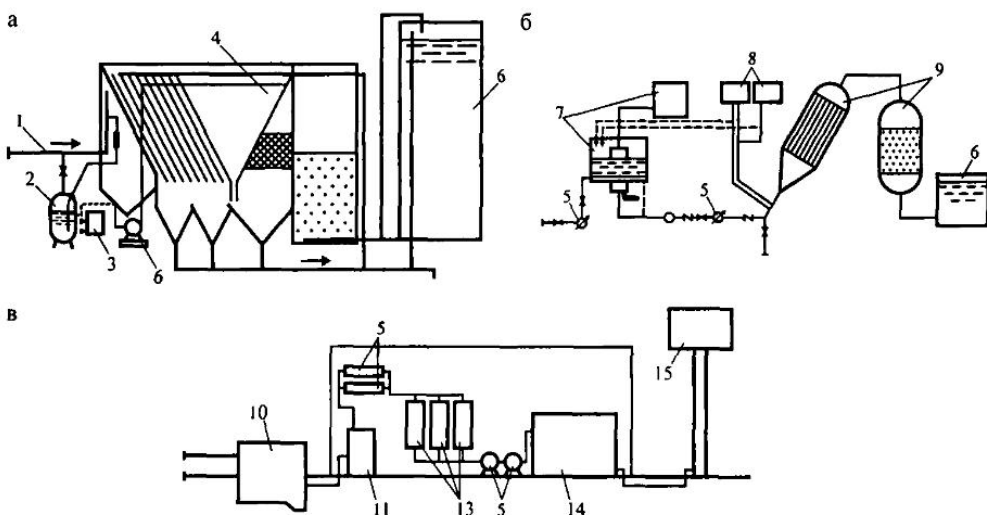


Рис. 3.14. Технологические схемы очистки воды:

а) обесфторивания; б) реагентного умягчения; в) обессоливания;

1 – подача исходной воды; 2 – бак для приготовления модифицированного бентонита; 3 – компрессор; 4 – блок отстоенной воды; 5 – насос; 6 – резервуар очищенной воды; 7 – ультразвуковая установка; 8 – расходные баки реагентов; 9 – установка «Струя»; 10 – резервуар исходной воды; 11 – блок реагентов; 12 – блок обеззараживания; 13 – блок фильтрования; 14 – блок опреснения; 15 – водонапорная башня

При временном (сезонном) водоснабжении (геологические разведывательные партии, полевое и пастбищное водоснабжение, лагеря и базы летнего отдыха) из водоисточников с повышенной минерализацией воды или наличием в них ингредиентов антропогенного происхождения используют фотоэлектрические опреснители, ветровые водоисточники или более сложные передвижные установки контейнерного типа с набором необходимых аппаратов для физико-химического воздействия на обрабатываемую воду и последующего извлечения из нее загрязняющих компонентов.

Наружные системы подачи и распределения очищенной воды среди потребителей для локальных и централизованных систем несколько отличаются тем, что в первом варианте чаще всего устраивают разветвленные тупиковые сети, в связи с небольшими расстояниями и разнохарактерным назначением водопотребителей. Диаметры трубопроводов, материалы труб, запорно-регулирующую и предохранительную арматуру подбирают по расчетным путевым и узловым расходам в сети, требуемым напорам в точках подключения и условиям быстрой индустриальной сборки и монтажа трубопроводов.

При подаче в систему воды от наружной сети централизованных водопроводов, подкачивающую насосную установку подбирают с учетом напора в наружной сети. При напоре в ней менее 10 метров перед насосами подкачки необходимо устраивать приемный резервуар. На водоразборном трубопроводе за насосной установкой располагают регуляторы давления, призванные стабилизировать давление «после себя» в обслуживаемой водораспределительной сети. Типовая схема системы местного водоснабжения высотных зданий с автоматическими насосными станциями подкачки и гидропневматическими баками приведены на рисунке 3.15.

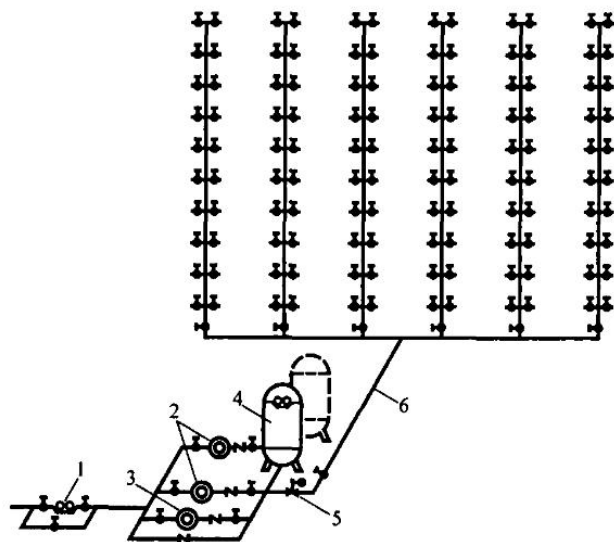


Рис. 3.15. Схема внутреннего хозяйственно-питьевого водопровода:

- 1 – водомер; 2 – рабочие насосы; 3 – резервный насос;
- 4 – гидропневматический бак;
- 5 – регулятор давления; 6 – водопроводная сеть

При питании отдельных зданий и объектов из наружной сети с недостаточным напором, в обход подкачивающих насосов всегда устраивают обводную линию. Автоматические насосные установки выбирают в соответствии с местными условиями и наличия их производства. Они могут быть с центробежными горизонтальными, вихревыми, погружными и водоструйными насосами. Реже используют несколько типов водоподъемников в одной системе подкачки.

4. ВОДООБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

4.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ ПО ЦЕЛЕВОМУ НАЗНАЧЕНИЮ

Вода на промышленных предприятиях используется, как правило, для вспомогательных целей и в состав продукции входит лишь на некоторых технологических процессах и в сравнительно небольших количествах. В технологических операциях используется не питьевая, а техническая вода. В пищевой и бродильной промышленности питьевая вода выполняет роль технической. Различают следующие разновидности технической воды:

1. Охлаждающая вода служит для охлаждения жидких и газообразных продуктов в теплообменных аппаратах, охлаждения элементов конструкций. Охлаждающая вода не соприкасается с материальными потоками (если не считать утечек из-за неисправности оборудования и аварийных ситуаций).

2. Технологическая вода подразделяется в свою очередь на средообразующую, промывающую и реакционную. Средообразующая вода используется для растворения и образования пульп при обогащении и переработке руд, гидротранспорте продуктов и отходов производства, промывающая — для промывки газообразных (абсорбция), жидких (экстракция) и твердых продуктов и изделий, реакционная — в качестве реагента, а также при азеотропной отгонке (нераздельно кипящих с водой веществ) и аналогичных процессах. Технологическая вода непосредственно контактирует с продуктами и изделиями.

3. Энергетическая вода потребляется для получения пара (для питания парогенераторов) и нагревания оборудования, помещений, продуктов.

Классификация технической воды по целевому назначению приведена на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Классификация технической воды по целевому назначению

4.2. СХЕМЫ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

По характеру использования воды системы производственного водоснабжения подразделяются на следующие:

- с прямоточным использованием воды,
- с последовательным использованием воды,
- с повторным использованием очищенной сточной воды,
- комплексная (или смешанная) система использования воды, включающая прямоточную, последовательную и (или) повторную схемы использования воды в производстве.

При реализации прямоточной схемы водоснабжения вся отработавшая в производстве вода, кроме безвозвратного потребления и потерь, после очистки сбрасывается в водоем (см. рис. 4.2) или в городской коллектор водоотведения.

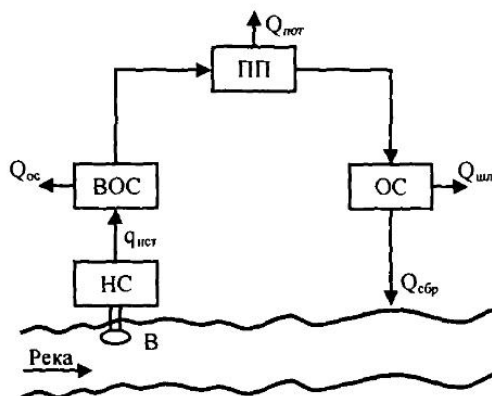


Рис. 4.2. Схема производственного водоснабжения с прямоточным использованием воды:

В – водозаборное сооружение промышленного предприятия; НС – насосная станция первого подъема; ВОС – водопроводные очистные сооружения для подготовки технической воды с насосной станцией второго подъема; ПП – промпредприятие; ОС – очистные сооружения производственных сточных вод с локальными очистными установками для отдельных цехов предприятия; $q_{ист}$ – расход воды, забираемый из источника, м³/сут; $q_{сбр}$ – расход воды, сбрасываемой после очистки в водоем, м³/сут; $Q_{ос}$ – потери воды с влажным осадком на ВОС, м³/сут; $Q_{шл}$ – потерн воды с влажным шламом (или осадком) на ОС, м³/сут; $Q_{пот}$ – безвозвратное водопотребление и безвозвратные потерн воды, м³/сут

Расход воды из источника на производственные (технологические) нужды предприятия определяют по формуле:

$$q_{ист} = q_{сбр} + Q_{ос} + Q_{шл} + Q_{пот}, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (4.1)$$

Безвозвратным водопотреблением называют расход воды, потребляемой продуктом при контакте его с водой. А потери воды на производстве в результате испарения, уноса капельной влаги, разбрызгивания и утечек воды в грунт, называют безвозвратными потерями воды.

Вода природного источника, подаваемая для производственных целей (очищенная или неочищенная) непосредственно потребителям или на восполнение систем оборотного водоснабжения, называется технической водой.

При реализации последовательной схемы производственного водоснабжения вода используется повторно (последовательно) в нескольких производственных процессах или в оборудовании без дополнительной очистки и (или) обработки (см. рис. 4.3).

Расход воды из источника в этом случае определяют по формуле:

$$q_{ист} = q_{сбр} + Q_{ос} + Q_{шл} + Q_{пот1} + Q_{пот2}, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (4.2)$$

При реализации схемы с повторным использованием очищенной сточной воды предполагается, что сточная вода данного (см. рис. 4.4) или другого предприятия после соответствующей очистки и обработки используется для тех или иных технологических целей либо для восполнения систем оборотного водоснабжения, если она по качеству соответствует требованиям. В этом случае нельзя говорить о полностью замкнутой системе водоснабжения предприятия, подпитка такой системы очищенной технической водой необходима. Эта операция подобна продувке системы оборотного водоснабжения, когда производят сброс части воды из системы в целях снижения до определенно-

го уровня концентрации растворенных или взвешенных веществ в оборотной воде, а затем в систему добавляют свежую воду.

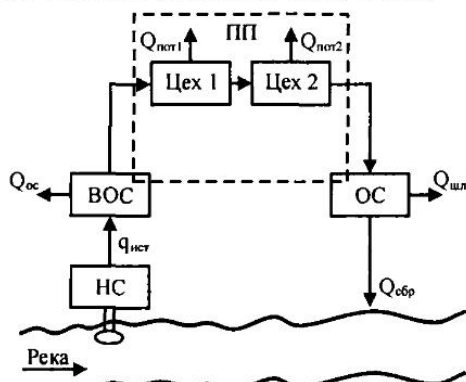


Рис. 4.3. Схема производственного водоснабжения с последовательным использованием воды:

В – водозаборное сооружение промышленного предприятия, НС – насосная станция первого подъема; ВОС – водопроводные очистные сооружения для подготовки технической воды с насосной станцией второго подъема; Цех 1 – цех предприятия, Цех 2 – цех предприятия; ОС – очистные сооружения производственных сточных вод с локальными очистными установками для отдельных цехов предприятия; $q_{ист}$ – расход воды, забираемый из источника, м³/сут.; $q_{сбр}$ – расход воды, сбрасываемой после очистки в водоем, м³/сут.; $Q_{ос}$ – потери воды с влажным осадком на ВОС, м³/сут.; $Q_{шп}$ – потери воды с влажным шламом (или осадком) на ОС, м³/сут.; $Q_{пот1}$ – безвозвратное водопотребление и безвозвратные потери воды, м³/сут.; $Q_{пот2}$ – безвозвратное водопотребление и потери воды соответственно в производственных цехах №1 и №2, м³/сут.

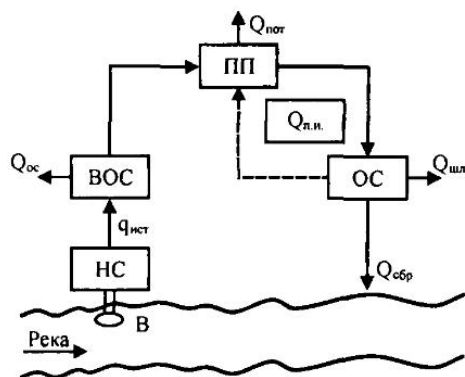


Рис. 4.4. Схема производственного водоснабжения с прямоточным использованием воды:

В – водозаборное сооружение промышленного предприятия, НС – насосная станция первого подъема; ВОС – водопроводные очистные сооружения для подготовки технической воды с насосной станцией второго подъема; ПП – промпредприятие, ОС – очистные сооружения производственных сточных вод с локальными очистными установками для отдельных цехов предприятия; $q_{ист}$ – расход воды, забираемый из источника, м³/сут.; $q_{сбр}$ – расход воды, сбрасываемой после очистки в водоем, м³/сут.; $Q_{ос}$ – потери воды с влажным осадком на ВОС, м³/сут.; $Q_{шп}$ – потерн воды с влажным шламом (или осадком) на ОС, м³/сут.; $Q_{пот}$ – безвозвратное водопотребление и безвозвратные потерн воды, м³/сут.; $Q_{пот}$ – безвозвратное водопотребление и безвозвратные потерн воды, м³/сут.; $Q_{п.и.}$ – расход воды в системе повторного использования, м³/сут.

Повторно могут быть использованы после глубокой доочистки и биологически очищенные сточные воды, например, часть очищенных городских сточных вод может использоваться на технологические нужды мебельного комбината. Или очищенные производственные и дождевые сточные воды машиностроительного предприятия могут использоваться для приготовления водных растворов смазочно-охлаждающих жидкостей.

Расход воды из источника в этом случае (рис. 4.4) определяют по формуле:

$$q_{ист} = q_{сбр} + Q_{ос} + Q_{пот} + Q_{шп}, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (4.3)$$

На рис. 4.5 приведена схема комплексной системы использования воды на предприятии.

Расход воды в этом случае определяют по формуле:

$$q_{ист} = q_{сбр} + Q_{ос} + Q_{шл1} + Q_{шл2} + Q_{шл3} + Q_{пот1} + Q_{пот2} + Q_y + Q_{и} + Q_{утеч}, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (4.4)$$

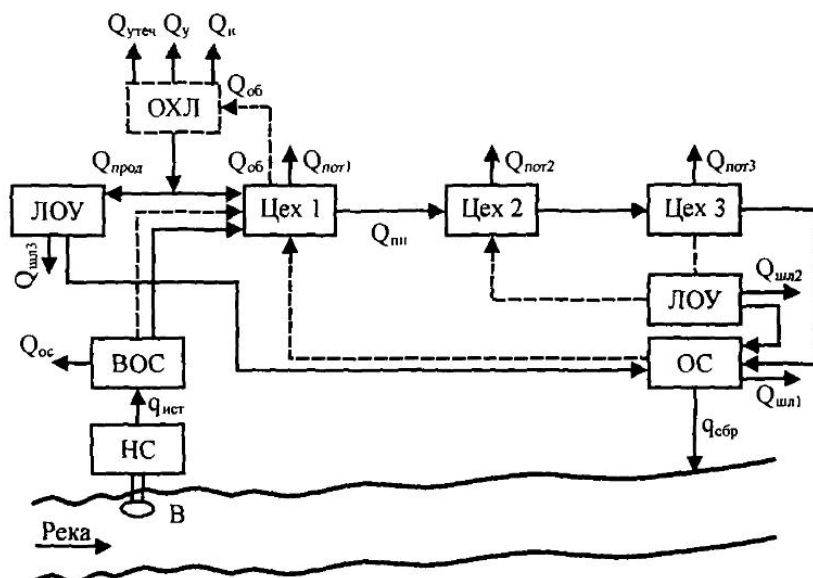


Рис. 4.5. Схема производственного водоснабжения с комплексным использованием воды: ОХЛ – охладитель (градирня, брызгальный бассейн); ЛОУ – локальные очистные установки; НС – насосная станция первого подъема; ВОС – водопроводные очистные сооружения для подготовки технической воды с насосной станцией второго подъема; ЦП – промпредприятие, ОС – очистные сооружения производственных сточных вод с локальными очистными установками для отдельных цехов предприятия; $q_{ист}$ – расход воды, забираемый из источника, $\text{м}^3/\text{сут}$; $q_{сбр}$ – расход воды, сбрасываемой после очистки в водоем, $\text{м}^3/\text{сут}$; $Q_{ос}$ – потери воды с влажным осадком на ВОС, $\text{м}^3/\text{сут}$; $Q_{шл}$ – потери воды с влажным шламом (или осадком) на ОС, $\text{м}^3/\text{сут}$; $Q_{пот}$ – безвозвратное водопотребление и безвозвратные потери воды, $\text{м}^3/\text{сут}$; $Q_{и.и.}$ – расход воды в системе повторного использования, $\text{м}^3/\text{сут}$; $Q_{об.}$ – расход оборотной (охлаждающей) воды, $\text{м}^3/\text{сут}$; $Q_{прод.}$ – расход продувочной воды, $\text{м}^3/\text{сут}$; $Q_{и.}$ – потери воды за счет уноса капель из охладителей (потери воды в виде капель, увлекаемых потоком воздуха, проходящего через охладитель, и выдуваемых из охладителей ветром), $\text{м}^3/\text{сут}$; $Q_{и.}$ – потери воды за счет испарения (потери воды из системы водоснабжения за счет испарения и последующего выноса в виде паров за пределы системы), $\text{м}^3/\text{сут}$; $Q_{утеч.}$ – потери воды за счет утечек (потери воды из системы оборотного водоснабжения за счет утечек в грунт через неплотности в трубопроводах, арматуре, оборудовании, резервуарах и др.), $\text{м}^3/\text{сут}$.

4.3. ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ВОДЫ

Четкое знание предъявляемых к воде требований, обеспечивающих в системах производственного водоснабжения оптимальное водопотребление, позволяет оценить возможные области и перспективные направления применения способов подготовки воды

для тех или иных видов природных и сточных вод, идущих для производственных целей, выбрать оптимальную технологическую схему очистки.

Очень велико потребление промышленными предприятиями охлаждающей воды (65–80% расхода воды в промышленности). На крупном химическом предприятии объем охлаждающей воды составляет 250–440 млн. м³/год. Очевидно, что даже небольшой перерасход охлаждающей воды не только существенно влияет на экономику производства, но и вызывает заметное увеличение объема сточных вод предприятия. В связи с этим основную роль в водоснабжении предприятий играют системы оборотного водоснабжения, в которых отработанная (нагретая на 15–18°) вода охлаждается в градирнях, брызгальных бассейнах и других устройствах (охладителях) и с помощью циркуляционных насосов возвращается в теплообменные аппараты. Многократные перепады температуры отражаются на фазово-дисперсном состоянии примесей. Значительная часть оборотной воды теряется на охладителях в результате испарения и капельного уноса. Для восполнения этих потерь в систему добавляют свежую воду. Кроме того, из-за неплотностей и неисправностей теплообменного оборудования происходит загрязнение охлаждающей воды продукцией предприятия. Испарение и загрязнение являются главными причинами постепенного повышения минерализованности оборотной воды. Накопление примесей в циркулирующей воде достигает предела, выше которого эксплуатация системы недопустима из-за нарушения стабильности воды и возможности интенсивной коррозии, биологического застарения, инкрустации теплообменного оборудования. Отношение концентрации примесей в оборотной воде C_{max} к концентрации примесей в свежей добавочной воде C_d , соответствующее этому пределу, называется коэффициентом упаривания K_y .

Для предотвращения этих явлений обычно применяют продувку, т. е. осуществляют вывод части оборотной воды из системы (продувочная вода), добавляя взамен свежую воду из источника водоснабжения или очищенные сточные воды. Суммарный расход добавочной воды определяется по формуле

$$Q_d = Q_{исп} + Q_{ун} + Q_{пр}, \quad (4.5)$$

где $Q_{исп}$ - потери оборотной воды при испарении, м³/год; $Q_{пр}$ - расход продувочных вод, м³/год; $Q_{ун}$ - потери за счет капельного уноса в атмосферу, м³/год.

Количество воды $Q_{пр}$, подлежащей выводу из системы с целью поддержания в оборотной воде заданной концентрации примесей не выше предельно допустимой величины, может быть определено (в м³/год) по формуле

$$Q_{пр} = \frac{C_d Q_{исп}}{(C_{max} - C_d)} + Q_{ун} = \frac{Q_{исп}}{(K_y - 1)} + Q_{ун}, \quad (4.6)$$

где C_d - концентрация растворенного вещества в добавочной воде, г/м³; C_{max} - концентрация того же вещества, допустимая в оборотной воде, г/м³.

Значение K_y определяется по следующей формуле:

$$K_y = \frac{Q_{исп} + Q_{ун} + Q_{пр}}{Q_{ун} + Q_{пр}} = \frac{P_{исп} + P_{ун} + P_{пр}}{P_{ун} + P_{пр}}, \quad (4.7)$$

где $P_{исп}$, $P_{ун}$ и $P_{пр}$ - соответственно потери при испарении (1–1,6%), капельном уносе (0,5–2,5%) и продувке, % от объема воды, находящейся в обороте в единицу времени (см. рис. 4.6).

Таблица 4.1

Требования к качеству оборотной и добавочной вод систем охлаждения

Показатели качества воды	Оборотная вода	Добавочная вода систем охлаждения
Температура охлаждающей воды, °С	25-30	До 25
Запах, баллы	До 3	До 3
Цветность, град	Не нормируется	—
Жесткость, ммоль/л		
Общая	До 7	1-2
Карбонатная	До 3	0,5-0,8
Щелочность, ммоль/л	2-4	0,5-1,0
Общее солесодержание, мг/л	800-1200	150-250
Окисляемость перманганатная, мг O_2 /л	До 10	1-5
БПК, мг O_2 /л	5-10	1-5
ХПК, мг O_2 /л	До 70	15-30
Содержание, мг/л		
взвешенных веществ	10-20	2-4 (желательно отсутствие)
масел и смолообразующих веществ	Отсутствие	Отсутствие
хлоридов	150-300	30-70
сульфатов	350-500	70-120
фосфора (в пересчете на P_2O_5)	До 5	До 1
азота (общ.)	До 150	До 30-35
ПАВ	Отсутствие	Отсутствие
ионов тяжелых металлов	«	«
растворенного кислорода	6-8	—
остаточного активного хлора	1	1
pH	6,5-8,5	6,5-8,5

Основными нонами, которые могут приводить к отложениям минеральных солей, являются: анионы — бикарбонаты, карбонаты, гидроокиси, фосфаты, сульфаты, силикаты; катионы — кальций, магний, алюминий, железо, цинк.

Большинство этих ионов находится в подпиточной (добавочной) воде. Однако железо и в меньшей степени алюминий и цинк, из которых изготовлены конструктивные элементы сооружений, могут появляться в оборотной воде лишь в основном в результате их коррозии. Фосфаты и цинк и изредка силикаты могут попасть в системы оборотного водоснабжения в составе ингибиторов коррозии металлов.

Карбонат кальция — наиболее часто встречающийся компонент солевых отложений в системах — выпадает на стенки труб теплообменных аппаратов в результате нарушения углекислотного равновесия. Этот вид отложений является типичным для систем, использующих в качестве добавочной воду со значительной бикарбонатной жесткостью и щелочностью. Отложения образуются в результате распада бикарбоната при дефиците углекислоты в растворе. Соли магния встречаются реже, хотя они иногда и образуются либо в виде гидроксида магния (при $pH > 10$), либо (в редких случаях при большом содержании силикатов) в виде силиката магния. Сульфат кальция, если не принимать мер, ограничивающих его концентрацию до предела ниже его растворимости, также может явиться причиной отложений.

Фосфаты могут образовывать нерастворимые соли со всеми перечисленными катионами, и, чтобы избежать их выпадения, иногда (в редких случаях) необходимо регулировать величину pH.

Гидроксиды металлов встречаются в отложениях редко, однако их можно найти в системах охлаждения с высокими значениями pH. Гидроксид железа образуется в результате коррозии и превращается в гидратированный оксид железа или в ржавчину.

Многие факторы как физического, так и химического свойства влияют на интенсивность, с которой происходит отложение солей. Это прежде всего величина pH, концентрация ионов, температура воды и особенно температура поверхности труб, находящейся в контакте с водой, интенсивность теплообмена между водой и поверхностью контакта, состав воды, способ ее обработки, конструкция теплообменного оборудования, продолжительность пребывания воды в системе.

Величина pH влияет на растворимость всех упомянутых выше солей. От величины pH зависит тенденция кальция образовывать карбонаты, характеризуемая индексом Ланжелье (табл. 4.2).

Из табл. 4.2 следует, что чем выше pH охлаждающей воды, тем заметнее тенденция к образованию отложения из минеральных солей.

Таблица 4.2

Характеристика воды по индексу Ланжелье

Индекс Ланжелье	Тенденция воды к образованию накипи или коррозии
+ 2	Накипеобразование и практически отсутствие коррозии
+ 0,5	Возможны незначительное накипеобразование или коррозии
0	Равновесное состояние, но возможна ниттинговая коррозия
0,5	Возможны незначительная коррозия и отсутствие накипеобразования
- 2	Коррозионная активность

У многих выпадающих из растворов солей, особенно у карбоната кальция, растворимость снижается с увеличением температуры. При этом температура поверхности металла (поверхности контакта воды с трубами) играет главную роль в скорости отложения. Высокие скорости воды в трубах способствуют предотвращению отложений солей на поверхности контакта. Скорости движения воды в трубах теплообменных аппаратов не рекомендуется принимать меньше 1 м/с.

В большинстве оборотных систем теплообменного водоснабжения карбонатная жесткость воды должна составлять 2,8-3 ммоль/л. Для оценки термостабильности оборотной воды применяют шестибальную шкалу (табл. 4.3). Вода не должна вызывать коррозии углеродистой стали и других металлов, используемых в теплообменной аппаратуре и коммуникациях. Для оценки коррозионной стойкости металлов применяют десятибальную шкалу (табл. 4.4). В табл. 4.5 приведены данные, характеризующие коррозионную активность оборотной охлаждающей воды по отношению к углеродистой стали.

Таблица 4.3

Шестибальная шкала термостабильности воды

Группа термостабильности	Скорость карбонатных отложений		Балл термостабильности
	г/м ² ·ч	мм/мес	
I — совершенно термостабильная	0	0	1
II — термостабильная	<0,3	<0,1	2
	0,3-1,5	0,1-0,5	3
III — ограниченно термостабильная	1,5-3	0,5-1	4
IV — нетермостабильная	3-15	1-5	5
	>15	>5	6

Таблица 4.4

Десятибалльная шкала коррозионной стойкости металлов в воде

Группа стойкости металла в воде	Скорость коррозии, г/м ² ·ч	Проницаемость коррозии, мм/год	Балл коррозионной стойкости
I — совершенно стойкие	<0,0009	<0,001	1
II — весьма стойкие	0,0009-0,0045	0,001-0,005	2
	0,0045-0,009	0,005-0,01	3
III — стойкие	0,009-0,045	0,01-0,05	4
	0,045-0,09	0,05-0,1	5
IV — относительно стойкие	0,09-0,45	0,1-0,5	6
	0,45-0,9	0,5-1	7
V — малостойкие	0,9-4,5	4-5	8
	4,5-9,1	5-10	9
VI — нестойкие	>9,1	>10	10

Таблица 4.5

Данные для оценки агрессивности (коррозионности) оборотной охлаждающей воды по отношению к углеродистой стали

Наименование показателей	Единица измерения	Показатели для слабо-агрессивной воды (коррозионная стойкость металла 5-6 баллов)	Условия увеличения агрессивности
Суммарное содержание Cl^- и SO_4^{2-}	мг/л	≤100	>100
Общее содержание растворенных солей (сухой остаток)	мг/л	≤500	>500
Карбонатная жесткость	ммоль/л	>2,5	<2,5
pH	ммоль/л	6—9	<6 или >9
Содержание растворенного кислорода	мг O_2 /л	4—6	>6

Общие требования к качеству воды, применяемой для охлаждения различных агрегатов на промышленных предприятиях, приведены в табл. 4.6. Однако в некоторых технологических схемах используется вода, отвечающая по отдельным показателям гораздо более жестким требованиям. Так, содержание взвешенных веществ в воде, подаваемой в конденсаторы, теплообменники и компрессоры, должно составлять менее 2 мг/л. В воде, поступающей в холодильники на заводах азотной промышленности, содержание взвесей может находиться в пределах 10-50 мг/л, но при этом строго ограничивается щелочность, которая не должна превышать 2-3 ммоль/л, так как в противном случае начнется интенсивная инкрустация теплообменных поверхностей. В этой воде также не должны содержаться биогенные элементы (азот, фосфор), способствующие интенсивному развитию биологических обрастаний.

Таблица 4.6

Требования к качеству воды, применяемой для охлаждения агрегатов
промышленных предприятий

Наименование показателя	Единица измерения	Допустимые показатели	Особые условия
Мутность	мг/л	50-200	В зависимости от типа холодильников
Содержание: сероводорода гипса	» »	0,5 1500-2000	— В зависимости от общего содержания в воде сульфатов $MgSO_4$ и Na_2SO_4
Карбонатная жесткость	ммоль/л	2-7	При температуре нагрева охлаждающей воды 20—50°C и содержания в ней свободной CO_2 от 10 до 100 мг/л

Высокие требования предъявляются к питательной энергетической воде, и они тем жестче, чем выше давление в парогенераторе (табл. 4.7).

Типичные схемы обращения воды в рабочих циклах конденсационных тепловых электростанций (КЭС) и теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) приведены на рис. 4.7 и 4.8.

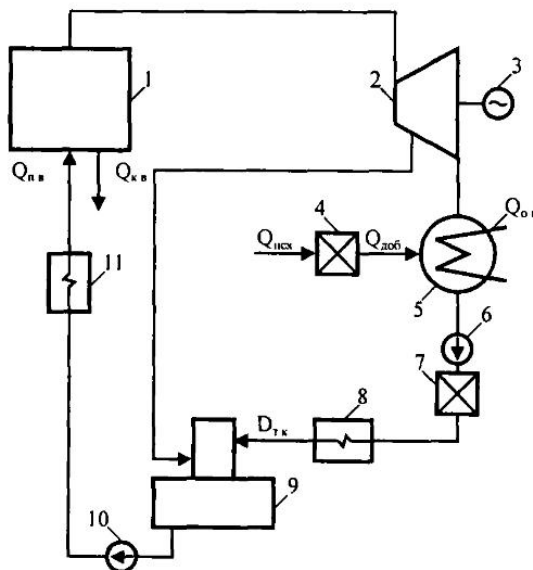


Рис. 4.7. Принципиальная схема обращения воды в тракте КЭС:

1 - котел, кипящий реактор; парогенератор; 2 - конденсационная турбина; 3 - электрогенератор; 4 - ВПУ; 5 - конденсатор турбины; 6 - конденсатный насос; 7 - конденсатоочистка (БОУ); 8 - подогреватель; 9 - деаэратор; 10 - питательный насос; 11 - подогреватель добавочной воды $Q_{исх}$ - исходная природная вода используется в качестве исходного сырья на водоподготовительной установке (ВПУ), а также для других целей на ТЭС и АЭС; $Q_{доб}$ - добавочная вода направляется в контур для восполнения потерь пара и конденсата после обработки с применением физико-химических методов очистки; $Q_{т.к}$ - турбинный конденсат, содержащий незначительное количество растворенных и взвешенных примесей, -

основная составляющая питательной воды; $Q_{п.в}$ - питательная вода, подаваемая в котлы, парогенераторы или реакторы для замещения испарившейся воды в этих агрегатах, представляет собой главным образом смесь $D_{т.к}$, $D_{д.в}$, $D_{в.к}$ и конденсата регенеративных подогревателей; $Q_{к.в}$ - котловая вода, вода парогенератора, реактора — вода, находящаяся в элементах указанных агрегатов; $Q_{о.в}$ - охлаждающая или циркуляционная вода используется в конденсаторах паровых турбин для конденсации отработавшего пара

Продувочная вода ($Q_{пр}$) выводится из котла, парогенератора или реактора вода на очистку или в дренаж для поддержания в испаряемой (котловой) воде заданной концен-

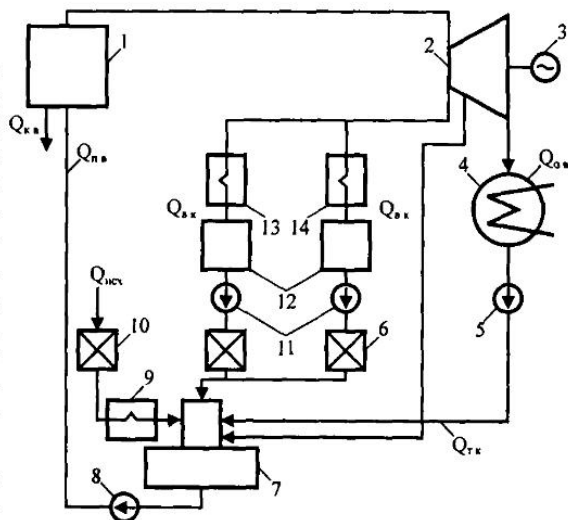
трации примесей. Состав и концентрация примесей в котловой и продувочной водах одинаковы.

Подпиточная вода ($Q_{в.п.}$) подается в тепловые сети для восполнения потерь циркулирующей в них воды.

При эксплуатации ТЭС и АЭС возникают *внутристанционные потери пара и конденсата*: а) в котлах при непрерывной и периодической продувке, при открытии предохранительных клапанов, при обдувке водой или паром наружных поверхностей нагрева от золы и шлака, на распыливание жидкого топлива в форсунках, на привод вспомогательных механизмов; б) в турбогенераторах через лабиринтные уплотнения и паровоздушные эжекторы; в) в пробоотборных точках; г) в баках, насосах, трубопроводах при переливе, испарении горячей воды, просачивании через сальники, фланцы и т. п. Обычно внутристанционные потери пара и конденсата, восполняемые добавочной питательной водой, не превышают в различные периоды эксплуатации на ТЭС 2-3%, на АЭС 0,5-1% их общей паропроизводительности.

Рис. 4.8. Принципиальная схема движения воды в цикле ТЭЦ:

1 - котел; 2 - турбина с отборами пара для нужд производства и теплофикации; 3 - электрогенератор; 4 - конденсатор; 5 - конденсатный насос; 6 - установка очистки возвратного загрязненного производственного конденсата; 7 - деаэра-тор; 9 - питательный насос; S - подогреватель добавочной воды; 10 - ВПУ; 11 - насосы возвратного конденсата; 12 - баки возвратного конденсата; 13 - теплофикационный потребитель пара; 14 - производственный потребитель пара; $Q_{исх}$ - исходная природная вода используется в качестве исходного сырья на водоподготовительной установке (ВПУ), а также для других целей на ТЭС и АЭС; $Q_{т.к.}$ - турбинный конденсат, содержащий незначительное количество растворенных и взвешенных примесей, - основная составляющая питательной воды; $Q_{в.к.}$ - возвратный конденсат от внешних потребителей пара используется после очистки от внесенных загрязнений. Он является составной частью питательной воды; $Q_{п.в.}$ - питательная вода, подаваемая в котлы, парогенераторы или реакторы для замещения испарившейся воды в этих агрегатах, представляет собой главным образом смесь $D_{т.к.}$, $D_{д.в.}$, $D_{в.к.}$ и конденсата регенеративных подогревателей; $Q_{к.в.}$ - котловая вода, вода парогенератора, реактора — вода, находящаяся в элементах указанных агрегатов; $Q_{о.в.}$ - охлаждающая или циркуляционная вода используется в конденсаторах паровых турбин для конденсации отработанного пара



На промышленных ТЭЦ, отпускающих пар на различные технологические нужды предприятий, существуют также *внешние потери пара и конденсата*, поэтому количество добавочной воды для таких ТЭЦ может достигать 10-50% количества генерируемого пара.

Как правило, только вода, используемая для технологических целей, непосредственно контактирует с сырьем, продукцией, отходящими газами и другими материальными потоками производства. Поэтому к технологической воде каждое производство предъявляет свои специфические требования. Лишь немногие производства потребляют технологическую воду из источников без предварительной очистки, в большинстве же требования к качеству технологической воды очень высоки. К числу производств, в которых высокое качество технологической воды может быть обеспечено путем предварительной подготовки (частичное или полное обессоливание, умягчение, обезжелезивание и т.д.), относятся химическая промышленность, в том числе производства технических фосфатов, аммиачной воды, пигментов, хлорорганических продуктов, лаков и красок, синтетических жирных кислот, органических красителей, химических волокон и пластмасс, а также химико-фотографическая, целлюлозно-бумажная, легкая, машиностроительная, электронная и электротехническая промышленности.

Таблица 4.7

Нормативные требования к качеству энергетической воды

Показатели качества воды	Для испарителей	Для питания барабанных котлов с давлением пара, МПа			Для питания прямоточных парогенераторов с параметрами пара	
		≤ 4	4 - 10	> 10	докритическими	сверхкритическими
Содержание эфирорастворимых веществ, мг/л	1	1	0,3	0,3	0,3	0,3
Запах, баллы	0	0	0	0	0	0
pH	6,5-9,5	9,1	9,1	9,1	$\frac{9,5^*}{9,5}$	$\frac{9,5^*}{9,5}$
Жесткость общая, ммоль/л	30	10	5	3	0,5	0,2
Содержание, мкг/л						
SiO ₂	-	-	80	$\frac{40^{**}}{120}$	15	15
SO ₄ ²⁻	-	2000	-	2000	2000	-
NH ₃	0	1000	1000	1000	$\frac{800^*}{3000}$	$\frac{800^*}{3000}$
N ₂ H ₄ (своб.)	0	60	60	60	60	60
NO ₂ ⁻	0	20	20	20	0	0
Fe (общ.)	0	100-200	50-100	20-30	20	10
Cu ²⁺	0	10-20	10-20	5	5	5
Na ⁺	-	-	-	-	-	15
O ₂	30	30	20	20	10	10

* В числителе – при наличии в пароводяной смеси медьсодержащих сплавов, в знаменателе – при их отсутствии;

** В числителе – для КЭС (конденсационных тепловых электростанций) и отопительных ТЭЦ, в знаменателе – для ТЭЦ с производственным отбором пара.

Наиболее глубокой очистке (практически полное обессоливание) подвергается технологическая вода, используемая для промывки деталей в электронной промышленности, в гальванотехнике, для промывки продуктов и приготовления растворов в производствах пластических масс (полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид, ионообменные материалы, производные винилацетата и др.).

Использование воды в системах производственного водоснабжения промышленного предприятия обеспечивает решение технологических и технических задач, связанных с применением водных технологий.

Объем потребляемой технологической воды зависит от производственной программы развития предприятия и действующих для данной отрасли норм водопотребления.

Для решения проблемы оптимального расходования свежей воды и уменьшения сброса сточных вод в водоемы необходимо совершенствование нормативной базы для планирования мероприятий по охране и рациональному использованию водных ресурсов на предприятиях.

Вода, подаваемая на проведение технологических операций, должна обладать определенными свойствами. К важнейшим общим показателям технологической воды относятся такие показатели, как **стабильность, агрессивность и грязеёмкость.**

Под **стабильностью** воды в целом понимают устойчивость, в основном, ее химического состава. Присутствие в воде химически нестабильных веществ может привести к непредсказуемым изменениям ее технологических и токсикологических свойств. С точки зрения технологии крайне нежелательными проявлениями нестабильности воды являются такие как выпадение осадка, образование коллоидов, появления взвеси, изменение цвета. Поэтому нередко нестабильность воды становится причиной ее непригодности в отношении использования в производстве из-за ухудшения качества выпускаемой продукции. Токсикологическая опасность нарушения стабильности воды проявляется в резком ухудшении ее санитарного качества (ухудшение органолептических показателей, загнивание и др.).

Агрессивность (активность) воды определяется ее коррозионным воздействием на материал технологического оборудования и токсическим действием на живые организмы. Коррозионная активность воды может проявляться уже при небольших отклонениях от значения $pH = 7$. Отрицательное воздействие агрессивной воды в этом случае заключается в том, что она способствует выщелачиванию и разрушению стенок трубопроводов, аппаратов и сооружений, насыщаясь при этом вредными примесями. С точки зрения токсикологии вода считается агрессивной при значениях $6,5 > pH > 8,5$.

Грязеёмкость воды является показателем ее эффективного использования и определяется массой загрязняющего вещества, удаляемого водой из обрабатываемого материала (сырья). От грязеёмкости зависит качество выпускаемой продукции, расход энергетических и материальных ресурсов и расход самой воды. Например, в текстильной промышленности используются значительные массы воды, имеющие, как правило, относительно невысокие конечные концентрации специфических загрязняющих веществ. В связи с этим показатель грязеёмкости является невысоким, а технологические резервы воды используются с низкой эффективностью.

Свойства технологической воды определяются не только общими, но и специфическими показателями, характерными для данного конкретного производства. При решении вопроса о повторном использовании воды (создании замкнутых циклов водоснабжения, систем повторного использования воды предприятий) особую актуальность приобретает проблема определения требований к качеству воды, многократно используе-

мой в технологических процессах и определению предельно-допустимых технологических концентраций (ПДТК), не ухудшающих качество выпускаемой продукции.

Качество воды, используемой для технологических нужд различных производств, должно соответствовать требованиям по основным специфическим показателям конкретного производства (см. табл. 4.8, 4.9).

В производстве химических волокон вода, используемая для охлаждения аппаратов и агрегатов, не должна содержать веществ, придающих ей коррозионные свойства и образующих отложения. Для мытья полов и оборудования, отмывки готовой продукции, охлаждения и конденсации технологических растворов используется фильтрованная неумягченная вода. Умягченная вода расходуется для приготовления прядильных растворов, осадительной и пластификационных ванн и охлаждения аппаратов. В табл. 4.10 приведены основные показатели качества воды, потребляемой в производстве химических волокон.

Таблица 4.8

Показатели качества воды, используемой для технологических нужд
красильно-отделочного производства

№п/п	Показатель	Единицы измерения	Значение
1	2	3	4
1.	Взвешенные вещества	мг/л	8,0
2.	Активная реакция	ед.рН	6,5 - 8,5
3.	Щелочность	ммоль/л	7,0
4.	ХПК	МГ О2/Л	100,0
5.	ПАВ	мг/л	5,0
6.	Железо (общее)	мг/л	0,1

Таблица 4.9

Сравнительный анализ требований к качеству воды, применяемой
для приготовления водорастворимых СОЖ

Показатели	Допустимые уровни качества повторно используемой воды по данным Соколова Л.И. (для продолжительности эксплуатации 28 сут)	Требования к воде для приготовления водосмешиваемых СОЖ	Требования к воде для приготовления СОЖ фирмы Castrol (Англия)	Требования к воде для приготовления СОЖ фирмы Fucus (Германия)	Показатели качества технической воды на отечественном машиностроительном предприятии	ПДК в технической воде для машиностроительного предприятия
Температура, °С		15-30				
РН	7,0	5,2-7,5	5,2-7,5	7,0	7-7,87	6-9
Взвешенные вещества, мг/л	100±1				-	не норм.
Жесткость общая, ммоль/л		2-4	1,5-5,0	1,79-4,48	0,5-3,6	3,5(5,0)

Продолжение таблицы 4.9

Сухой остаток, мг/л	3500±150			800	78-544	1000 (1500)
Сг ³⁺ , мг/л	2,5					
Сг общ., мг/л					-	0,05
Железо общ., мг/л					0,2-0,7	0,3(1,0)
Нефтепродукты, мг/л	200±10				0,11	0,1
Хлориды, мг/л, не более		80	100	150	8,10-41,0	350
Сульфаты, мг/л, не более		150-170	150-170		31,94-77,57	500
Нитраты, мг/л					0,2-4,36	45
Микроорганизмы, клетки/ мл, не более		100			До 22752	50

При производстве карбамидных смол оборотная вода расходуется на охлаждение холодильников, полимеризаторов, конденсаторов и т. п. В летнее время температура ее должна быть не выше 25°C, карбонатная жесткость - не более 4 ммоль/л, количество взвешенных веществ — до 60 мг/л. Общее солесодержание обессоленной воды этих производств должно составлять не более 5 мг/л, содержание кремния — не более 0,2 мг/л, железа — не более 1 мг/л.

При производстве уксусного ангидрида расходуется оборотная вода с температурой 25°C и охлажденная с температурой 5°C.

При производстве хлопковой целлюлозы расходуется умягченная вода с общей жесткостью не более 0,18 ммоль/л, содержащая лишь следы взвешенных веществ и железа и имеющая минимальную окисляемость.

Таблица 4.10

Показатели качества воды, потребляемой в производстве химических волокон

Характеристика воды	Цветность, град (не более)	Прозрачность по кресту, см	Окисляемость, мг/л (не более)	Жесткость, ммоль/л		Щелочность, ммоль/л (не более)	Содержание, мг/л (не более)		pH
				общая	карбонатная		железа	марганца	
Фильтрованная неумягченная	15	>100	Не нормируется	—	9	Не нормируется	0.3	0.1	7—8
Умягченная	5	>200	4	0,035	—	5,5	0.05	0.03	7—8

Примечание. Для обессоленных вод допустимое общее количество растворенных солей должно составлять не более 1,5 мг/л.

Оборотная вода, применяемая в производстве жирных кислот, должна иметь температуру не выше 25° С.

Для заводов и цехов пигментной промышленности воду очищают только от грубых механических примесей. Содержание взвешенных веществ в ней не должно превышать 30 мг/л, но, как исключение, может достигать 100 мг/л (при повышении скорости движения воды в теплообменнике).

При производстве оксида титана максимальная температура воды должна быть 28° С. Общая жесткость ее допускается 3 ммоль/л, содержание железа — до 0,2 мг/л, сухой остаток — до 100 мг/л. В этом производстве применяется также умягченная вода.

Оборотная вода кислородных станций должна иметь температуру не выше 28-30° С. Предельное количество взвешенных веществ в ней - 50 мг/л, карбонатная жесткость добавочной воды — не более 3,5 ммоль/л, содержание ионов железа — не более 0,3 мг/л, рН=5,68,5.

4.4. Нормы водопотребления для предприятий

Нормой водопотребления называют удельное водопотребление, согласованное с соответствующим ведомством или утвержденное им и обязательное для водохозяйственных расчетов и учета воды при проектировании и эксплуатации промышленных предприятий.

Потребление воды основным производством характеризуется объемом и ассортиментом выпускаемой продукции. Нормы водопотребления определяют для основных групп и видов продукции данного предприятия с учетом его специфики. Например, для подшипникового предприятия может быть установлена норма водопотребления на средневзвешенный подшипник. А на текстильном предприятии норму водопотребления устанавливают для каждой группы тканей (ситцевая, бязевая, бельевая, сатиновая, платьевая, подкладочная, тиковая, платочная, полотенечная, мебельно-декоративная, марлевая, ворсовая, одежная).

Кроме основных производственных мощностей потребителями воды являются вспомогательные подразделения конкретного предприятия. Обычно к ним относят: вспомогательные, строительные и подсобные производства, котельную, центральные ремонтные мастерские (ЦРМ), электроремонтный цех, цех КИПиА, гараж автотранспорта, холодильно-компрессорную станцию, водоочистные сооружения, канализационные сооружения по очистке производственных стоков, службу вентиляции и кондиционирования воздуха, пожарное депо и др.

Структура индивидуальной нормы водопотребления и водоотведения на единицу продукции предприятия представлена на рис. 4.9.

Расчету подлежат: объем забираемой из источника свежей (питьевой, технической) воды, объем охлаждающей воды и воды повторно-последовательно используемой, а также потери воды с продукцией, разливы, испарения, каплеунос и т.д.

Исходными данными для определения норм водопотребления на предприятиях являются:

- удельные нормативы водопотребления по технологическим процессам (операциям);
- объем (количество) выпускаемой продукции;
- технология и состав цехов основных, вспомогательных и подсобных производств;

- основные технические характеристики технологического, вспомогательного и подсобного оборудования;
- системы водоснабжения, балансовые схемы водопотребления;
- данные по численности работающих с разделением по группам производственных процессов, по площадке территории;
- климатологические данные;
- вид топлива.



Рис. 4.9.

Основой для определения индивидуальной технологической нормы водопотребления могут служить операционные (агрегатные) технологические нормы.

Определение индивидуальных технологических норм производится путем использования вышеуказанных удельных нормативов без проведения расчетов по операциям.

Укрупненные нормы водопотребления на единицу продукции предназначаются для разработки прогнозов, технико-экономических обоснований и проектирования схем водоснабжения промышленных узлов, экономических и административных районов, а также для составления генеральных схем комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейнов рек.

Укрупненные нормы водопотребления можно применять как при проектировании вновь строящихся, так и при реконструкции существующих систем водоснабжения промышленных предприятий.

Руководствуясь нормами, можно дать оценку эффективности использования воды на каждом действующем предприятии.

Среднегодовой расход воды на технологические нужды для предприятия определяют по формуле

$$Q_{\text{год}} = W \cdot N_{\text{год}}, \text{ м}^3, \quad (4.8)$$

где $Q_{\text{год}}$ - среднегодовой расход воды предприятием, м³/год; W - объем производства в год (в тоннах, шт); $N_{\text{год}}$ - среднегодовая укрупненная норма расхода воды на единицу продукции или сырья, м³/тонн, м³/шт.

Расчетный суточный расход воды на технологические нужды предприятия определяют по формуле:

$$Q_{\text{сут}} = M \cdot N, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (4.9)$$

где $Q_{\text{сут}}$ - суточный расход, м³/сут.; M - число единиц продукции при максимальной выработке в сутки, шт; N - норма водопотребления на единицу продукции, м³/шт.

Если в состав данного предприятия входит ряд самостоятельных цехов (производств), то расходы воды определяют по формуле:

$$Q_{\text{сут}} = M_1 \cdot N_1 + M_2 \cdot N_2 + \dots + M_n \cdot N_n, \quad (4.10)$$

где M_n - число единиц продукции при максимальной выработке в цехе n в сутки, шт; N_n - норма водопотребления на единицу продукции в цехе n , м³/шт.

Максимальный секундный расход на технологические нужды предприятия определяют по формуле:

$$q_{\text{макс}} = \frac{M_{\text{макс.см}} \cdot N}{3,6 \cdot T} \cdot K_q, \text{ л/с}, \quad (4.11)$$

где $q_{\text{макс}}$ - максимальный расход, л/с; $M_{\text{макс.см}}$ - число единиц продукции или перерабатываемого сырья при максимальной выработке в смену, шт, т; 3,6 - коэффициент перевода м³/ч в л/с; T - число рабочих часов в смену, час; K_q - коэффициент часовой неравномерности.

Укрупненные нормы водопотребления для предприятий различных отраслей промышленности определяются технологическим расчетом и приводятся в специальной справочной литературе. Существующая нормативная база для определения объемов водопотребления предприятия не учитывает регенерации и повторного использования сточных вод собственного производства.

5. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

5.1. Основные понятия

Надежность систем водоснабжения определяется как сложное свойство системы сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

В теории надежности используются следующие основные понятия.

Работоспособное состояние - состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Неработоспособное состояние - состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Предельное состояние - состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Повреждение - событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

Отказ - событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

В теории надежности все объекты принято делить на два больших класса: восстанавливаемые и не восстанавливаемые. К *восстанавливаемым* относятся такие, которые в случае возникновения отказа могут быть восстановлены.

Невосстанавливаемыми считаются те объекты и изделия, которые в случае возникновения отказа не могут быть восстановлены или не подлежат восстановлению.

Наработка до отказа - продолжительность нормальной работы объекта от начала его эксплуатации до возникновения первого отказа.

Наработка между отказами - продолжительность нормальной работы объекта от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа.

Время восстановления работоспособного состояния - продолжительность восстановления работоспособного состояния объекта.

Надежность в зависимости от характера использования объекта состоит из более простых свойств, как-то:

- **безотказность** - свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки;

- **ремонтпригодность** - свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов;

- **долговечность** - свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов;

- **сохраняемость** - свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Каждое свойство надежности характеризуется определенным набором показателей, из которых основными являются:

Показатели безотказности:

- *вероятность безотказной работы* - вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет.

Экспериментально этот показатель определяется следующим образом. На испытания ставится N_0 однотипных изделий, которые испытываются в одинаковых условиях в течение времени t . К моменту окончания испытаний число работоспособных изделий равно N , а число отказавших - n , т.е. $N_0 = N + n$. Отношение N/N_0 представляет собой вероятность безотказной работы изделия (устройства, блока) в течение времени t (если в начальный момент времени $t = 0$ оно было работоспособным).

$$P(t) = \frac{N}{N_0} \quad (5.1)$$

- *средняя наработка до отказа* - отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

- *параметр потока отказов* - отношение среднего числа отказов восстанавливаемого объекта за произвольно малую его наработку к значению этой наработки.

Показатели долговечности:

- *назначенный ресурс* - суммарная наработка объекта, при достижении которой применение по назначению должно быть прекращено;

- *средний срок службы* - математическое ожидание срока службы.

Показатели ремонтпригодности:

- *вероятность восстановления работоспособного состояния* - вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданного - T_3 ;

- *среднее время восстановления работоспособного состояния* - математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния.

Показатели сохраняемости:

- *средний срок сохраняемости* - математическое ожидание срока сохраняемости.

Кроме перечисленных *единичных* показателей надежности, характеризующих только одно свойство надежности, имеются *комплексные показатели*, которые определяют одновременно несколько свойств надежности.

К числу основных из них относятся следующие:

Коэффициент готовности:

$$K_z = \frac{T_0}{(T_0 + T_s)}, \quad (5.2)$$

где T_0 и T_s - соответственно наработка на отказ и время восстановления, ч.

Коэффициент K_z характеризует вероятность работоспособности системы (или отдельного ее блока) в произвольный момент времени, кроме периодов проведения планово-профилактических работ.

Коэффициент сохранения эффективности:

$$K_{\phi} = \frac{W_{\phi}}{W_{np}}, \quad (5.3)$$

где W_{ϕ} и W_{np} - соответственно объем фактически подаваемой потребителям воды и требуемый по проекту;

характеризует степень влияния отказов отдельных элементов системы на его эффективность использования.

Коэффициент вынужденного простоя:

$$K_{с.п.} = \frac{T_{с}}{(T_{с} + T_0)}, \quad (5.4)$$

характеризует отношение времени восстановления к сумме времени восстановления и безотказной работы за один и тот же календарный срок.

Коэффициент восстановления:

$$K_{с} = \frac{Z_i}{Z_{ср} \cdot \Delta t}, \quad (5.5)$$

где Z_i и $Z_{ср}$ - соответственно число восстановленных и среднее число неработающих элементов системы в интервале времени Δt .

Коэффициент технического использования $K_{m.n.}$:

$$K_{m.n.} = T_0 / (T_0 + T_{с} + T_p), \quad (5.6)$$

где T_p - время, затраченное на проведение технического обслуживания,

характеризует отношение математического ожидания времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за определенный период эксплуатации к сумме математических ожиданий времени пребывания системы в работоспособном состоянии, времени простоев, вызванных техническим обслуживанием, и времени ремонтов за тот же период эксплуатации.

Различают системы водоснабжения и их элементы *нерезервированные* и *резервированные*.

Простейшим примером резервированного элемента системы подачи воды является водовод, обеспечивающий подачу воды с расходом Q и состоящий из нескольких (n) последовательно включенных элементов.

Такая система может находиться в работоспособном состоянии только при одновременной исправности всех ее элементов и их совместной работе. Отказ любого из элементов вызывает отказ всей системы.

Вероятность безотказной работы резервированной системы определяется по формуле:

$$P_n = \prod_{i=1}^n p_i \quad (5.7)$$

где P_n - вероятность безотказной работы всей системы из n элементов; p_i - вероятность безотказной работы i -го элемента.

Для n однотипных элементов:

$$P_n = p_i^n \quad (5.8)$$

Вероятность отказа нерезервированной системы:

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n p_i \quad (5.9)$$

В соответствии с ГОСТ 27.002-83 резервирование трактуется как применение дополнительных средств и (или) возможностей с целью сохранения работоспособного состояния объекта при отказе одного или нескольких его элементов.

Резервирование является основным универсальным методом обеспечения требуемой надежности систем водоснабжения, как и большинства других инженерных сооружений.

Различают *общее* и *раздельное* резервирование: общим называют метод повышения надежности, при котором резервируется объект (система) в целом, раздельным - метод резервирования отдельных элементов для системы.

Различают элементы *основные* и *резервные*. Основным элементом необходим для выполнения объектом требуемых функций при отсутствии отказов его элементов. Резервный элемент предназначен для выполнения функции основного элемента в случае отказа последнего. Примеры резервных элементов: установка резервных насосных агрегатов на насосных станциях, устройство резервных скважин на водозаборах подземных вод и т.д.

Для характеристики резервирования применяется такое понятие как *кратность резервирования*: отношение числа резервных агрегатов к числу резервируемых (основных).

Кратность резервирования может быть целой и дробной. При резервировании с целой кратностью m есть целое число, с дробной m есть дробное несокращаемое число. Например, $m = 4/2$ означает наличие четырех резервных агрегатов и двух рабочих. При сокращении $m = 2$ означает, что резервирование уже является целой кратностью, при которой число резервных элементов равно двум, а общее число элементов равно трем.

Основные виды резервирования приведены в ГОСТ 27.002-83, некоторые из них даны в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Основные виды резервирования

Термин	Определение
Структурное резервирование	Резервирование с применением резервных элементов структуры объекта
Временное резервирование	Резервирование с применением резервов времени
Постоянное резервирование	Резервирование без перестройки структуры объекта при возникновении отказа его элемента
Динамичное резервирование	Резервирование с перестройкой структуры объекта при возникновении отказа его элемента
Резервирование замещением	Динамическое резервирование, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного элемента

Термин	Определение
Скользящее резервирование	Резервирование замещением, при котором группа основных элементов объекта резервируется одним или несколькими резервными элементами, каждый из которых может заменить любой отказавший основной элемент в данной группе
Дублирование	Резервирование с кратностью резерва один к одному

5.2. Задачи и методология оценки надежности систем

Добиться абсолютно надежного функционирования системы водоснабжения нельзя, потому что она, являясь структурно сложной и территориально рассредоточенной, находится в процессе эксплуатации под воздействием множества неблагоприятных факторов, подавляющее большинство которых носит случайный, практически неконтролируемый характер. Поэтому точно предсказать, а тем более полностью исключить их отрицательное влияние невозможно.

Тем не менее, учет на проектируемых и осуществление на действующих системах водоснабжения определенных организационно-технических мероприятий способно заметно повысить их надежность. Выявить возможный характер таких мероприятий, а также обосновать их экономическую эффективность может математическое моделирование процессов, определяющих надежность водопроводных систем. Математическая модель составляется для решения конкретной задачи и должна быть по возможности простой, но давать результаты расчетов с достаточной для инженерной практики точностью. При составлении модели важна степень ее детализации, а также четкое математическое определение параметров, характеристик и понятий, которыми она оперирует.

Основным в рамках рассматриваемой проблемы является понятие надежности – «свойство объекта ... выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения ...». Как следует из этого определения, надежность – характеристика качественная. Количественная же оценка надежности связана с понятием отказа, под которым понимается случайное событие, переводящее объект в неработоспособное состояние. Если для многих технических объектов отказ однозначно проявляется в физически очевидной потере его работоспособности, то, когда речь идет о водопроводной сети как единой системе, дело обстоит несколько иначе. Действительно, практикам хорошо известны ситуации, когда по каким-либо причинам некоторый участок сети выходит из строя. С точки зрения технологии такой режим работы не является нормальным, однако система в целом не теряет работоспособности. Другой случай – вышел из строя один из насосов на насосной станции, но его функции тут же принимает на себя резервный. Приведенные примеры характерны тем, что неблагоприятные технологические ситуации и даже аварии на отдельных элементах сети не приводят к потере способности выполнять ею свою основную функцию – снабжение водой потребителей. В упомянутых и аналогичных им случаях по существу реализуется избыточность системы, которая в правильно спроектированной и построенной системе водоснабжения всегда имеет место в той или иной степени.

Система водоснабжения, и в частности водопроводная сеть обладает пропускной способностью, значение которой определяется как пропускными способностями от-

дельных сооружений, так и особенностями конфигурации сети. В результате аварии какого-либо сооружения (участка) его пропускная способность уменьшается (возможно, до нуля – при полном выходе сооружения из строя), что ведет к уменьшению пропускной способности сети в целом. Если при этом резервы пропускной способности системы оказываются исчерпанными, происходит недодача воды потребителям, т.е. система теряет способность выполнять свои функции.

Предлагается под отказом понимать ситуацию, когда по каким-либо причинам (например, в результате аварии) пропускная способность водопроводной сети становится меньше требуемой для полного удовлетворения нужд потребителя в воде. Отказ может возникнуть в любой момент времени и влечет за собой необходимость ремонтных мероприятий непосредственно с момента возникновения отказа с целью восстановления работоспособности системы.

С точки зрения теории надежности приведенные выше рассуждения позволяют рассматривать функционирование городской водопроводной сети как марковский случайный процесс с непрерывным временем и двумя состояниями: S_1 – когда система работает нормально, и S_2 – когда на сети производятся ремонтные работы. Переход из S_1 в S_2 происходит под воздействием потока отказов, а обратный переход из S_2 в S_1 – под воздействием потока восстановлений. Под потоком понимается последовательность однородных событий, происходящих в произвольные моменты времени.

Рассмотрим более подробно поток отказов. Время между двумя последующими отказами системы t есть непрерывная случайная величина, которая может быть описана некоторой плотностью распределения вероятностей (дифференциальным законом распределения) $f(t)$. Функция $f(t)$, получаемая на практике путем обработки данных наблюдений о состоянии объекта, полностью определяет все параметры потока и, в частности, его важнейшую характеристику – интенсивность λ , которая в общем случае зависит от времени, т.е. $\lambda = \lambda(t)$. Связь между $f(t)$ и $\lambda(t)$ определяется уравнением:

$$\int_t^{\infty} f(t) dt = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]. \quad (5.10)$$

Знание функции $f(t)$ (либо $\lambda(t)$) позволяет ввести в рассмотрение количественные показатели надежности, которые подразделяются на временные и числовые. Чаще всего в качестве временного показателя используют так называемую функцию надежности $p(t)$, определяемую выражением

$$p(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt. \quad (5.11)$$

а числового – математическое ожидание T_0 случайной величины t :

$$T_0 = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} p(t) dt. \quad (5.12)$$

Физический смысл этих показателей состоит в следующем: функция надежности численно равна вероятности безотказной работы системы в фиксированный момент времени t , отсчитываемый от предшествующего отказа a , T_0 – среднее время работы системы между двумя последующими отказами (ее среднее время «жизни»). Выбор того или иного показателя для количественной оценки надежности конкретной системы за-

висит от ее назначения. При анализе надежности городской водопроводной сети физически оправданным является показатель в виде среднего времени безотказной работы, т.е. T_0 .

Как следует из уравнений (5.10) - (5.13), величина T_0 полностью определяется видом закона распределения $f(t)$, который для конкретной системы зависит от множества факторов: количества элементов, составляющих систему, и их «возраста», внешних условий, в которых она работает, качества эксплуатации и обслуживания и т. п., формирующих поток отказов. Мировая практика показывает, что для инженерных расчетов надежности сложных, многокомпонентных систем чаще всего адекватной оказывается модель простейшего (или стационарного пуассоновского) потока отказов, для которого функция $f(t)$ имеет вид:

$$f(t) = \lambda_0 e^{-\lambda_0 t}, (t \geq 0); \quad (5.13)$$

где λ_0 – интенсивность потока, являющаяся для этого случая величиной постоянной и связанная со средним временем безотказной работы соотношением:

$$T_0 = 1/\lambda_0. \quad (5.14)$$

При проектировании новой системы водоснабжения или при недостаточно представительной статистике наблюдений на уже действующей сети на начальной стадии исследования в качестве математического описания потока отказов водопроводной сети предлагается принимать пуассоновский поток. Широко используемое представление о потоке отказов технических систем как о пуассоновском само по себе не может рассматриваться как определяющий аргумент при выборе математической модели конкретного процесса. Однако адекватность простейшего потока процессам, определяющим надежность сложных систем, подтверждается многочисленными наблюдениями. В технической литературе по надежности часто приводится кривая (рис. 5.1), показывающая, как изменяется интенсивность потока отказов реальных объектов с течением времени.

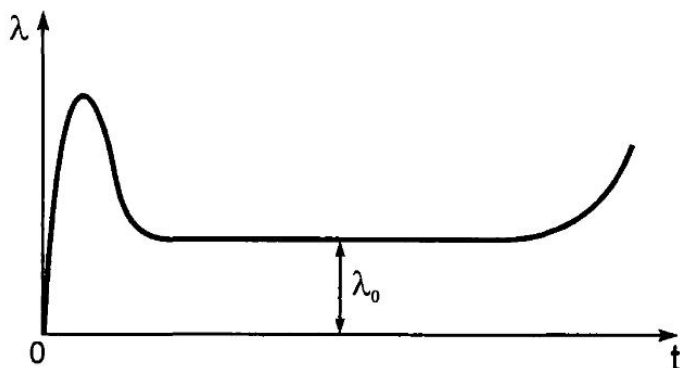


Рис. 5.1. Изменение интенсивности отказов (λ) со временем

На этой кривой может быть выделен временной интервал, на протяжении которого интенсивность потока отказов остается практически постоянной λ_0 , что характерно для стационарного потока. Продолжительность этого интервала зависит от многих факто-

ров и может составлять величину до нескольких десятков лет. Постоянство λ на этом интервале отражает глубинные механизмы формирования потока отказов, подтвержденные теоретически. В математике доказано: если какой-либо поток есть результат суперпозиции (наложения) других потоков, каждый из которых характеризуется своим (не обязательно показательным) законом распределения, то результирующий поток стремится к пуассоновскому при увеличении числа потоков, его составляющих. Это условие соблюдается, когда речь идет о потоке отказов сложной, состоящей из многих элементов системы, рассматриваемой как единый технический объект. К водопроводной сети крупного города, содержащей десятки и даже сотни отдельных взаимосвязанных элементов и устройств, это положение применимо в полной мере. Таким образом, во всяком случае изначально, физических предпосылок в пользу гипотезы о стационарности потока отказов водопроводной сети больше, чем в отношении какого-либо другого предположения. Отметим также немаловажное обстоятельство, состоящее в том, что большинство существующих методик расчета надежности, удобных для использования в инженерной практике, разработано именно для пуассоновского потока отказов.

Возврат водопроводной сети в работоспособное состояние (в терминах теории надежности) происходит под воздействием потока восстановлений. Аргументы, аналогичные приведенным выше, дают основание предполагать, что поток восстановлений системы также простейший, характеризуемый интенсивностью μ_0 . Если это так, то интенсивность потока восстановлений μ_0 есть величина, обратная среднему времени одного ремонта системы по ликвидации отказа T_p , и следовательно, связана с ним выражением, аналогичным (5.14).

Экспериментальное определение значений λ_0 и μ_0 сводится к нахождению по известным методикам величин T_0 и T_p путем обработки данных наблюдений состояния объекта за длительное время. Такой подход приемлем лишь в случае, если оба потока (отказов и восстановлений) – пуассоновские. Если же результаты наблюдений дают основание предполагать существенную нестационарность системы, то средние значения T_0 и T_p недостаточны для математического описания процессов, и требуется выявление соответствующих дифференциальных законов распределения. Такая процедура принципиальных трудностей не вызывает, но требует большего объема данных наблюдений. Однако допустимым и в этом случае является определение временных интервалов, на которых интенсивности потоков различны, но постоянны в пределах каждого интервала (например, сезонная стационарность). При этом математическое описание процессов заведомо «огрубляется», однако появляется возможность использовать хорошо разработанные инженерные методики расчета надежности стационарных систем.

При известных значениях λ_0 и μ_0 нетрудно найти финальную вероятность функционирования водопроводной сети в безаварийном режиме:

$$p(S_1) = \frac{\mu_0}{\lambda_0 + \mu_0} \quad (5.15)$$

Определением $p(S_1)$ завершается первый этап исследования надежности водопроводной сети – ее анализ. Следующий шаг, который условно можно назвать этапом синтеза, состоит в разработке мероприятий по повышению надежности, их оценке с точки зрения экономической эффективности и осуществление этих мероприятий на конкретном объекте.

В зависимости от содержания комплекса потенциально возможных мер удобно представить надежность системы водоснабжения в виде трех составляющих: структурной, конструктивной и технологической, на каждую из которых можно влиять, добиваясь ее повышения.

Структурная надежность определяется конфигурацией водопроводной сети. Большинство городских водопроводных сетей являются кольцевыми. Такая структура объекта предполагает «питание» конкретного потребителя водой, в принципе, не по одному, а по нескольким направлениям. Благодаря этому происходит своеобразное резервирование некоторых путей доставки воды потребителю, что повышает надежность функционирования водопроводной сети в целом, поскольку в ряде случаев дает возможность «не заметить» выход из строя какого-либо участка.

Количественно оценить степень повышения надежности водопроводной сети за счет резервирования можно на примере следующего случая. Допустим, что в городе наряду с существующей имеется точно такая же «параллельная» сеть, которая принимает на себя нагрузку при отказе реальной сети. Расчет основных показателей надежности, проведенный для двукратного «горячего» резервирования, показывает, что время безотказной работы системы в этом случае увеличивается в 1,5 раза. Рассмотренная ситуация является сугубо гипотетической, однако хорошо демонстрирующей возможности повышения надежности системы путем резервирования.

Конструктивная надежность зависит от прочностных характеристик элементов сети, главным образом, от их способности противостоять механическим воздействиям и повреждениям, вызываемых коррозией.

Технологическая надежность определяется качеством эксплуатации водопроводной сети. Нарушение этой составляющей общей надежности происходит чаще всего в результате ошибок обслуживающего персонала в процессе эксплуатации системы.

Пути повышения конструктивной и технологической надежности вытекают из формулы (5.15). Сделать водопроводную сеть более надежной – значит увеличить вероятность ее функционирования в безаварийных режимах $p(S_i)$. Из формулы (5.15) следует, что этого можно добиться как уменьшением значения λ_0 , так и увеличением μ_0 .

В соответствии с широко принятой последовательной схемой расчета надежности значение интенсивности потока отказов многокомпонентной системы λ_0 трактуется как сумма интенсивностей отказов ее элементов. Следовательно, повышение конструктивной надежности обеспечивается использованием в системе компонентов, имеющих меньшее значение интенсивности отказов.

Если задача повышения надежности ставится на этапе проектирования водопроводной сети, то ее решение сводится к выбору конструктивных элементов, обеспечивающих требуемое суммарное значение λ_0 . Однако следует учитывать, что значения интенсивностей отказов, приводимые в справочниках, могут рассматриваться лишь как приближенные, поскольку они получены при испытаниях изделий на предприятиях-изготовителях и не учитывают особенностей их функционирования в условиях конкретного города. Один и тот же конструктивный элемент (например, участок трубы) в зависимости от гидрогеологических, сейсмических условий, глубины заложения ведет себя по-разному. Современный аппарат математической статистики, при наличии данных наблюдений по действующим аналогам дает возможность выявить не только качественное, но и количественное влияние на интенсивность потока отказов как отдельных факторов, так и их сочетаний, и учесть их еще на этапе проектирования. Если же речь идет

о действующей водопроводной сети, то мероприятия по повышению ее надежности сводятся к анализу данных наблюдений по отказам, по выявлению наиболее «слабых» элементов системы с последующей их заменой более надежными.

В общем потоке отказов системы определенную часть составляют отказы, порожденные ошибками людей при эксплуатации водопроводной сети (нарушения технологической надежности). Путь снижения интенсивности потока отказов, вызываемых этой причиной, состоит в повышении квалификации обслуживающего персонала, оснащении диспетчерских пунктов дистанционной контрольно-измерительной аппаратурой и вычислительной техникой, помогающими принимать правильные решения в сложных ситуациях.

Таким образом, характер мероприятий по повышению надежности очевиден: необходимо использовать более прочные материалы, совершенствовать качество строительства и эксплуатации водопроводных сетей. Деление же надежности на конструктивную и технологическую позволяет (на основе анализа статистических данных по причинам отказов) определить направление приоритетного инвестирования средств с целью изменения той или другой ее составляющей.

Из формулы (5.15) следует еще одна возможность повышения надежности – увеличение значения μ_0 . Поскольку μ_0 есть интенсивность потока восстановлений, то ее можно увеличить снижением среднего времени одного ремонта системы. Это может быть достигнуто интенсификацией восстановительных работ за счет увеличения численности ремонтных бригад, повышения их квалификации, применения более совершенных технологий ремонта, оснащения бригад достаточным количеством оборудования, транспортных средств и т.п.

В основе определения эффективности мероприятий по повышению надежности действующей водопроводной сети в условиях конкретного города должен лежать принцип экономической целесообразности. Предположим, что значения λ_0 и μ_0 , а следовательно, $p(S_I)$ – известны. Поставим вопрос: какие изменения значений λ_0 и μ_0 ($\Delta\lambda < 0$) и ($\Delta\mu > 0$) с целью увеличения вероятности нахождения системы в работоспособном состоянии в стационарном режиме $\Delta p(S_I)$ являются экономически оправданными? В предположении, что $\Delta\lambda$ и $\Delta\mu$ сравнительно невелики, линеаризация формулы (5.6) в окрестности точки ($\lambda_0; \mu_0$) дает:

$$\Delta p(S_I) = \left(\frac{\partial p}{\partial \mu_0} \right)_0 \Delta\mu + \left(\frac{\partial p}{\partial \lambda_0} \right)_0 \Delta\lambda = \frac{\lambda_0 \mu_0}{(\lambda_0 + \mu_0)^2} \left[\frac{\Delta\mu}{\mu_0} - \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \right]. \quad (5.16)$$

Но численное значение $\Delta p(S_I)$ равно приращению времени ΔT в процентах от некоторого расчетного срока T (например, один год), в течение которого водопроводная сеть функционирует в безаварийном режиме. Если обозначить через Q_{cp} средний объем недодаваемой потребителю воды в единицу времени при отказе сети (т.е. при аварии), то $\Delta T Q_{cp} = \Delta p(S_I) T Q_{cp}$ – есть общий объем «недодачи» воды за время T , который удалось предотвратить за счет увеличения вероятности $p(S_I)$. Это приводит к уменьшению материального и экономического ущерба, наносимого городу, в размере $k_I \Delta p(S_I) T Q_{cp}$, где k_I – оценка общих потерь от недодачи единицы объема воды потребителям в стоимостном выражении.

С другой стороны, затраты на повышение конструктивной и технологической составляющих надежности за то же время T составят $k_2(\Delta\lambda/\lambda_0)$, а совершенствование ремонтных операций обойдется в $k_3(\Delta\mu/\mu_0)$, где k_2 и k_3 – удельные стоимости проводимых мероприятий. Следовательно, комплекс мер по совершенствованию надежности водопроводной сети экономически оправдан, если эти затраты будут меньше оценки стоимости предотвращенного ущерба за время T , т.е.:

$$\left(k_2 \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} - k_3 \frac{\Delta\mu}{\mu_0} - \right) < k_1 \Delta p(S_1) \mathcal{U}_{Q_{cp}}. \quad (5.17)$$

Как видно из (5.17), одного и того же значения левой части неравенства можно добиться различными способами, варьируя слагаемые в скобках. При этом многое зависит от коэффициентов k_2 и k_3 , которые не являются постоянными величинами. Значение k_2 есть функция таких факторов как техническое состояние системы (λ_0); стоимость проектирования технических решений, направленных на повышение конструктивной надежности; стоимость материалов и элементов для реализации разработанных проектов; стоимость строительных работ, стоимость эксплуатации реконструированных сооружений в течение расчетного времени T , затраты на повышение квалификации обслуживающего персонала, и, возможно, другие. Коэффициент k_3 зависит от числа и квалификации рабочих, занятых ликвидацией аварии, оснащенности ремонтных бригад необходимым техническим оборудованием, автотранспортом, телекоммуникационных средств скорейшего оповещения диспетчерского пункта о возникновении отказов на сети, и т.п. Эти два коэффициента (k_2 и k_3) объединяет то, что они, в принципе, поддаются представлению в аналитической форме в виде функций перечисленных аргументов и, следовательно, левая часть неравенства (5.17) может быть заранее рассчитана для любых оправданных практикой значений $\Delta\mu/\mu_0$ и $\Delta\lambda/\lambda_0$.

Несколько иначе обстоит дело с определением значения коэффициента k_1 . Этот коэффициент также зависит от многих факторов, например, от места аварии на водопроводной сети. С сожалением приходится констатировать, что сейчас не существует общепринятых методик расчета материального и экологического ущерба от недопоставки воды потребителю. Поэтому в настоящее время численное значение k_1 может определяться лишь по экспертным оценкам со всеми недостатками, вытекающими из их субъективности.

Таким образом, повышение надежности функционирования водопроводной системы – комплексная проблема, решение которой должно осуществляться в соответствии с предварительно разработанной долгосрочной программой, включающей в себя:

1. Сбор объективных данных о состоянии объекта. Это достигается путем строгого документирования обстоятельств, сопутствующих отказам системы (время возникновения аварии; конструктивные параметры аварийного элемента, его «возраст» и условия, в которых он функционировал; объем воды, недопоставленный потребителям в результате этой аварии; и т.п.), и параметров процесса восстановления (время начала и продолжительность ремонта; силы и средства, привлеченные для ликвидации аварии; и т.п.).

2. Неоднократный последовательно уточняющий анализ статистических данных по мере их накопления для выявления наиболее слабых мест объекта и определения тенденций развития процессов, определяющих его надежность.

3. Обобщение и анализ данных по ущербам, наносимым городу в результате отказов водопроводной сети, с целью разработки приемлемых прогнозных оценок, необходимых при выборе стратегии повышения ее надежности.

4. Разработку долгосрочной инвестиционной политики (как правило, в условиях ограниченных финансовых ресурсов), учитывающей возможность повышения общей надежности сети путем воздействия на структурную, конструктивную и технологическую ее составляющие.

5. Разработку и осуществление конкретных плановых технических мероприятий по реализации выбранной стратегии повышения надежности объекта.

5.3. ОСНОВЫ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ

Отказ в работе любой системы, включая систему водоснабжения, в теории надежности рассматривается как случайное событие. Для оценки количественного значения надежности системы в целом или ее элементов используют полученные в результате опытов (испытаний) случайные величины, характеризуемые наиболее полно законом распределения.

При нормальной эксплуатации, когда

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const} , \quad (5.18)$$

где $\lambda(t)$ – интенсивность отказов, характеристики безотказной работы подчиняются экспоненциальному закону и имеют вид:

- вероятность безотказной работы: $P(t)$:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (5.19)$$

- интенсивность отказов $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = a(t) / P(t) , \quad (5.20)$$

где a – частота отказов, определяемая как

$$a(t) = \lambda(t) e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (5.21)$$

$$\text{При } \lambda(t) \leq 1 ; \quad P(t) = 1 - \lambda(t) \quad (5.22)$$

При испытании системы (ее элементов) в опытных или реальных условиях вероятность безотказной работы определяют по формуле:

$$P(t) = \lim_{\substack{\Delta t \rightarrow 0 \\ N_0 \rightarrow \infty}} (N_0 - \sum_{i=1}^{N_0} n_i) / N_0 , \quad (5.23)$$

где N_0 – число однотипных сооружений или устройств, подвергающихся испытаниям за время t ; $\sum_{i=1}^{N_0} n_i = n(t)$ – число отказавших за время t элементов, для которого определяется вероятность безотказной работы; Δt – принятая продолжительность интервала времени.

На практике пользуются упрощенной формулой вида:

$$P(t) = [N_0 - n(\Delta t)] / N_0 \quad (5.24)$$

Из других важных характеристик надежности определяют среднее время безотказной работы системы T_c :

$$T_c = 1 / (\sum_{i=1}^N \lambda_i) = 1 / \lambda \quad (5.25)$$

и частоту отказов $a_c(t)$:

$$a_c(t) = \sum_{i=1}^N \lambda_i e^{-t \sum_{i=1}^N \lambda_i} \quad (5.26)$$

При анализе статистических данных об отказах отдельных элементов, составляющих систему, может быть установлено, что λ лежит в определенных пределах, колеблясь от $\lambda_{\min, c}$ и $\lambda_{\max, c}$. В этом случае $P_c(t)$ будет иметь вид, показанный на рис. 5.2.

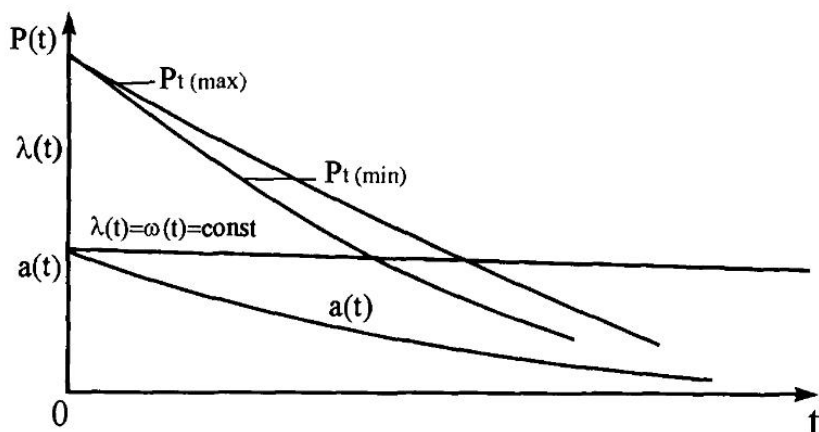


Рис. 5.2. Изменение характеристик надежности системы во времени

Расчет надежности рекомендуется осуществлять в следующей последовательности: рассматривается принципиальная схема системы, изучается ее функционирование и связь между отдельными элементами системы; сложные системы разбиваются на подсистемы, которые в свою очередь, делятся на группы (агрегаты), узлы (блоки); дается формулировка отказа; составляется структурная схема для расчета; составляется таблица расчета надежности; на основании данных таблицы вычисляются количественные характеристики блоков, подсистем и системы в целом.

Показатели интенсивности отказов отдельных составляющих и устройств системы водоснабжения при доверительной вероятности безотказной работы $\delta = 0,95$ и интенсивности ремонтов μ приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Показатели надежности водопроводного оборудования по данным эксплуатации, ТУ и ГОСТ

Тип оборудования	Интенсивность отказов при $\delta = 0,95 \cdot 10^4 \text{ л(ч.км)}$			Интенсивность ремонт $\mu, 10^2 \text{ ч}^{-1}$
	$\lambda_{\text{мин}}$	$\lambda_{\text{ср}}$	$\lambda_{\text{макс}}$	
1	2	3	4	5
<i>Водозаборные сооружения</i>				
Водоприемники:				
- раструбные	-	0,02	-	0,5
- ряжевые	-	0,02	8	0,5
- железобетонные	-	0,02	-	0,5
Самотечные линии из стальных труб	0,1	0,25	0,4	0,5
Насосы типов:				
- НДн	1,8	2	3,9	4
- НДс	1,6	2	3,2	4
- Д	-	2,2	-	4
- В	2	3,5	4,6	4
Фильтры водозаборных скважин:				
- проволочные	0,5	1,25	2	0,5
- каркасно-стержневые	0,2	0,3	0,5	0,5
Обсадные трубы	0,06	0,15	0,3	-
Насосы типов:				
- ЭЦВ 4	1	1,25	1,6	2
- ЭЦВ 6	0,8	1,2	5,6	2
- ЭЦВ 8	0,9	2,1	4,6	2
- ЭЦВ 10	0,9	1,5	3,2	2
Блоки управления	-	0,95	-	4
Водоприемные камеры, резервуары	0,01	0,03	0,1	1
Задвижки с электроприводом	0,1	0,6	1	4
Обратные клапаны	0,04	0,08	1	4
<i>Водоводы и водопроводные сети</i>				
Трубы чугунные (нормальные условия) диаметром, мм:				
- 100	0,9	1,02	1,14	1-4
- 150	0,75	0,92	1,09	1-4
- 200	0,7	0,87	1,05	1-4
- 250	0,6	0,8	1,0	1-4
- 300	0,55	0,7	0,85	1-4
- 400	0,5	0,62	0,74	1-4
- 500	0,47	0,52	0,57	1-4
- 600	0,44	0,48	0,53	1-4
- 700	0,4	0,44	0,48	1-4
- 800	0,36	0,39	0,42	1-4
- 900	0,34	0,37	0,4	1-4

Трубы стальные (нормальные условия) диаметром, мм:				
- 100	0,18	0,29	0,4	2-4
- 150	0,16	0,25	0,35	2-4
- 200	0,15	0,22	0,3	2-4
- 250	0,13	0,19	0,25	2-4
- 300	0,12	-	0,20	2-4
- 400	0,11	-	0,18	2-4
- 500	0,1	-	0,15	2-4
- 600	0,1	-	0,14	2-4
<i>Насосные станции</i>				
Насосы типов:				
- К 8/18; 1,5К 8/19	1,0	1,25	4,0	4
- 2К 20/18; 2 К 20/30	0,6	1,0	5,2	4
- 3К 45/30	1,3	2,0	4,0	4
- 4К 90/35; 4К 90/20	1,4	3,0	4,5	4
- 6К 120/20	0,8	1,8	5,6	4
- 6К 170/32,5; 6К 170/32,5 а, б	0,9	2,0	5,6	4
- 1В-0,9М; 28В-12	1,8	2,4	5,0	4
- 1,5В-1,3М; 32В-12	1,8	2,4	5,0	4
- 2В-1,6М; 40В-24	1,9	2,8	5,8	4
- КВН-3; КВН-4	1,8	4,0	7,0	4
- 1СЦВ-1,5	1,25	2,5	5,0	4
- Д200-95	1,2	3,2	4,8	4
- Д320-70	1,6	1,9	4,5	4
- Д630-90	-	2,1	-	2
- Д1250-65	1,2	1,6	3,5	2
- Д1250-125	1,2	2,0	3,2	2
- Д2500-62	-	1,8	2,0	2
Насосы типов:				
- Д3200-33	-	1,25	-	2
- 10Д-6; 10Д-9; 12Д-6	1,7	2,2	3,8	2
- 3НФ; 4НФ; 5НФ	0,8	1,8	5,6	4
- 3МС-10-4	-	2,2	-	4
- 4МС-10-4	-	2,0	-	4
Трубопроводы стальные диаметром, мм:				
- внутри станции	0,01	0,04	0,15	6
- 700	0,1	-	0,13	2-4
- 800	0,1	-	0,12	2-4
- 900	0,1	-	0,11	2-4
Сетевые задвижки	0,1	0,15	0,8	1-4
<i>Очистные сооружения</i>				
Корпус безнапорных осветлительных фильтров, контактных осветлителей, отстойников	0,02	0,05	0,15	0,5-1
Дренаж:				
- трубчатый	0,1	0,25	0,4	0,5-1
- колпачковый	0,15	0,2	0,5	0,5-1
- пористобетонный	0,05	0,15	0,3	0,5-1
Напорные фильтры	0,05	0,1	0,2	1-2
Барабанные сетки	0,8	1,6	2,0	2

Обеззараживающие установки (замена ламп):				
- ОВ-АКХ-1	-	2,5	-	10
- ОВ-1П	-	2,5	-	10
- ОВ-1П-РКС	-	2,0	-	10
Хлораторы ЛОНИИ-СТО	0,2	0,8	-	10
Контрольно-измерительные приборы	-	1,25	-	10
Трубопроводы стальные внутри стан- ции	0,01	0,04	0,15	6
Задвижки с электроприводом	0,1	0,3	0,8	2

Примечание: * - доверительная вероятность безотказной работы при определении λ принята равной 0,95.

5.4. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СТАРЕЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И СИСТЕМ

Недостаточное внимание к своевременной реконструкции и модернизации элементов и сооружений технических систем, как правило, приводит к заметному росту числа аварий на них. Когда крупные аварии случаются на объектах повышенной опасности или в системах, связанных с жизнеобеспечением населения на значительных территориях, они могут поставить на грань экологической катастрофы целые регионы. В полной мере это относится и к водопроводному хозяйству больших городов и населенных пунктов. Причины такой ситуации различны и многообразны. Однако по крайней мере одна из них очевидна: в силу складывавшегося в последние годы экономического положения в стране, инвестиции, направляемые на модернизацию и поддержание многих систем в надлежащем техническом состоянии, были явно недостаточными. В результате значительная часть элементов и конструкций (в том числе, - коммуникаций водопроводного комплекса) либо работают «на пределе», либо вообще уже исчерпали свой технический ресурс.

В этих условиях особенно возрастает роль и значение практических и теоретических исследований надежности как одного из способов повышения эффективности работы и долговечности систем путем принятия научно аргументированных решений по их своевременной модернизации и реконструкции. Основой для таких исследований являются публикуемые в научно-технической литературе реальные данные по интенсивностям отказов, представляющие собой необходимый статистический материал для совершенствования методик оценки технического состояния и поведения исследуемых объектов в будущем и разработки мероприятий по повышению их надежности. Однако корректность теоретической обработки наблюдаемых данных, применяемой для получения обобщающих математических моделей и показателей надежности, в ряде случаев требует критического анализа и обсуждения.

Все чаще, отражая реальность, публикуемые данные об отказах свидетельствуют о нестационарности надежностных процессов в элементах и системах водопроводного хозяйства, проявляющейся в увеличении числа аварий по мере срока их эксплуатации. Такие элементы в теории надежности принято называть стареющими. Характерным для стареющих элементов является возрастание опасности отказа λ (чаще, но не совсем строго, употребляется термин «интенсивность отказов») с течением времени, т.е. $\lambda = \lambda(t)$. Вместе с тем, широко используемая инженерная методика расчета надежности

исходит из предположения $\lambda = \text{const}$ т.е. из стационарности процесса. Но применение расчетных формул, справедливых для стационарного случая, при оценке таких, например, показателей надежности, как средняя продолжительность жизни объекта или вероятность его безотказной работы, для стареющих элементов с математической точки зрения оказывается некорректным. Таким образом, замена нестационарного потока отказов стационарным приводит к погрешности. Насколько велика эта погрешность? От чего она зависит? При каких условиях нестационарностью потока отказов можно пренебречь? Вот те, казалось бы, сугубо теоретические вопросы, которые приобретают особую практическую важность при анализе надежности стареющих элементов.

Из теории известно, что все характеристики надежности взаимосвязаны, т.е. если хотя бы одна из них задана в аналитическом виде, то все другие, в принципе, могут быть получены путем последовательного выполнения некоторых математических преобразований. В частности, одна из важнейших характеристик - вероятность безотказной работы (иначе - функция надежности) $p(t)$ связана с интенсивностью потока отказов $\lambda(t)$ зависимостью:

$$p(t) = \exp\left\{-\int_0^t \lambda(t) dt\right\}, \quad (5.27)$$

а среднее время наработки на отказ T , при известной $p(t)$, вычисляется как:

$$T = \int_0^{\infty} p(t) dt = \int_0^{\infty} \exp\left\{-\int_0^t \lambda(t) dt\right\} dt. \quad (5.28)$$

В частном случае стационарного потока отказов, когда $\lambda(t) = \text{const} = \lambda_c$, подстановка этого значения в (5.27) дает для функции надежности $p_c(t)$:

$$p_c(t) = \exp(-\lambda_c t) \quad (5.29)$$

и для средней продолжительности службы эксплуатации:

$$T_c = \frac{1}{\lambda_c}. \quad (5.30)$$

Для стареющего элемента интенсивность отказов с течением времени увеличивается и, соответственно, $\lambda(t)$ - некоторая возрастающая функция аргумента t . Причем, как правило, вид функции $\lambda(t)$ оказывается таким, что непосредственная ее подстановка в формулы (5.27) и (5.28) приводит к интегралам, не вычисляемым аналитически; а это означает, что ни вероятность безотказной работы, ни среднее время наработки на отказ для такого объекта в элементарных функциях не выражаются. Таким образом, исследователь уже на этом этапе лишается практической возможности оценки основных показателей надежности.

Одним из способов преодоления этой трудности является замена $p(t)$ функцией $p_c(t)$, соответствующей фиктивному стационарному процессу с эквивалентной интенсивностью отказов $\lambda_c = \text{const}$, значение которой выбирается из некоторых дополнительных соображений.

Для определения λ_c нами предлагается следующий подход. Из формулы (5.29) видно, что при $t = 1/\lambda_c$ вероятность безотказной работы элемента равна e^{-1} . Подберем λ_c из условия, что и для реального (стареющего) элемента $p(t = 1/\lambda_c) = e^{-1}$. Из сравнения этого выражения с (5.27) вытекает, что при этом должно удовлетворяться соотношение:

$$-\int_0^{1/\lambda_c} \lambda(t) dt = -1. \quad (5.31)$$

Разрешив это уравнение относительно λ_c , получим значение интенсивности отказов фиктивного стационарного процесса, выраженное через параметры зависимости $\lambda(t)$ стареющего элемента, наилучшее в смысле принятого критерия приближения.

Продemonстрируем предлагаемую методику на примере.

Пусть зависимость интенсивности отказов стареющего элемента от времени имеет вид возрастающей экспоненты, качественно показанный на рис. 5.3. Допустим, что эта зависимость описывается функцией

$$\lambda(t) = \lambda_0 e^{\alpha t}, \quad (t \geq 0) \quad (5.32)$$

где λ_0 - начальная интенсивность отказов, а α - положительный коэффициент, отражающий скорость старения элемента. Необходимо оценить среднее время T наработки такого элемента до отказа.

Подставляя (5.32) в (5.27), находим функцию надежности:

$$p(t) = \exp\left\{-\frac{\lambda_0}{\alpha}(e^{\alpha t} - 1)\right\}, \quad (5.33)$$

и, следовательно, оценка величины T сводится к вычислению интеграла (см. формулу (5.28)):

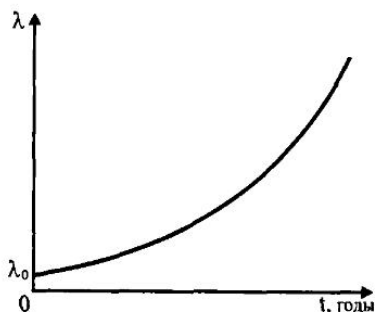


Рис. 5.3. Изменение интенсивности отказов стареющего элемента

$$T = \int_0^{\infty} \exp\left\{-\frac{\lambda_0}{\alpha}(e^{\alpha t} - 1)\right\} dt. \quad (5.34)$$

Трудность, однако, состоит в том, что в элементарных функциях интеграл (5.34) не берется.

Следуя предлагаемому подходу, заменим реальный поток отказов эквивалентным стационарным с интенсивностью λ_c . Для вычисления λ_c в соответствии с формулой (5.31) запишем соотношение:

$$-\int_0^{1/\lambda_c} \lambda_0 e^{\alpha t} dt = -1. \quad (5.35)$$

Произведя в (5.35) необходимое интегрирование и разрешив полученное уравнение относительно λ_c , окончательно имеем:

$$\lambda_c = \lambda_0 \frac{\frac{\alpha}{\lambda_0}}{\ln\left(\frac{\alpha}{\lambda_0} + 1\right)}. \quad (5.36)$$

Таким образом, λ_c зависит от коэффициента, который является функцией отношения скорости старения элемента α к начальному (на момент составления прогнозной оценки) значению интенсивности отказов λ_0 . Заметим, что если $(\alpha/\lambda_0) \ll 1$, то разложение (5.36) в степенной ряд относительно точки $(\alpha/\lambda_0) = 0$ и удерживание в нем лишь линейного члена дает следующее удобное для практических расчетов выражение:

$$\lambda_c \approx \lambda_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\alpha}{\lambda_0}\right). \quad (5.37)$$

Нетрудно видеть, что при $\alpha = 0$ выражения (5.36) и (5.37) приобретают вид $\lambda_c = \lambda_0$; это естественно, поскольку в этом случае старение отсутствует и поток отказов является строго стационарным.

При найденном λ_c оценка среднего времени наработки на отказ определяется по формуле (5.30) в предположении, что $T \approx T_c$.

С целью показать последовательность этапов выполнения анализа надежности в соответствии с предлагаемым подходом, разберем числовой пример. Исходные данные для этого примера не относятся к какому-либо реальному объекту, а специально подобраны так, чтобы упростить расчеты, акцентируя внимание на методологии.

Допустим, что результаты статистической обработки данных помесечных наблюдений за отказами на однородных объектах (водопроводных трубах) за год, непосредственно предшествующий моменту $t = 0$ составления прогнозной оценки надежности, сведены в таблицу:

Таблица 5.3

Результаты наблюдений интенсивности отказов

Месяц	XII	XI	X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I
λ	0,42	0,44	0,49	0,52	0,57	0,61	0,66	0,73	0,78	0,85	0,91	1,00

В этой таблице римскими цифрами «в обратном времени» обозначены условные месяцы предшествующего года (например, XII соответствует месяцу, отстоящему ровно на год от момента $t = 0$ составления прогноза; XI - на одиннадцать месяцев, и т.д. вплоть до месяца I, непосредственно предшествовавшего моменту $t = 0$), а λ (1/год.км) показывает среднюю интенсивность отказов, наблюдаемую за соответствующий месяц.

Требуется оценить среднее время жизни T трубы длиной 1 км, принадлежащей рассматриваемой выборке, в будущем.

Если нанести точки, представленные в таблице, на миллиметровую бумагу, то визуально нетрудно убедиться, что они располагаются в соответствии с некоторой возрастающей функцией времени. Положим, что эта функция - экспонента вида (5.32). Воспользовавшись, например, методом наименьших квадратов, можно определить параметры этой зависимости λ_0 и α , которые в рассматриваемом случае равны: $\lambda_0 = 1$ (1/год); $\alpha = 0,1$ (1/год). Подставив эти значения в формулу (5.33), для функции надежности имеем:

$$p(t) = \exp \left\{ 10(e^{0,1t} - 1) \right\} \quad (5.38)$$

График этой функции представлен на рис. 5.4.

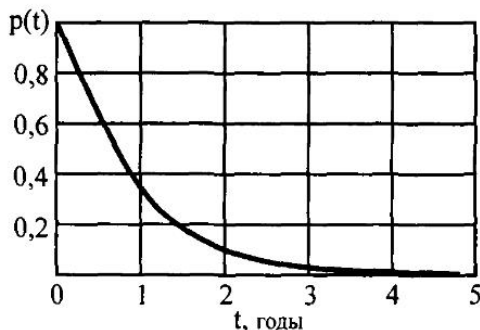


Рис. 5.4. Функция надежности трубы, рассматриваемой в примере

Определение T по формуле (5.34) невозможно, т.к. соответствующий интеграл аналитически не вычисляется. Поэтому воспользуемся предлагаемым подходом и рассчитаем интенсивность отказов λ_c эквивалентного стационарного потока, заменяющего реальный в оговоренном выше смысле. По формуле (5.36) или (5.37) (для принятых значений λ_0 и α обе они дают практически одинаковый результат) имеем: $\lambda_c = 1,05$ (1/год), и, по формуле (5.30),

$$T \approx T_c = 0,9524 \text{ года.}$$

Интересно оценить допускаемую при этом погрешность в определении T . Поскольку, как известно, интеграл численно равен площади под графиком интегрируемой функции, было бы наглядным привести на рис. 5.4 еще одну кривую, соответствующую функции надежности стационарного потока с интенсивностью $\lambda_c = 1,05$ (1/год), т.е. $p_c(t) = e^{-1,05t}$. Однако в выбранном масштабе по вертикальной оси оба графика практически сливаются и визуально не отличимы друг от друга. Поэтому на рис. 5.5 в гораздо большем масштабе построена кривая

$$\Delta p_c(t) = p(t) - p_c(t), \quad (5.39)$$

дающая представление о степени близости этих двух функций. Площадь между горизонтальной осью и кривой $\Delta p_c(t)$ на рис. 5.5 численно равна погрешности в определении T , допущенную при замене нестационарного потока отказов стационарным.

Довольно часто в практических расчетах интенсивность нестационарного потока полагают равной ее наблюдаемому на момент составления прогноза значению, т.е. λ_0 (см. рис. 5.3). Для числовых данных, использованных в рассматриваемом примере, такому подходу на рис. 5.5 в соответствии кривая

$$\Delta p_0(t) = p(t) - p_0(t). \quad (5.40)$$

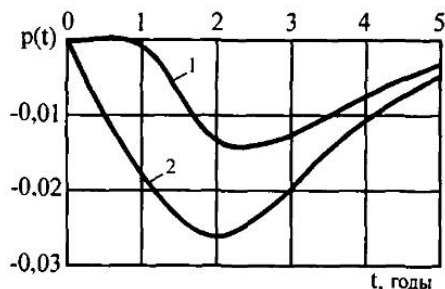


Рис. 5.5. Погрешности аппроксимации функции надежности (1- $\Delta p_c(t)$; 2- $\Delta p_0(t)$)

Сравнение площадей над графиками $\Delta p_c(t)$ и $\Delta p_0(t)$ показывает, что погрешность

в определении T при $\lambda = \lambda_c$ меньше, чем в случае, когда $\lambda = \lambda_0$ т.е. предлагаемый подход улучшает оценку среднего времени жизни элемента. Этот вывод, однако, является лишь качественным; количественно в аналитическом виде оценить допускаемую погрешность невозможно, поскольку величина T неизвестна. Для того чтобы почувствовать порядок этой погрешности, для данных рассматриваемого примера интеграл (5.34) был рассчитан численным методом на ЭВМ; его величина оказалась равной $T = 0,9156$ года. Т.к. значения $T_c = 1/\lambda_c = 0,9524$ года и $T_0 = 1/\lambda_0 = 1$ год известны, то теперь можно определить, что замена нестационарного потока отказов стационарным с интенсивностью λ_0 привела к погрешности в 0,0844 года, что составляет 9,21 %, а с интенсивностью $\lambda_c - 0,0367$ года (4,01 %). Отсюда видно, что предлагаемый метод позволил улучшить оценку в определении среднего времени жизни рассмотренного элемента на 5,2 %. Если же при составлении прогнозной оценки, как иногда поступают, интенсивность отказов выбрать не λ_0 , а ее среднее значение λ_{cp} за предшествующий период наблюдения (например, по данным Таблицы 5.3 $\lambda_{cp} = 0,665$ 1/год), то получим для времени жизни трубы $T_{cp} = 1/\lambda_{cp} = 1,5038$ года, что приводит к еще более существенной погрешности, а именно - 64,24 %.

Очень важно отметить, что во всех рассмотренных случаях использования традиционных методик оценка времени жизни стареющего элемента всегда оказывается завышенной. Если получающийся результат закладывается в основу принятия решения по стратегии ремонта и реконструкции водопроводной сети на перспективу, то, будучи слишком оптимистическим, такой подход может оказаться не только ошибочным, но и опасным.

Подытоживая вышеизложенное, приходим к следующим выводам:

1. Оценка показателей надежности стареющего элемента, в принципе, допустима с помощью модели стационарного потока отказов; при этом, однако, значение интенсивности поток отказов должно быть скорректировано.
2. В соответствии с принятым в данном рассмотрении критерием приближения, при экспоненциальной зависимости $\lambda(t)$ параметр эквивалентного стационарного потока рассчитывается по формуле (5.36) (или (5.37)); в случае функций $\lambda(t)$ иного вида получение аналогичных выражений возможно с помощью предложенной методологии.
3. Замена нестационарного потока отказов стационарным приводит к погрешности в определении основных показателей надежности стареющего элемента. Величина этой погрешности, в принципе, может быть снижена по сравнению с рассмотренным подходом выбором более «удачного» критерия приближения. Проблема, однако, состоит в выявлении аналитической связи значения λ_c с параметрами зависимости $\lambda(t)$, что при других критериях может быть затруднительно с математической точки зрения.

5.5. НАДЕЖНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ (СПРВ)

В новой редакции СНиПа 2.04.02.84* представлены, в основном, мгновенные показатели надежности, в качестве которых приняты величины напора и расхода (общего и в участках) в сети. Нормальное нормированное значение напора зависит от этажности застройки, а расхода - от количества водопотребителей, нормы и режима водопотребления и ряда местных особенностей. Минимальное допустимое нормированное значение

напора устанавливается абсолютной величиной (10 м), а расхода - относительной (размер снижения не более 30-50% от нормального).

Для оценки стабильности функционирования системы необходимо использовать интегральные показатели надежности:

- среднее, в течение года, время нормального уровня качества функционирования системы (T_n). В этот момент в водопроводную сеть подается расчетный расход, а во всех узлах обеспечивается напор не ниже требуемой величины;

- среднее, в течение года, время сниженного до определенного уровня качества функционирования (T_c). В этот период происходит снижение уровня качества функционирования по сравнению с нормальным в допустимых нормативными документами пределах;

- среднее, в течение года, время, когда уровень качества функционирования будет ниже допустимого по нормативным документам (T_a).

Этот показатель является производным и определяется как

$$T_a = 1 - (T_n + T_c) \quad (5.41)$$

Нормальная работа кольцевой водопроводной сети гарантируется только при полностью исправной водопроводной сети, т.е. $T_n \geq T_0$, где T_0 - среднее в течение года время нахождения объекта в исправном состоянии. Нижняя граница надежности $T_n - T_0$ имеет место, когда отключение любого участка водопроводной сети приводит к снижению давления более величины минимального требуемого в одном и том же месте (так называемой диктующей точке). Если же некоторая часть отключений не понижает давления в диктующей точке, то $T_n > T_0$.

Для технико-экономического сравнения вариантов системы подачи и распределения воды (СПРВ) целесообразно ввести показатель, связанный с выходным эффектом. В качестве такого показателя за некоторый интервал времени могут быть приняты разные показатели работы СПРВ, например, количество поданной потребителю воды. При соблюдении нормативных требований лучший вариант будет иметь минимальную стоимость единицы выходного эффекта.

В качестве такого выходного эффекта предложено количество недоданной потребителю воды. В этом случае расчетные затраты на предотвращение недоотпуска 1 м³ воды помогут определить стоимость повышения надежности. Выходной эффект определен как полезный результат, полученный при эксплуатации системы за данный интервал времени. В нашем случае уменьшение недоданной потребителю воды в течение года выступает как полезный результат, характеризующий ее надежность.

Частота отключения участка из-за аварии в течение года равна $\lambda \cdot L$, следовательно, недоданное количество воды из-за отключения участка длиной L в течение года $\lambda \cdot L \cdot q \cdot t$, где q недоданное количество воды при отключении участка; t - время функционирования системы при данном режиме водопотребления.

Если имеется несколько режимов водопотребления, при которых не хватает требуемого давления в узлах и недодается необходимое количество воды, то для каждого режима определяется величина $\lambda \cdot L \cdot q \cdot t$ и затем они суммируются за год. При сравнении вариантов допустимо сопоставление выходного эффекта при одном режиме.

В процессе функционирования водопроводная система может находиться в исправном состоянии, в состоянии с одним отключенным участком, с двумя одновременно отключенными участками и т.д., т.е. в общем случае с k одновременно отключенными участками.

Если обозначить через e_k - состояние водопроводной системы с k одновременно отключенными участками, e_0 - единственное исправное состояние, e_1 - состояние с одним отключенным участком, то таких состояний, очевидно, может быть столько, сколько имеется участков. Все состояния с k одновременно отключенными участками образуют подмножество (совокупность) состояний E_k , а время пребывания системы в этих состояниях обозначено как T_k .

Для вычисления T_0 , T_1 и $\sum_{k=2}^{k=n} T_k$ (где n - число участков водопроводной сети) пользуются аппаратом теории массового обслуживания. Согласно существующим воззрениям, от водопроводной сети исходит простейший поток отказов с интенсивностью λ , в результате которого система переходит из подмножества E_k в E_{k+1} . Одновременно на водопроводную сеть воздействует поток восстановления с интенсивностью μ , в результате которого поврежденный участок ремонтируется и система переходит из E_{k+1} в E_k . Процесс функционирования водопроводной сети переменной структуры может быть описан посредством марковского случайного процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем. При этом используется так называемая схема гибели и размножения.

Среднее время нахождения водопроводной сети T_k с k одновременно отключенными участками будет равно:

При $1 \leq k \leq r$

$$T_k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \cdot T_0 \quad (5.42)$$

При $r \leq k \leq n$

$$T_k = \frac{n!}{r^{k-r} \cdot r!(n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \cdot T_0 \quad (5.43)$$

и

$$T_0 = \left[\sum_{k=0}^r \frac{n!}{k!(n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k + \sum_{k=r+1}^n \frac{n!}{r! \cdot r^{k-r} (n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \right]^{-1} \quad (5.44)$$

В частности, при $r = 1$ для $1 \leq k \leq n$

$$T_k = \frac{n!}{(n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \cdot T_0 \quad (5.45)$$

$$T_0 = \left[\sum_{k=0}^n \frac{n!}{(n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \right]^{-1} \quad (5.46)$$

$\lambda_k = (n-k)\lambda$ при $0 \leq k \leq n$, $\lambda_n = 0$, $\mu_0 = 0$, $\mu_k = k\mu$ при $1 \leq k \leq r$;
 $\mu_k = r\mu$ при $r \leq k \leq n$.

Здесь λ_k - поток отказов интенсивности λ при переходе из E_k в E_{k+1} , μ_k - поток восстановления интенсивности при переходе из E_k в E_{k-1} , r - количество ремонтных бригад.

При этом граф состояний будет иметь вид (рис. 5.6):

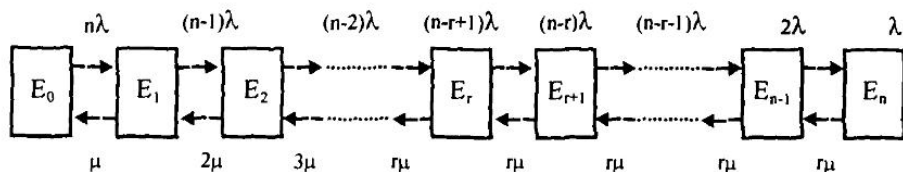


Рис. 5.6. Граф состояний системы

При имеющихся в большинстве случаев на практике значениях λ (0,5-0,93 1/кмгод)

и $\mu = \frac{1}{t_p}$ ($t_p = 1-3$ суток - время восстановления), а также нормах ЖКХ РФ, по которым на обслуживание 50 км трубопроводов предусматривается одна бригада рабочих в 5-6 человек, отдельные слагаемые $\sum_{k=1}^{k=n} T_k$ имеют следующие значения (табл. 5.4).

Из табл. 5.4 видно, что среднее время или вероятность нахождения системы в подмножестве состояний E_1 существенно больше, чем в подмножестве E_2 и т.д. С другой стороны, количество состояний в отдельных подмножествах значительно отличается, так как с увеличением числа одновременно отключенных участков резко повышается число таких состояний, учитывая всевозможные сочетания разных участков. Если рассматривать район, содержащий, например, 50 участков, то всего состояний с одним отключенным участком будет $C'_{50} = 50$, с двумя - $C^2_{50} = 1225$, с тремя - $C^3_{50} = 19600$ и т.д.

Характеристики состояния системы

№ п/п	λ 1/км · год	μ	$\rho = \lambda/\mu$	T_0	T_1	T_2	T_3	$T_0 + T_1$
1	0,93	365	0,00254	0,8734	0,1109	0,0138	0,0017	0,9843
2	0,93	182,5	0,005	0,7516	0,1879	0,0460	0,0110	0,9395
3	0,93	122	0,0076	0,6245	0,2373	0,0884	0,0322	0,8618
4	0,5	365	0,00137	0,9316	0,0681	0,0043	0,0003	0,9997
5	0,5	182,5	0,0027	0,8654	0,1168	0,0155	0,0020	0,9822
6	0,5	122	0,0041	0,7960	0,1632	0,0328	0,0064	0,9592

Полагая, с некоторой погрешностью, что состояния в подмножествах равновероятные, среднее время нахождения системы в состоянии с одним отключенным участком составит T_1/C^1_{50} , с двумя одновременно отключенными участками - T_2/C^2_{50} и т.д.

Для условий, при которых вычислена табл. 5.4, среднее время нахождения системы в состоянии с одним выключенным участком (полагая длину одного участка 1,0 км) составит для первой строки таблицы $0,1109/50 = 0,0022$ года или около 20 часов, с двумя одновременно выключенными участками $0,0138/1225 = 0,00001$ года или около 6 минут, с тремя одновременно выключенными участками $0,0017/19600 = 8,7 \cdot 10^{-8}$ года и т.д.

Процесс СПРВ может быть представлен как ряд состояний, через которые система последовательно проходит под влиянием изменений условий работы. Эти переходы могут быть плавными (например, в результате изменения водопотребления) или скачкообразные (рис. 5.7) в результате отключения участка для ремонта из-за аварии или включения участка в работу после восстановления.

Время между отдельными скачкообразными переходами определяется периодом безаварийной работы или временем восстановления, в течение которого ранее отключенный участок отремонтирован и он включается в работу. Очевидно, время восстановления не может быть меньше некоторой величины, за которую можно в действительности выполнить ремонт. Для первой строки табл. 5.4 время ремонта было принято одни сутки или 24 часа. Время нахождения системы с одним отключенным участком ориентировочно составит 46,5 суток или 12,7 % годового периода. Эта величина несколько больше вычисленной так как при ее определении не принималась во внимание ситуация, при которой ранее отключенный участок еще не был отремонтирован, а в этот момент отказал другой участок (рис. 5.7), время, в течение которого одновременно отключены два участка, входит в период T_2 .

Приведет ли отключение конкретного i -го участка ($i = 1, \dots, n$) или одновременное отключение нескольких участков к снижению нормального уровня качества функционирования в водопроводной сети и каким образом оно произойдет (в одном и том же месте или в разных местах), может быть установлено только моделированием условий ее работы в этих ситуациях или же, другими словами, определением потокораспределения при отключенных участках с вычислением свободных напоров во всех узлах. Использование современной вычислительной техники позволяет решить данную задачу.

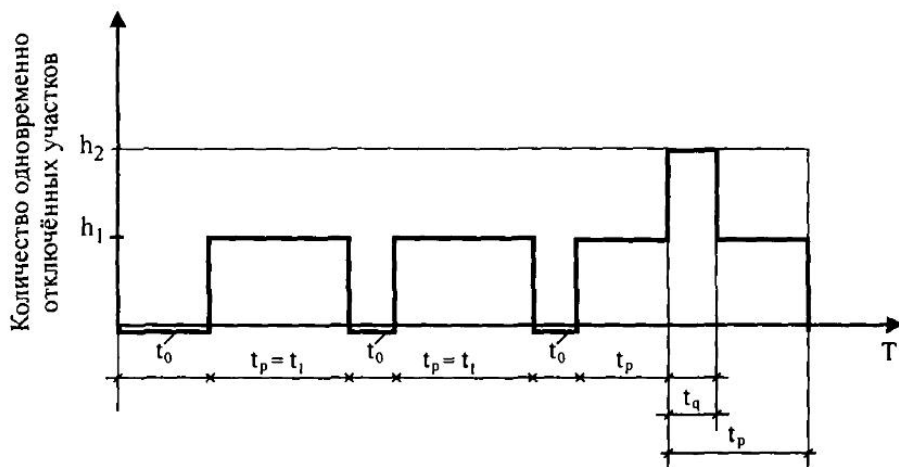


Рис. 5.7. График процесса функционирования водопроводной сети с переменным числом одновременно отключенных участков

При этом можно определить, относится ли время моделируемого состояния к периоду T_n , T_c или T_a .

Для решения таких задач можно воспользоваться программой гидравлического и технико-экономического расчета СПВР, по результатам работы которой можно определить T_n , T_c или T_a для системы.

При определении времени T_n , T_c или T_a заведомо было принято, что СПВР, содержащая до 50 участков, каждый длиной приблизительно 1 км, при одновременном отключении двух и более участков находится в периоде T_a .

В действительности такая ситуация не обязательна: может быть ряд состояний, при которых одновременное отключение двух и более участков не приведет к состоянию отказа, а время нахождения в этих состояниях должно быть отнесено к периоду T_c или даже T_n . Логично предположить, что таких состояний будет относительно мало, поэтому пренебрежение ими при определении величин T_n , T_c и T_a .

Соотношение $T_n > T_0$ означает, что в подмножестве E_I имеются такие состояния, в которых в диктующей точке сохраняется давление не ниже минимального требуемого.

В каких состояниях из подмножества E_I давление в узлах сети будет достаточным (т.е. время нахождения в таких состояниях относится к периоду T_n), в каких станет ниже минимального требуемого, но не менее 10 м (время нахождения в таких состояниях относится к периоду T_c), а в каких давление в некоторых узлах станет меньше 10 м (время нахождения в таких состояниях относится к периоду T_a), может быть определено в результате гидравлического расчета по имеющейся программе.

На практике для анализа периода T_I с помощью ЭВМ проводят серию гидравлических расчетов кольцевой водопроводной системы с нефиксированными узловыми отборами. В каждом расчете при максимальном водопотреблении отключается один из участков. В результате расчета выделяются узлы, в которых недостает напора, номера отключенного участка и т.д. Форма оформления расчетов представлена в виде табл. 5.5.

Табличная форма оформления расчетов

Но- мер узла	Суммарная длина выключенных участков с недостатком напора в узле, м	Величина недостатка напора в узле, м						
		Номер выключенного участка и его длина, м						
		1	2	3			$n-1$	n
	$\sum L$	L_1	L_2	L_3			L_{n-1}	L_n
1								
2								
.								
.								
.								
m								
Число узлов с недостатком напора при выключенном участке		N_1	N_2	N_3				N_n
Величина поданного расхода, м ³ /с		Q_1	Q_2	Q_3				Q_n
Величина недоданного коли- чества воды, м ³ /с		$Q_1(\Delta)$	$Q_2(\Delta)$	$Q_3(\Delta)$				$Q_n(\Delta)$
% недоданной воды от рас- четного количества		P_1	P_2	P_3				P_n

Из табл. 5.5 следует, что диктующим надежностью узлом будет тот, которому в графе 2 будет соответствовать наибольшая величина. Количество перерывов в подаче воды в течение года для части потребителей (как правило, живущих на верхних этажах) будет равно $\sum L \cdot \lambda$.

В процессе ремонта, при отключенном участке, в результате уменьшения водопотребления будет происходить повышение (или восстановление) свободного напора в узлах с недостатками напора.

Восстановление напора при понижении водопотребления происходит вследствие одновременного протекания двух процессов:

- перемещения рабочей точки на кривой $Q - H$ насосов из-за уменьшения подачи воды;
- уменьшения потерь напора в участках водопроводной сети.

Восстановление напора при понижении водопотребления до требуемой величины может происходить частично или полностью.

Если восстановление происходит частично, то в течение всего времени проведения ремонта часть потребителей не будет получать воду, т.е. время нахождения системы в течение года с некоторым недостатком напора составит $\sum L \cdot \lambda \cdot t_p$, где t_p - время восстановления или ремонта.

Если во время ремонта при снижении водопотребления произойдет полное восстановление свободного напора до минимального требуемого, то потребитель при этом полностью сможет получать необходимое количество воды. Следовательно, время нахождения системы с недостатком напора в этом случае будет меньше времени ремонта t_p .

Установить, какое время во время ремонта потребитель полностью будет получать воду, можно на основе анализа графика водопотребления. Определить, происходит полное или частичное восстановление напора при понижении водопотребления можно с помощью гидравлического расчета водопроводной системы с нефиксированными узловыми расходами при соответствующем водопотреблении. При этом достаточно провести несколько расчетов при, например, минимальном и среднем водопотреблении с отключением участка, вызывающего наибольшую нехватку напора в узлах.

«Правилами представления коммунальных услуг», разработанными на основе закона «О защите прав потребителей», определено, что перерывы в водоснабжении допустимы продолжительностью до 8 часов в течение месяца, т.е. за год это составит 4 сут. или 0,989 годового периода. Эти требования к исполнителям коммунальных услуг распространяются на всей территории России независимо от ведомственной принадлежности, форм собственности и организационно-правовой формы.

Однако в вопросе о надежности водоснабжения могут существовать и другие оценки. Так, надежность характеризуется количеством перерывов в нормальном уровне качества функционирования СПРВ и длительностью каждого, например, не более 10 час. Количество перерывов нормального водоснабжения равно $\lambda \cdot \sum L$ и не зависит от суточной неравномерности, так как величина λ определяется по данным эксплуатации за много лет. При этом отпадает необходимость дифференцировать время максимального и минимального водопотребления, так как обычно самые высокие требования к инженерным сооружениям предъявляются в период их максимальной нагрузки, в нашем случае это будет период максимального водопотребления.

Вычисленные значения T_n , T_c , T_a позволяют оценить надежность водоснабжения проектируемой системы. Обычно высоконадежные системы выполняют свои функции в полном объеме 98-99% времени работы. Следовательно, если $T_n < 0,98-0,99$, то необходимо предусмотреть мероприятия по повышению надежности водоснабжения проектируемой СПРВ.

Они заключаются в создании в системе разных видов резервирования, с помощью которых можно компенсировать ухудшение условий работы водопровода при возникновении в нем неисправности.

Наиболее эффективным и действенным путем увеличения надежности работы кольцевых СПРВ в этом случае является создание условий, при которых обеспечивается нормальный уровень снабжения потребителя водой при отключении одного участка ($L = 1,0$ км) на 50 км функционирующих трубопроводов. При условиях

$$T_n \geq T_0 + T_1 \quad (5.47)$$

нижняя граница надежности составит 0,86.

Она оказывается менее 0,98 годового периода при времени восстановления двое и трое суток.

При этом имеются следующие резервы повышения надежности:

- за счет сокращения времени ремонта. Среднее время восстановительных работ в течение трех суток - признак их низкой организации, которая требует улучшения и сокращения сроков ремонта;

- существенным оказывается время, в течение которого одновременно отключены два участка сети, что позволяет организовать в один и тот же момент ремонтные работы в разных местах двумя бригадами. Как показывают расчеты, при $\lambda = 0,93$ и $t_p = 2$ суток восстановительные работы, выполняемые двумя бригадами, позволяют получить $T_0 + T_1 = 0,973$, т.е. приблизиться к 0,98.

На практике, в реальных условиях производственного управления водоснабжения в подобных случаях действительно прибегают к помощи других организаций, обычно строительных, для сокращения времени ремонтных работ. Таким образом, при выполнении условий $T_n \geq T_0 + T_1$ можно с высокой степенью обеспечить надежность нормального водоснабжения потребителя в течение 0,98-0,99 года, что характерно для высоконадежных систем.

При этом нормальный уровень качества функционирования должен сохраняться при нахождении объекта в подмножестве E_1 так же, как в подмножестве E_0 . При нахождении в подмножестве E_0 нормальный уровень качества функционирования обеспечивается существующей методикой проектирования СПРВ и выполнением требований действующего СНиПа. Поддержание нормального уровня качества функционирования при нахождении объекта в подмножестве E_1 может быть достигнуто для ряда состояний только с использованием специальных резервных возможностей. Эти резервные возможности должны быть заложены в систему в процессе проектирования и далее в период эксплуатации использоваться во время выключения неисправного участка. Резервные ресурсы объекта, с одной стороны, не должны допускать очень глубоких отклонений в работе системы от нормальных условий в период отключения участка, с другой стороны, они должны быть способны компенсировать эти ухудшения в работе СПРВ.

В процессе расчета надежности кольцевой водопроводной сети не исключено, что некоторые состояния из подмножества E_1 для нормального обеспечения потребителя водой потребуют создания дорогостоящих сооружений и устройств. В таком случае целесообразно рассмотреть возможность отнесения времени пребывания системы в этом состоянии к периоду T_c или T_a .

Известно, что резервирование создается избыточностью того или иного рода. Цель резервирования - обеспечить отказоустойчивость водопроводной системы, т.е. сохранить ее работоспособность, когда возникает отказ (одного участка длиной в 1 км на 50 км трубопроводной сети).

В связи с тем, что в период выключения некоторых участков гидравлическое сопротивление сети возрастает, необходимо предусмотреть возможность подачи воды под несколько большим напором, чем при режиме нормального функционирования (обеспечить так называемый форсированный режим работы) для поддержания в ней требуемых свободных напоров.

5.6. РЕЗЕРВИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Известно, что характеристика $Q-H$ центробежного насоса выражается кривой, близкой к параболе, и с уменьшением количества подаваемой воды происходит возрастание напора. В ряде случаев заданную величину подачи воды насосной станцией (Q) можно обеспечить несколькими вариантами, меняя количество работающих агрегатов. Если кроме рабочих агрегатов, которые обычно подают воду в период максимального водопотребления, обеспечивая нормальный режим эксплуатации, в работу будут включены и дополнительные агрегаты (создавая тем самым так называемый форсированный режим работы), подача Q может осуществляться под большим напором, так как количество воды, подаваемое каждым агрегатом, уменьшается. Этот способ повышения напора в системе может быть эффективно использован, если при нормальных режимах эксплуатации насосной станции подача воды осуществляется при нахождении рабочей точки в пониженной части рекомендуемой области кривой $Q-H$.

Из табл. 5.6 следует, что при постоянной подаче и увеличении количества функционирующих агрегатов (за счет включения в работу одного дополнительного) происходит уменьшение подачи воды каждым насосом от 17 до 33 %.

Использование форсированного режима работы насосной станции позволяет увеличить ее напор против нормального режима на 5-12 м.

В зависимости от конкретных условий форсированный режим по-разному может быть использован для повышения надежности водоснабжения. Во многих случаях решение может быть найдено только в процессе моделирования работы системы с учетом эксплуатации насосной (насосных) станции в форсированном режиме.

Таблица 5.6

Характеристика режимов работы насосов

Нормальный режим эксплуатации		Форсированный режим эксплуатации		Уменьшение подачи воды одним насосом при форсированном режиме, %
количество работающих насосов	подача воды одним насосом	количество работающих насосов	подача воды одним насосом	
2	$1/2 Q$	3	$1/3 Q$	33
3	$1/3 Q$	4	$1/4 Q$	25
4	$1/4 Q$	5	$1/5 Q$	20

В настоящее время СНиПом 2.04.02-84* и существующей методикой проектирования резерв насосного оборудования предусматривается для замены находящихся в ремонте рабочих агрегатов (ремонтный резерв). Для создания дополнительного напора необходимо предусмотреть установку на насосных станциях специальных насосов, которые образуют оперативный резерв, который предназначен для компенсации небаланса между подачей воды и ее потреблением, возникающего по причине непредвиденного снижения подачи, а также на случай непредвиденного увеличения потребления.

Наряду с включением на насосной станции дополнительных агрегатов и переводом их рабочих точек в область работы с повышенными напорами, для создания при форсированном режиме необходимой величины напора можно рекомендовать также следующие методы:

- создание в емкостях резервного запаса воды для подачи ее в сеть при форсированном режиме в период максимального водопотребления;
- использование в зонных системах водоснабжения возможности подачи воды при необходимом напоре из зон, размещенных на повышенных отметках, в нижерасположенные.

Каким образом резервные возможности будут реализованы в объекте, в значительной степени зависит от творческого подхода проектантов, и дать исчерпывающий перечень методов и приемов, пригодных для всевозможных СПРВ, затруднительно.

Для обеспечения подачи насосными станциями требуемых расходов и напоров в течение определенного периода времени рекомендуется:

- резервирование;
- выбор схем коммуникаций, типа насосов;
- изменения режима обслуживания;
- другие решения, направленные на повышение надежности.

Применяемые при проектировании насосных станций способы резервирования можно классифицировать по методу создания избыточности на:

- структурный;
- функциональный;
- временной;
- и т.п.

Структурный метод резервирования предусматривает использование на станциях избыточных элементов. Он получил широкое распространение в практике проектирования насосных станций. Примером является установка на станциях резервных насосов, разделительных задвижек, дублирование водоводов и т.д.

Основной характеристикой структурного резерва является кратность. Если на насосной станции I категории надежности установлено 4 рабочих насоса, то по СНиПу 2.04.02-84* должно быть два резервных агрегата, т.е. $m = 2/4$.

Виды структурного резервирования на станциях могут различаться не только по кратности, но и по другим признакам. Так, например, по числу элементов станции, которые резервируются одновременно, можно выделить общее и отдельное резервирование. При общем резервировании резервируемым элементом является объект в целом, а при отдельном - резервируемыми являются отдельные элементы объекта или их группы. Примером общего резервирования является система подачи воды на Конаковскую ГРЭС - одну из крупнейших тепловых электростанций страны. Там каждый насос оборудован самостоятельным всасывающим и напорным трубопроводами и подает воду на определенный, только для него выделенный парогенератор, т.е. резервируется вся технологическая линия приготовления пара и электроэнергии. Пример отдельного резервирования - принцип резервирования насосных агрегатов на насосной станции.

Другим, не менее важным признаком является степень участия резервных элементов в работе станции. По нему можно выделить три вида структурного резерва:

- нагруженный (постоянный);
- ненагруженный (заменяющий);
- облегченный.

Нагруженный резерв характерен для запорно-регулирующей арматуры всасывающих и напорных трубопроводов, т.е. он используется в тех случаях, когда резервные элементы участвуют в обеспечении работы станции наравне с основными.

Примером ненагруженного резерва может служить применение насосного оборудования, которое практически не работает до отказа основных агрегатов. Облегченный резерв используется на станциях, где резервные агрегаты работают в более легком, чем основные, режиме, например при ступенчатой работе насосной станции - агрегаты II и III ступени.

Функциональный метод резервирования предусматривает создание условий на станции, обеспечивающих взаимозаменяемость оборудования различного назначения. Он часто используется при проектировании станций. При подборе хозяйственно-питьевых, противопожарных и других насосов учитывается возможность выполнения ими дополнительных функций, например, дублирование друг друга, обеспечение дополнительных напоров при авариях на водоводах, в сети и т.п., что позволяет создать функциональный резерв.

Уровень функционального резерва также оценивается кратностью. Для функционального метода резервирования характерны такие виды, как отдельный при ненагруженном или облегченном режиме эксплуатации.

Временный метод резервирования предусматривает использование резерва для продолжительности работы станции в течение суток. Он может создаваться, например, путем применения насосов с производительностью, превышающей суточную. Этот метод используется в условиях, позволяющих применять в системах регулирующие емкости.

Повышение надежности работы насосных станций резервированием, как и улучшение прочих показателей их работы связано с оценкой эффективности резервирования посредством вероятностных показателей. Каждое состояние насосной станции (исправное или неисправное с тем или иным неисправным элементом) характеризуется определенной производительностью (Q) и напором (H). Зная частоту отказов отдельных узлов и элементов насосной станции (λ) и время их восстановления (μ), можно определить финальные вероятности или среднее время нахождения насосной станции в том или ином состоянии.

Если известны минимальные требования к производительности насосной станции и ее напору, то все возможные состояния можно подразделить на подмножество, состояния которого соответствуют или выше этих требований, и подмножество, состояния которого характеризуются Q и H ниже минимально требуемых. Далее определить, сколько времени в течение года насосная станция будет пребывать в каждом из этих подмножеств и таким образом определить надежность функционирования насосной станции.

5.7. НАДЕЖНОСТЬ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И СТАНЦИЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Водоприемные сооружения играют важную роль в обеспечении нормального и бесперебойного функционирования системы подачи воды. Станции очистки воды выполняют ответственную функцию исправления качества воды природных источников в соответствии со специфическими требованиями снабжаемых объектов.

Следует отметить, что в настоящее время статистические сведения об отказах этих сооружений, их основных элементов и оборудования весьма скудны, носят эпизодический характер и не дают достаточных данных для численной вероятностной оценки их надежности. Поэтому указания по обеспечению и оценке надежности водоприемных сооружений и очистных станций, приводимых в СНиПах и других действующих нормативных документах, не подкреплены соответствующими надежностными расчетами и основаны на интуиции и здравом смысле.

Водоприемные сооружения из поверхностных источников

Методы оценки надежности (обеспеченности) природных источников изложены в литературе по гидрологии для поверхностных источников и гидрогеологии - для подземных. Природные источники воды, хотя и не входят в состав систем водоснабжения, являются важнейшей из внешних (ассоциированных) систем, от которой в значительной степени зависит успешное выполнение функций водоснабжения обслуживаемого объекта. Отказ источника может повлечь полное нарушение функций водообеспечения, т.е. представляет наиболее серьезную опасность, чем все возможные отказы элементов самой системы водоснабжения.

Под отказом источника водоснабжения понимается наступление такого его состояния, в котором он не имеет возможность обеспечить получение из него воды вообще или в требуемом количестве и требуемого качества. Это может произойти в результате недопустимого снижения его дебита, повышения или снижения уровня воды, что может вызвать затопление водоприемных устройств или невозможность всасывания воды насосами. Непредвиденное и резкое ухудшение качества воды источника, например, в результате катастрофического сброса загрязненных сточных вод, может также вызвать нарушение водообеспечения.

Надежностная оценка намеченного к использованию источника является задачей первостепенной важности. В определении надежностных характеристик природных водоемов заинтересованы (кроме водоснабжения) многие области народного хозяйства: гидроэнергетика, водный транспорт, орошение, дорожное и мостовое строительство, ряд отраслей промышленности и городского хозяйства.

Наблюдения за режимом и состоянием поверхностных водоемов осуществляется, в основном, органами Главного управления гидрометеорологической службы, им разработаны методики обработки получаемых статистических данных о водоемах и вычисления надежностных характеристик источника.

В СНиПе 2.04.02-84* дана обеспеченность расчетных уровней воды в поверхностных источниках в % в зависимости от категории водозабора.

Большинство водоприемных сооружений представляет собой комплекс нескольких разнородных по своим технологическим функциям устройств, тесно связанных в совместной работе. Известно, что основные типы речных водоприемных сооружений - береговой и русловой водозаборы устраиваются объединенными с насосными станциями I подъема или располагаются в непосредственной близости с водозаборами, образуя единый узел сооружений.

В обоих типах водозаборов предусматривается несколько (не менее двух) независимых путей подачи воды из реки к насосам.

Нарушения нормального функционирования названных типов водоприемных сооружений могут быть вызваны:

- засорением решеток (берегового колодца или оголовка);
- обледенением решетки или их закупорка шугой;
- недопустимым отложением наносов в месте отбора воды;
- засорением или повреждением самотечных линий;
- повреждением и разрушением сооружений в результате ледохода, давления льда, ударов судов, плотов и т.п., а также в результате оползневых явлений, прекращением подачи электроэнергии к насосам, двигателям, сеткам и т.п.

Засорение решеток может привести к серьезным нарушениям работы сооружения в периоды, когда их очистка не может быть осуществлена, а именно - при высоких горизонтах воды в реке. В таких случаях решетки, особенно в оголовках, могут оказаться недоступными для очистки.

Для работы в условиях глубинного льдообразования (шуги и обмерзания решеток) в водоемах с тяжелым ледовым режимом водоприемные сооружения устанавливаются в водоприемных ковшах, где обеспечивается всплывание шуги и быстрое образование ледового покрова, что предотвращает и глубинное льдообразование. Ковши весьма эффективно используются для осаждения взвеси.

Для предотвращения засорения сеток в тяжелых природных условиях предусматривается их постоянная механизированная промывка. Самотечные линии подвергаются периодической промывке различными способами, обычно с использованием резервного оборудования насосов первого подъема.

Оползневые явления могут иметь катастрофические последствия для водоприемных сооружений и привести к их серьезным разрушениям. Поэтому выбор места для этих сооружений производится только после тщательных исследований по выявлению вероятности оползней.

Схема водозаборного сооружения принимается в зависимости от природных условий (легкие, средние и тяжелые), вида водоприемного устройства (береговые, затопленные и нестационарные) и категории надежности (I, II и III). При самых неблагоприятных условиях (тяжелые природные условия, затопленные водоприемные устройства и I категория надежности) принимается схема «в» - в двух створах, удаленных на расстояние, исключающее возможность одновременного перерыва забора воды.

Водозаборные сооружения для приема подземных вод

В основу проектирования сооружений для приема подземных вод должны быть приняты сведения о запасах этих вод, которые базируются на степени их изученности. Для больших водозаборов, сооружение которых связано со значительными затратами, эти запасы должны быть утверждены Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых при Правительстве РФ или соответствующим органом.

В процессе эксплуатации скважин и колодцев несоответствие их дебита требуемому обнаруживается по нарастающему понижению уровня воды в них.

Действующими нормативами регламентируется количество резервных скважин в зависимости от количества рабочих скважин. Схемы сборных водоводов, в частности, диктуются категорией надежности подачи воды и могут быть наряду с тупиковыми, также кольцевыми с целью повышения надежности.

Станция очистки воды

В соответствии с тем, что функцией системы водоснабжения является обеспечение потребителей водой в требуемых количествах и требуемого качества, нарушения нор-

мальной работы системы могут заключаться не только в перерывах или снижении подачи воды, но и в недопустимом снижении качества подаваемой воды.

Качество воды, подаваемой в системы водоснабжения населенных мест, регламентируется СанПиНом 2.1.4.1074.01, качество воды, используемой для различных технологических процессов, устанавливается технологами.

Станция очистки воды представляет собой в большинстве случаев сложный комплекс различных сооружений. Отказ станции из-за недопустимого снижения количества подаваемой воды имеет весьма малую вероятность благодаря большому числу параллельно работающих однотипных сооружений. В соответствии с нормативными указаниями, станции очистки воды и водоподготовки должны рассчитываться на равномерную работу в течение суток при возможности отключения отдельных сооружений для профилактического осмотра, чистки, текущего и капитального ремонтов. Коммуникации станции водоподготовки надлежит рассчитывать на возможность пропуска расхода воды на 20-30% больше расчетного. Таким образом, предполагается, что станция работает постоянно в несколько облегченном режиме и выход из работы определенной части параллельно включенных сооружений не приводит к снижению качества ее функционирования. При этом остающиеся сооружения могут в это время обеспечивать требуемое (или сниженное в пределах допустимого) количество подаваемой воды без ухудшения ее качества.

Нормы предусматривают наличие резервных отстойников и фильтров. Так, при наличии на станции менее 6-ти отстойников или осветлителей требуется иметь один резервный, а на станциях с количеством фильтров до 20 следует предусматривать возможность выключения на ремонт одного фильтра, при большем количестве - двух фильтров.

При общем числе отстойников более шести нагрузка станции при выключении одного отстойника будет увеличиваться не более чем в 1,2 раза. Форсирование работы фильтров, т.е. увеличение скорости фильтрации при выключении отдельных фильтров допускается на 10-12% выше нормальной эксплуатационной скорости, но не выше чем на 20%. Превышение этой скорости может привести к недопустимому снижению качества обрабатываемой воды и, следовательно, к нарушению нормального функционирования станции очистки воды.

Для повышения надежности нормального функционирования очистных станций дублируются все вспомогательные установки: смесители, дозаторы, оборудование для промывки фильтров, а также линии коммуникации и основные измерительные приборы. Отдельные сооружения (установки) очистных станций соединены параллельно и последовательно, их соединительные коммуникации позволяют осуществить обход отказавших элементов.

Следует отметить, что серьезные нарушения нормальной работы очистных станций могут происходить также в результате таких внешних причин, как нарушение подачи электроэнергии (для насосов, для ряда механизмов с электродвигателями), а также перебоев в своевременном и полноценном снабжении станции необходимыми реагентами.

6. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСЧЕТЫ

6.1. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Гидрологические изыскательские работы, проводимые на стадии предпроектирования выполняются в соответствии с указаниями СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства». Их необходимый объем во многом зависит от ранее выполненных гидрологических наблюдений.

При наличии в створе проектируемых сооружений данных многолетних наблюдений за стоком, уровнями воды, ледовым режимом, твердым стоком, изыскательские работы сводятся к сбору изыскательских материалов прошлых лет, обследованию водотока и описанию русловых процессов и ледового режима. На озерах и водохранилищах анализируются наблюдения за ветровым воздействием, вызывающим денивеляцию и сейши.

В результате наблюдений и обследования необходимо осветить следующие вопросы:

- описание морфометрических характеристик долины, поймы, русла рек;
- исследование общего водного режима водотока по литературным данным.

В результате изысканий должны быть установлены: возможность пересыхания и перемерзания реки или озера; условия и сроки прохождения половодий и паводков; наивысшие и наименьшие уровни воды по опросу местных жителей; поперечное сечение реки до незатопляемых отметок для рек и кривые объемов и площадей при различных уровнях воды для озер и водохранилищ; измеренные расходы воды и уклоны водной поверхности при фиксированных на момент изысканий уровнях; описание ледового режима реки: осенние ледовые явления, максимальная толщина льда, весенние ледовые явления.

Имея в виду, что речные русла являются самыми изменчивыми элементами природного ландшафта земли, при проектировании водозаборов важно исследовать район проектируемого сооружения. Если не учитывать закономерности русловых процессов, водозаборное сооружение может быть либо занесено через некоторое время наносами, либо водозабор может оказаться в плановом положении вне русла, когда идет интенсивный процесс его смещения в плане.

Изменение морфологического строения русла под действием движущегося потока может привести к образованию *микроформ* (мелких песчаных гряд, расположенных по всему дну потока и воспринимаемых как шероховатость русла), *мезоформ* (крупных грядобразных скоплений, размеры которых соизмеримы с шириной русла) и *макроформ* (образований, охватывающих русло и пойму и определяющих в целом русловый процесс реки).

При выборе места расположения водозабора проектировщик должен предварительно определить тип русловых процессов на участках, примыкающих к водозабору. Различают *ограниченное* и *свободное* меандрирование русел. Первое из них заключается в сползании относительно слабобразвитых излучин вниз по течению, сохраняя при смещении формы и размеры.

Свободное меандрирование наблюдается при отсутствии ограничений в плановых деформациях русло вначале образует слабо выраженные излучины, сползающие также как и при ограниченном меандрировании. В ходе сползания излучины интенсивно развиваются и становятся все более асимметричными.

При проектировании и эксплуатации водозаборных сооружений необходимо учитывать возможные последствия вмешательства человека в природную деятельность реки.

При наличии многолетних наблюдений в створе проектируемого водозабора задача установления расчетных уровней воды определенной вероятности превышения сводится к построению кривой обеспеченности и фиксации уровней воды расчетной вероятности превышения в зависимости от назначения водозабора.

При недостаточном периоде наблюдений необходимо осуществить проведение короткого ряда наблюдений к репрезентативному периоду и построить кривую обеспеченности.

Поскольку расчеты обеспеченных уровней воды невозможно проводить без изыскательских материалов в створе водозабора, то в процессе изысканий набираются максимальное количество наблюдавшихся в этом створе максимальных и минимальных уровней. По окружающим расчетный створ водомерным постам производится оценка вероятности превышения заниженных уровней известных лет и для этой обеспеченности вычисляются расходы воды.

Уровненный режим озера (водохранилища) отличается от режима рек меньшей изменчивостью амплитуды, абсолютной величиной амплитуды и зависит от приточности к водоему. Суждение об обеспеченных уровнях воды озер, водохранилищ может быть получено на основании водного баланса водоема и батиграфической кривой, выражающей связь между площадью водоема и его глубиной. Для получения зависимости площади водоема от глубины необходимо выполнить промерные работы в период проведения изысканий и топографическую съемку ложа водоема до незатопляемых отметок. На основании обеспеченных величин уравнения водного баланса и кривой объемов водоема от уровня воды определяется обеспеченный уровень воды озера или водохранилища.

При большой площади и плоской форме озерного ложа и малых глубинах за счет фронта разгона ветровой волны с наветренной стороны образуется нагон, называемый *денивелицией*. Чем больше акватория водоема, тем больше степень проявления воздействия ветра на поверхностные слои воды за счет чего они увлекаются в направлении движения воздушного потока. Величина денивелиционного искажения уровня воды, как и других гидрологических характеристик, точнее всего определяется наблюдениями в створе водозабора.

Оценка высоты ветрового нагона принимается по натурным наблюдениям. При их отсутствии рекомендуется формула:

$$\Delta h = 2 \cdot 10^{-6} \frac{u^2 L}{gH} \cos \alpha, \text{ м} \quad (6.1)$$

где u – расчетная скорость ветра на высоте 10 м над уровнем воды, м/с; L – протяженность охваченной ветром акватории, определяется по плану водоема, м; H – средняя глубина водоема на рассматриваемом участке, определяется по профилю, м; α – угол между продольной осью водоема и направлением ветра, определяемый по плану в градусах.

При отсутствии наблюдений для ориентировочного определения высоты волны можно воспользоваться эмпирическими зависимостями, например, В.Г. Андреенова:

$$h = 0,0208\omega^{5/4} D^{1/3}, \text{ м} \quad (6.2)$$

где ω - расчетная скорость ветра на высоте флюгера ближайшей к аодоему метеорологической станции а м/с; D - длина наибольшего пробега ветра над водной поверхностью (длина разгона аолны) а км.

Формула применима для глубоководных водоемов и длине разгона не более 30 км.

Колебания асей массы воды водоема без распространения аолны на поаерхности (*сейши*) создают уклон то а одну, то в другую сторону и периодически изменяются уровни воды. Причиной возникноаения сейшей являются метеорологические факторы. В качестве такоаых могут аыступать резкие изменения атмосферного давления в различных частях аодоема, резкие скачки скорости и направления ветра, возникающего при прохождении циклоноа и др. В простейшем случае для водоема постоянной глубины соотношение между элементами сейшеаого волнения можно выразить формулой Мериана при длине водоема L и глубине H :

$$\tau = \frac{2L}{(gH)^{0,5}} = 0,645 \frac{L}{H^{0,5}}, \text{ с} \quad (6.3)$$

где τ - период сейши, с; L - длина водоема, м; H - глубина аодоема, м.

В летний период, когда теплоаой баланс приземных слоев атмосферы и водных масс положительный, максимальная температура воды а аодоемах и реках на саободной поверхности. Такое распределение температуры по вертикали принято называть прямой температурной стратификацией. В зимний период года, при установлении ледяного покрова у поверхности аоды наблюдаются более низкие температуры. А у дна, благодаря теплообмену с ложем водоемов и отсутствием лучистого теплообмена, устанавлиааются несколько большие температуры, не превышающие 4°C.

Поаерхность воды, охлажденная до 0°C, а также продолжающаяся в осенне-зимний период отдача тепла с водной поверхности, на водоемах и реках образуются ледовые явления, подразделяющиеся на осенний ледоход, ледостаа и аесеннее вскрытие реки.

Рост кристаллов льда и их соединение в общую массу приводит к образованию *внутриводного льда*, разнотаидностью которой является *донный лед* и *шуга*.

Для формироаания внутриаодного льда необходимо переохлаждение воды при переходе к зимнему периоду, наличие центров кристаллизации и интенсивное перемешивание водной массы.

Шуга даижется по поверхности аоды при скорости 0,7-0,8 м/с. При скорости 1,2-1,8 м/с она может заносится до полоаины глубины, а при скорости более 3 м/с - распределяться по всему жиаому сечению.

Для расчета количества шуги применима формула В.М. Потапова:

$$m = \frac{Q_{ш}}{Q_{воды}}, \text{ где } m = \frac{1}{2}(32 + 4,3t + 0,1 \cdot t^2) \quad (6.4)$$

где m - количестао шуги, кг/м³; $Q_{ш}$ - расход шуги, кг/с; $Q_{воды}$ - расход воды, м³/с; t - температура воды, С.

Для озер и водохранилищ, где теплообмен замедлен, количество шуги вычисляется по формуле:

$$m = \frac{SF}{L_n}, \quad (6.5)$$

где S – теплообмен с единицы водной поверхности кал/(см² · с); F – площадь водоема; L_n – теплота льдообразования.

С установлением ледяного покрова его толщина изменяется как по времени, так и по площади, или длине водотока. Изменение толщины льда происходит, в основном, из-за метеорологических факторов, причем нарастание льда происходит как снизу за счет примерзания шуги и теплоотдачи в атмосферу, так и сверху за счет намерзания мокрого снега.

Для оценки толщины льда в эмпирических формулах чаще всего используется сумма отрицательных температур. Механическое воздействие вскрытия ледяного покрова происходит за счет подъема уровней воды и, соответственно, скорости течения. На озерах и реках излом льда может происходить под влиянием ветра. С вскрытием рек на крутых поворотах русла, в разветвлениях реки на рукава, при сужении русла, в местах резкого изменения уклона реки возможно образование заторов.

6.2. РАСЧЁТ ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА ПРИ НАЛИЧИИ НАБЛЮДЕНИЙ

Установление внутригодичного распределения стока на водотоке, который планируется использовать для целей водоснабжения, включает в себя:

- расчет среднего годового стока расчетной обеспеченности;
- расчет среднемесячных расходов и месячных объемов воды в расчетном створе в год заданной обеспеченности.

Средняя многолетняя величина (норма) годового стока (Q_0) при наличии данных длительных измерений в проектном створе рассчитывается как

$$Q_0 = \frac{(Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (6.6)$$

где Q_i – средний годовой расход; n – число лет измерений расходов воды.

Определение годового стока различной расчетной обеспеченности при наличии данных гидрометрических измерений рекомендуется производить по кривым обеспеченности – интегральным кривым, показывающим **обеспеченность** – вероятность того, что варьирующая величина (среднегодовой расход воды в проектном створе) в выборке будет иметь значение, равное заданному, или больше его.

Эмпирические кривые обеспеченности годового стока строятся по обеспеченности (P , %) эмпирических точек для каждого члена величин годового стока по формуле

$$P_x = (m - 0,3) \cdot 100 / (n + 0,4), \quad \% \quad (6.7)$$

где m – порядковый номер члена ряда величин стока, расположенных в убывающем порядке; n – общее число членов ряда.

Затем определяются *статистические параметры* ряда годового стока:

1. Коэффициент вариации - безразмерная характеристика рассеивания случайных величин, рассчитываемая не по значениям случайных величин, а по их модульным коэффициентам k_i

$$C_v = \sqrt{\sum_n \frac{(k_i - 1)^2}{n - 1}}. \quad (6.8)$$

2. Коэффициент асимметрии - безразмерный статистический параметр, характеризующий степень несимметричности кривой распределения вероятностей (обеспеченности), рассчитываемый по формуле

$$C_s = \frac{\sum (k_i - 1)^3}{nC_v^3}. \quad (6.9)$$

3. Ошибка средней арифметической определяется по формуле:

$$\epsilon_{Q_0} = \frac{C_v}{\sqrt{n}}, \quad (6.10)$$

где ϵ_{Q_0} - ошибка средней (нормы стока); C_v - коэффициент вариации; n - количество членов ряда.

4. Ошибка коэффициента вариации ϵ_{C_v} определяется по формуле

$$\epsilon_{C_v} = \pm \frac{C_v}{2n} \cdot 100\%. \quad (6.11)$$

При $\epsilon_{Q_0} < 510\%$ и $\epsilon_{C_v} < 1015\%$ эмпирический ряд годовых расходов считают *репрезентативным*, т.е. достаточным.

По вычисленному значению C_s определяют нормированные отклонения от среднего значения ординат биномиальной кривой обеспеченности Φ_p . Поскольку эти отклонения пропорциональны C_v , то для получения абсолютных отклонений все величины Φ_p следует умножить на C_v . Произведения $\Phi_p \times C_v$ представляют собой отклонения ординат кривой обеспеченности от среднего значения ряда. Ординаты кривой обеспеченности K_p получают путем прибавления 1 к $\Phi_p \times C_v$, т.к. среднее значение модульного коэффициента $K = 1$, т.е.

$$K_p = \Phi_p \cdot C_v + 1. \quad (6.12)$$

Среднегодовые расходы *различной вероятности превышения* получают как

$$Q_p = Q_0 \cdot K_p = Q_0 \cdot (\Phi \cdot C_v + 1), \quad \text{м}^3/\text{с} \quad (6.13)$$

При $\epsilon_{Q_0} > 10\%$ и $\epsilon_{C_v} < 15\%$ мы имеем дело с недостаточным объемом выборки. В таких случаях прибегают к методу гидрологической аналогии. Река-аналог выбирается по следующим критериям:

- сходство климатических характеристик;
- синхронность колебаний стока во времени;
- однородность рельефа, почвогрунтов, гидрогеологических условий;
- близкая степень покрытости водосбора лесами и болотами;
- соотношение площадей водосборов, которые не должны отличаться более чем в 5 раз;

5 раз;

- отсутствию факторов, искажающих сток (регулирование и пр.).

Фактически задача при коротком ряде наблюдений сводится к приведению параметров эмпирического распределения вероятностей превышения годовых расходов в проектном створе к многолетнему периоду. Приведения рядов к многолетию осуществляют графическим или графо-аналитическим методами.

Графический метод применяется, главным образом, для определения среднего многолетнего значения расхода Q_0 или модуля стока M_0 в расчетном (проектном) створе.

При наличии не менее шести значений годовых расходов за период одновременных наблюдений расчетного створа и створа-аналога строится график связи (рис. 6.1). На график можно наносить соответственные расходы и за более короткие периоды - сезон, месяц и т.п.

График строят в виде прямой линии, осредняющей поток точек. Заанисимости считаются удовлетворительными, если отклонения большей части точек от этой линии не превышают 15%. Зная норму стока реки-аналога, определяют норму стока изучаемой реки.

Пример

Средний многолетний модуль стока в створе реки-аналога р.Москва -г. Звенигород составляет $M_0 = 6,78$ л/с. км². По графику связи среднегодовых модулей стока р. Москвы у г. Звенигород и л.Перерва находим искомый модуль стока, равный $M_u = 6,3$ л/с. км².

Среднемноголетний расход, учитывая площадь водосбора на створ л.Перерва равную $F = 5000$ км², определяем как

$$Q_0 = \frac{M_0 \cdot F}{1000} = \frac{6,3 \cdot 5000}{1000} = 31,5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

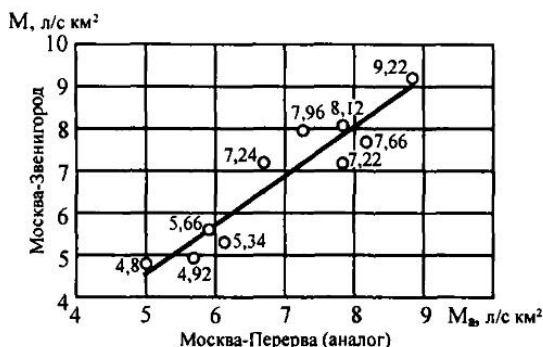


Рис. 6.1. График связи среднегодовых модулей стока – р. Москва, г. Звенигород (изучаемый бассейн) и р. Москва, п. Перерва (аналог)

Коэффициент изменчивости годового стока вычисляем по формуле

$$C_v = \frac{A \cdot M_{0a}}{M_0 \cdot C_{va}}, \quad (6.14)$$

где C_v - коэффициент изменчивости стока в расчетном створе; C_{va} - коэффициент изменчивости стока в створе реки-аналога; M_{0a} - среднегодовая величина годового стока реки-аналога; A - тангенс угла наклона графика связи.

В рассматриваемом примере

$$C_v = 1 \cdot (6,78/6,3) \cdot 0,24 = 0,26$$

Окончательно принимаем: $Q_0 = 31,5 \text{ м}^3/\text{с}$; $M_0 = 6,3 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$; $C_v = 0,26$; $W = 998 \text{ млн.м}^3$.

Графо-аналитический метод приведения статистических параметров кривых обеспеченности годового стока Q_0 ; C_v ; C_r с использованием корреляционной зависимости применяется при условиях:

1) амплитуда колебания годового стока реки-аналога должна быть освещена параллельными наблюдениями не менее чем на 70-80%;

2) период одновременных наблюдений должен быть не менее 10-15 лет;

3) теснота корреляционной связи определяется значением коэффициента корреляции $r > 0,80$.

Удлинение короткого фактического ряда (10-15 лет) по более длинному ряду-аналогу или совокупности рядов-аналогов осуществляется с помощью уравнения линейной регрессии (при линейной корреляционной связи между соответствующими членами короткого и длинного рядов).

При использовании одного аналога и наличии между рассматриваемыми рядами тесной линейной корреляционной связи ($r > 0,8$) удлинение ряда производится по уравнению, которое для каждого восстанавливаемого года имеет вид:

$$M_0 = M_n + r \cdot (\sigma_n / \sigma_{na}) \cdot (M_{0a} - M_{na}), \quad (6.15)$$

где M_0 и M_{0a} - модуль стока в л/с.км² (минимальный, меженный или сезонный) соответственно короткого ряда и ряда-аналога для восстанавливаемого года; M_n , M_{na} - средние многолетние (минимальные, меженные или сезонные) модули стока (л/с.км²) соответственно короткого и длинного рядов, определенные за одновременный период наблюдений, r - коэффициент корреляции между значениями низкого стока за совместный период наблюдений, рассчитываемый по уравнению:

$$r = \frac{\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n (M_0 - M_{0n}) \cdot (M_{0a} - M_{na}) \right)}{\sigma_n \cdot \sigma_{na}}, \quad (6.16)$$

где n - число лет совместных наблюдений; σ_n и σ_{na} - средние квадратические отклонения рассматриваемых характеристик низкого стока, определяемые по уравнению:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum (M_o - M_n)^2}{n-1}}; \quad (6.17)$$

$$\sigma_{na} = \sqrt{\frac{\sum (M_{oa} - M_{na})^2}{n-1}}.$$

Ошибка нормы годового стока, полученная путем приведения короткого ряда наблюдений к многолетнему периоду по графикам связи состоит из ошибки средней величины многолетнего ряда наблюдений на реке-аналоге и ошибки корреляции, возникающей вследствие рассеивания точек на графике:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}, \quad (6.18)$$

где σ_1 – ошибка средней величины из длинного ряда наблюдений продолжительностью N лет, определяемая как

$$\sigma_1 = \pm \frac{C_v}{\sqrt{N}} \cdot 100\%, \quad (6.19)$$

σ_2 – ошибка корреляции стока за период совместных наблюдений, равная

$$\sigma_2 = \frac{C_{v2} \sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n}}, \quad (6.20)$$

где C_{v2} – коэффициент вариации стока в приводимом створе за период одновременных наблюдений; r – коэффициент корреляции связи годового стока в обоих створах; n – число лет одновременных наблюдений.

В случае, когда в данном физико-географическом районе нет ни одного опорного пункта с длинным рядом наблюдений за стоком, приведение короткого ряда к многолетней норме может быть выполнено по связи годового стока с метеорологическими данными – осадками, дефицитом влажности. Точность такой увязки получается ниже, чем при увязке стока двух бассейнов, расположенных в однородных физико-географических условиях.

При наличии данных многолетних наблюдений расчеты сводятся к поэтапному решению трех задач:

- а) выделению сезонов и расчету распределения стока по сезонам;
- б) расчету внутрисезонного распределения стока;
- в) расчету внутригодового распределения стока по месяцам.

При наличии данных гидрометрических наблюдений (не менее 10 лет) используется метод компановки распределения стока по периодам года, имеющего одинаковую вероятность (обеспеченность) превышения, равную по условиям водопользования обеспеченности гарантированной отдачи воды.

Расчет внутригодового распределения стока производится не за календарный год, а по водохозяйственным годам, т.е. год начинается с многоводного сезона. Сроки сезонов назначаются едиными для всех лет ряда с округлением их до целого месяца.

В зависимости от физико-географического района и типа водного режима выделяются три сезона (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Характеристика сезонов для рек с различным водным режимом

Тип режима	Сезон		
Весеннее половодье	весна	лето-осень	зима
Летнее половодье	лето	осень-зима	весна
Весенне-летнее половодье	весна-лето	осень	зима

Продолжительность многоводного сезона назначается с учетом раннего и позднего сроков наступления половодья. В зависимости от соотношения в разные сезоны года расходов речного стока и его хозяйственного использования определяются лимитирующие периоды и сезоны.

Лимитирующий период включает два относительно многоводных или маловодных сезона.

Лимитирующий сезон - наиболее неблагоприятный с точки зрения хозяйственного использования - входит в качестве составляющей в лимитирующий период.

При хозяйственно-питьевом водоснабжении лимитирующими периодами и сезонами являются маловодные периоды. При проектировании отвода избыточных вод для борьбы с наводнениями или при осушении лимитирующим периодом и сезонами внутри него являются многоводные периоды.

Выделение соответствующих периодов и сезонов возможно с помощью построенного характерного гидрографа стока для изученного расчетного створа (рис. 6.2).

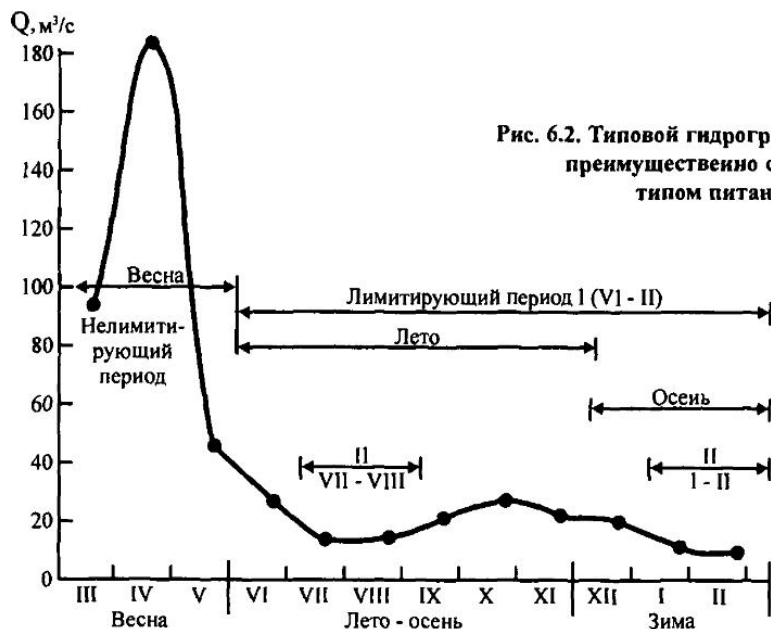


Рис. 6.2. Типовой гидрограф стока реки с преимущественно снеговым типом питания

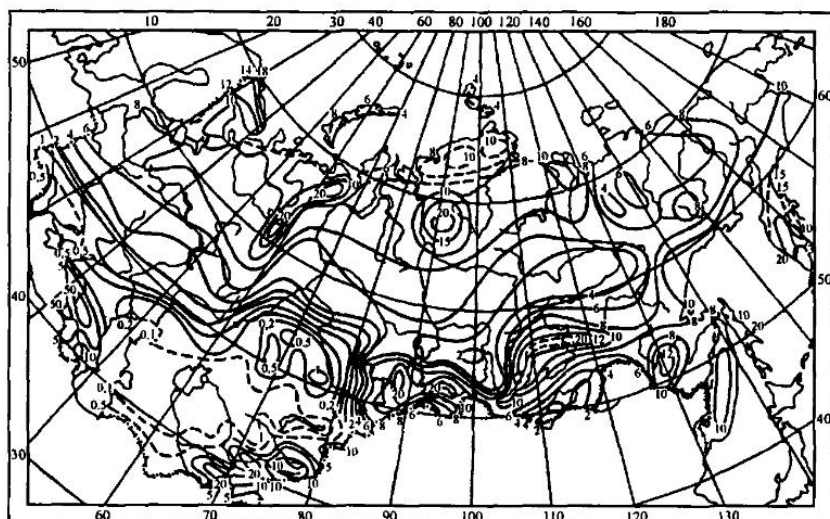
$$M_0 = \frac{m_1 f_1 + m_2 f_2 + m_3 f_3 \dots + m_n f_n}{F}, \text{ л/скм}^2 \quad (6.21)$$

где f_1, f_2, f_3, f_n - частные площади между соседними изолиниями; m_1, m_2, m_3, m_n - соответствующие им средние значения модуля стока; F - вся площадь водосбора.

Сказанное выше относится к равнинным районам с небольшой амплитудой высот и для водотоков с полным дренированием осадков на водосборе.

Для горных районов характерна вертикальная поясность, на малых водосборах зачастую доминируют азональные факторы - факторы подстилающей поверхности и рельеф.

Поэтому к полученным тем или иным способом значениям среднемноголетнего стока (снятым с карты), вводятся необходимые в каждом конкретном случае поправки.



для рек с размерами водосборов одного порядка. Вместе с тем отмечено обратное влияние площади водосбора на величину C_v для рек одного и того же климатического района.

Таблица 6.1

Поправочные коэффициенты к карте стока на недостаток грунтового питания малых водотоков лесостепных и степных районов

Географическая зона водоема	Площадь водосбора, км ²					
	10	50	100	500	1000	2000
Западная половина ЕТС	0,7	0,9	0,95	1,00	-	-
Восточная половина ЕТС	0,5	0,75	0,85	0,9	1,0	-
Волыно-Подольская возвышенность	-	0,55	0,6	0,8	0,9	1,0
Донецкая и Приазовская возвышенности	-	-	0,7	0,9	0,95	1,0
Заволжье	0,25	0,4	0,45	0,7	0,85	1,0
Казахстан и Западная Сибирь	-	0,7	0,8	0,85	0,9	1,0
Минусинская и Тувинская котловины	-	0,7	0,8	0,85	0,9	1,00
Забайкалье	-	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Центрально-Якутская низменность	-	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0

Д.Л. Соколовским предложена следующая эмпирическая зависимость

$$C_v = a - 0,063 \cdot \lg(F + 1), \quad (6.22)$$

где a - числовой параметр (климатический), который определяется по карте изолиний в зависимости от географических координат (рис. 6.5), изменяется от 0,45 до 0,9; F - площадь водосбора на проектный створ реки, км².

Подобный вопрос решен С.Н. Крицким и М.Ф. Менкелем. Их формула имеет показательный вид

$$C_v = \frac{A}{F^{0,006}}. \quad (6.23C)$$

где F - площадь водосбора, км².

Параметр A также картируется или принимается равным 0,83.

Так как при вычислении C_v допускается значительная ошибка, то определение параметров кривой обеспеченности годового стока следует начинать для наиболее вероятного соотношения $C_v = 2C_p$. При этом следует учесть районные особенности территории по распределению вероятностей превышения рек-аналогов. Для определения ординат K_p в формулах (6.12) и (6.13) можно воспользоваться данными табл. 6.3.

Таблица 6.3

Ординаты кривых трехпараметрического гамма-распределения для $Cs/C_v = 2$

P, %	Ординаты K_p кривой гамма-распределения														
	При коэффициенте изменчивости C_v														
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
0,01	1,42	1,92	2,52	3,20	3,98	4,85	5,81	6,85	7,98	9,21	10,5	11,8	13,2	14,7	16,4
0,03	1,38	1,83	2,36	2,96	3,64	4,39	5,22	6,11	7,08	8,11	9,20	10,3	11,6	12,9	14,3
0,05	1,36	1,79	2,29	2,85	3,48	4,18	4,95	5,77	6,66	7,60	8,61	9,65	10,8	11,9	13,1
0,1	1,34	1,73	2,19	2,70	3,27	3,87	4,56	5,30	6,08	6,91	7,75	8,65	9,60	10,6	11,6
0,3	1,30	1,64	2,02	2,45	2,91	3,42	3,96	4,55	5,16	5,81	6,47	7,10	7,98	8,70	9,50
0,5	1,28	1,59	1,94	2,32	2,74	3,20	3,68	4,19	4,74	5,30	5,90	6,50	7,13	7,80	8,42
1	1,25	1,52	1,92	2,16	2,51	2,89	3,29	3,71	4,15	4,60	5,05	5,53	6,02	6,55	7,08
3	1,20	1,41	1,64	1,87	2,13	2,39	2,66	2,94	3,21	3,51	3,80	4,12	4,42	4,71	4,98
5	1,17	1,35	1,54	1,74	1,94	2,15	2,36	2,57	2,78	3,00	3,22	3,40	3,60	3,80	3,96
10	1,13	1,26	1,40	1,54	1,67	1,80	1,94	2,06	2,19	2,30	2,40	2,50	2,57	2,64	2,70
20	1,08	1,16	1,24	1,31	1,38	1,44	1,50	1,54	1,58	1,61	1,62	1,63	1,62	1,61	1,59
25	1,06	1,13	1,18	1,23	1,28	1,31	1,34	1,37	1,38	1,39	1,39	1,35	1,33	1,31	1,28
30	1,05	1,09	1,13	1,16	1,19	1,21	1,22	1,22	1,22	1,20	1,18	1,14	1,11	1,08	1,04
40	1,02	1,04	1,05	1,05	1,04	1,03	1,01	0,98	0,96	0,92	0,87	0,83	0,77	0,72	0,67
50	1,00	0,99	0,97	0,95	0,92	0,89	0,85	0,80	0,75	0,69	0,64	0,58	0,62	0,46	0,40
60	0,97	0,94	0,90	0,85	0,80	0,75	0,69	0,63	0,57	0,51	0,45	0,39	0,33	0,28	0,23
70	0,94	0,89	0,82	0,76	0,69	0,62	0,55	0,49	0,42	0,36	0,30	0,25	0,20	0,16	0,12
75	0,93	0,86	0,78	0,71	0,63	0,56	0,49	0,42	0,35	0,29	0,24	0,19	0,15	0,11	0,08
80	0,92	0,83	0,74	0,66	0,57	0,50	0,42	0,35	0,28	0,22	0,18	0,13	0,09	0,06	0,05
90	0,87	0,75	0,64	0,53	0,44	0,35	0,27	0,21	0,15	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01
95	0,84	0,70	0,56	0,45	0,34	0,26	0,18	0,12	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00
97	0,82	0,66	0,52	0,39	0,29	0,20	0,14	0,09	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
99	0,78	0,59	0,44	0,30	0,21	0,13	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

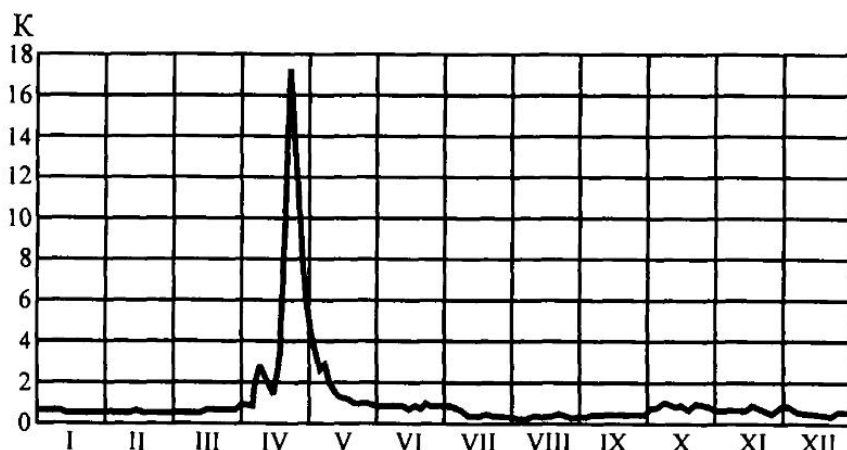


Рис. 6.5. Коэффициент изменчивости годового стока рек стран СНГ

6.4. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСЧЕТЫ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СТОКА

Естественное распределение речного стока на протяжении годового периода на наших реках крайне неравномерно. Большая часть стока проходит в период весенних паводков или дождевых паводков. В период межени расходы рек значительно уменьшаются (вплоть до полного пересыхания при малых водосборах и в южных регионах). Весьма неравномерно и многолетнее распределение стока.

Обеспеченность среднемесячных расходов (как правило, минимальных бытовых расходов $Q_{мин}$ - меженных (рис. 6.6), принимаемая в зависимости от категории системы водоснабжения, изменяется от 95% до 85% для I и III категории, соответственно.

При потенциальной опасности выхода ситуации за пределы расчетной обеспеченности возникает необходимость регулирования стока.

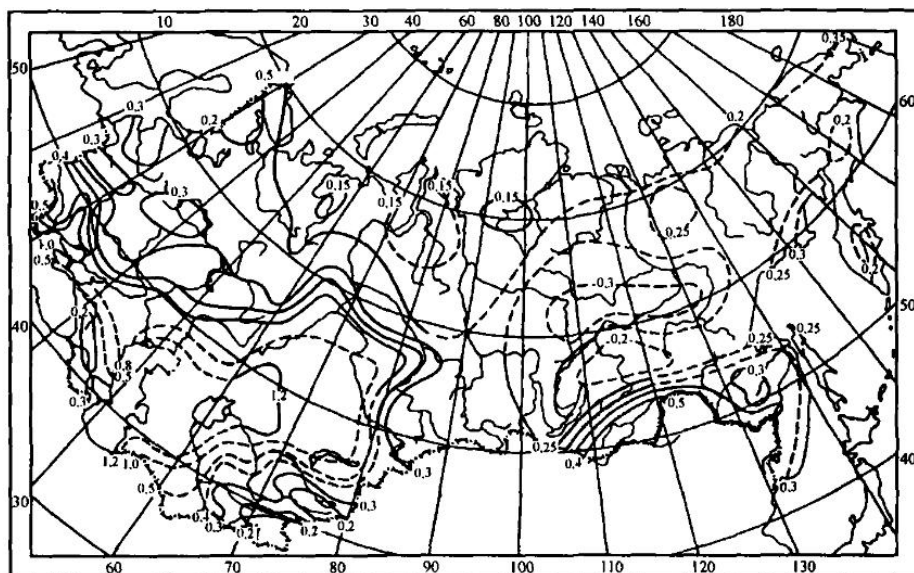


Рис. 6.6. Восточноевропейский подтип режима расходов (р. Волга – г. Калинин)

Под регулированием речного стока понимают мероприятия по искусственному перераспределению стока во времени путем создания регулирующих объемов, например, в виде прудов и водохранилищ.

Необходимость того или иного вида регулирования или отсутствие необходимости в таковом выясняют расчетом, исходя из следующих рассуждений.

1. Если минимальный бытовой расход $Q_{мин}$ соответствующего месяца года больше максимального потребления за этот период - $R_{макс}$, необходимость регулирования отпадает, т.к. потребленная отдача обеспечена бытовым стоком.

2. Если имеет место неравенство

$$Q_{мин} < R_{макс}, \quad (6.24)$$

то необходимо сезонное или многолетнее регулирование.

Достаточность сезонного регулирования определяется соотношением

$$\sum Q_{p\%} > U, \quad (6.25)$$

где $\sum Q_{p\%}$ - годовой объем стока в тыс. м³ заданной процентной обеспеченности P ;

U - полная отдача (или убыль) воды из водохранилища в тыс. м³ в год, при этом

$$U = mR,$$

где m - коэффициент потерь, колеблется в пределах 1,3-1,5; R - потребленная отдача водохранилища, тыс.м³ в год.

При наличии соотношения

$$\sum Q_{p\%} > U, \quad (6.26)$$

необходимо многолетнее регулирование, т.к. в данном случае для обеспечения водопотребления надо запастись водой за предыдущие многоводные годы.

По продолжительности периода регулирования можно различать следующие виды регулирования:

- а) суточное;
- б) недельное;
- в) краткосрочное непериодическое;
- г) сезонное (или годовичное);
- д) многолетнее;
- е) смешанное.

Объем водохранилища определяется местными условиями и нужно найти величины потребления, возможные при этом объеме.

Основными элементами водохозяйственного расчета являются:

- расчетный бытовой приток;
- полезное водопотребление;
- характеристики водохранилища;
- потери на испарение;
- потери на фильтрацию;
- характеристики заиливания.

Установление этих элементов – это большой комплекс полевых, камеральных и проектных работ, включающий, в зависимости от конкретной гидрологической обстановки следующие этапы:

- оценку топографических, гидрографических, геологических и гидрогеологических условий бассейна водотока и выбор места створа регулирующего сооружения;
- изучение водного режима водотока, учет влияния на этот режим вышерасположенных водопотребителей и водопользователей с целью оценки водных ресурсов и их характеристик;

- учет водопотребителей и водопользователей, режима водопотребления и водопользования;
- учет потерь воды на испарение и фильтрацию;
- сопоставление объема и режима притока с характером и объемом водопотребления;
- расчет нормативных уровней и объемов при регулировании стока;
- расчет регулирования паводочного стока, определение форсированных уровней и объемов, сбросных расходов и экономически наивыгоднейших размеров сбросных сооружений.

Конечной целью расчета является:

- 1) назначение характерных горизонтов водохранилища, определяющих размеры плотины;
- 2) установление режима работы водохранилища.

Основной размер плотины – ее высота – определяется после назначения характерных горизонтов перед плотиной (рис. 6.7).

Предельно низинный горизонт (ГМО) перед плотиной отделяет так называемый **мертвый объем**. Мертвый объем определяют из ряда условий: а) санитарно-технических и гидрохимических; б) заиливания; в) условий водоснабжения; г) ирригации; д) напора на ГЭС; е) условий судоходства; ж) условий рыболовства.

Над ним в водохранилище располагается тот **полезный объем**, накопление которого и является целью устройства водохранилища, сооружаемого для нужд водоснабжения. Горизонт воды, отвечающий верхней границе полезного объема, называют **нормальным подпорным горизонтом** или **уровнем** (НПГ). Полезный объем вместе с мертвым объемом составляют *полный объем* водохранилища.

Важнейшей исходной информацией, необходимой при решении водохозяйственных задач являются *топографические характеристики водохранилищ*, представляющие зависимости геометрических параметров водохранилища от отметок уровня наполнения (высотные характеристики) либо объемов наполнения (объемные характеристики). Топографические характеристики водохранилища представляют в форме таблиц или графически в виде *кривых площади зеркала, объемов, средних глубин, площади мелководий (кривые литорали), длины водохранилища, его ширины и длины береговой линии, в функции уровней (H) либо объемов наполнения (V)*.

Основными топографическими характеристиками являются кривые площадей и объемов. Их применяют при выборе возможных отметок нормального подпорного уровня, водохозяйственных расчетах, определении расчетных уровней и объемов водохранилищ.

Чаще используют высотные топографические характеристики. Кривая площадей $F = f(H)$ строится по материалам топографической съемки территории ложа водохранилища, планиметрированием и последовательным суммированием площадей между соседними горизонталями (рис. 6.8).

Чтобы получить кривую зависимости объемов $V = f(H)$ (рис. 6.8), определяют объемы по слоям:

$$\Delta V = \frac{F_H + F_{H+1}}{2} \Delta H, \quad (6.27)$$

где F_H и F_{H+1} – площади зеркала водохранилища при отметках H и $(H+1)$, м².

Кривая объемов набирается последовательным суммированием объемов отдельных слоев, начиная с самой низшей точки (табл. 6.4).

Средние глубины для построения кривой $h_{cp} = f(H)$ (рис. 6.8) рассчитываются по отношению объемов и площадей при одной и той же отметке H :

$$h_{cp} = \frac{V_H}{F_H}, \quad (6.28)$$

При экологической оценке условий эксплуатации водохранилища, планировании водоохранных, рыбохозяйственных мероприятий рассчитывается и строится кривая связи площадей мелководных прибрежных отсеков и объемов воды в них при нормальном подпорном уровне. Достаточно наглядны в этих случаях и так называемые кривые **критерия литорали** L_F , отражающие зависимость $L_F = f(H)$. **Литораль** - это мелководная зона водохранилища, где глубины не превышают 2 м.

$$L_F = F_L / F_H, \text{ м}^2 \quad (6.29)$$

где F_L - площадь литорали, определяемая как разность площади зеркала водохранилища при отметке уровня H и площади зеркала при отметке $H - 2$, м², т.е.

$$F_L = F_H - F_{H-2}, \quad (6.30)$$

Пример расчета

Необходимо вычислить параметры водохранилища как функции отметок уровня воды в нем. Построить батиграфические кривые. Исходные данные: результаты планиметрирования площадей, ограниченных отметками горизонталей (уровней) в рассматриваемом створе, помещенные в графах 1 и 2 табл. 6.4.

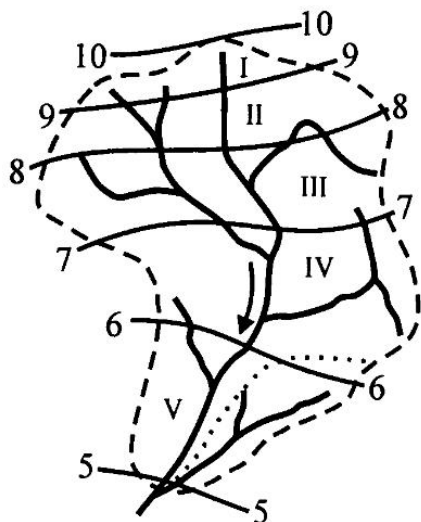


Рис. 6.7. Батиграфические кривые водохранилища

Таблица 6.4

Расчет основных топографических характеристик водохранилища

Отметка уровня воды, H , м	Площадь зер- кала, км ²		Разность отметок, ΔH , м	Объем, млн. м ³		Средняя глубина h_{cp} , м	Литораль	
	F_{cp}	F_H		ΔV	V_H		Пло- щадь, F_i	Крите- рий, L_F
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,8	0				0			
		0,12	1,2	0,14				
2,0	0,18				0,14	0,7	0,18	1
		0,54	2,0	1,08				
4,0	0,9				1,22	1,3	0,72	0,8
		1,42	2,0	2,85				
6,0	1,95				4,06	2,04	1,05	0,539
		2,57	2,0	5,14				
8,0	3,19				9,20	2,88	1,24	0,389
		3,84	2,0	7,68				
10,0	4,48				16,88	3,76	1,29	0,288
		5,19	2,0	10,38				
12,0	5,91				27,26	4,61	1,43	0,242
		6,70	2,0	13,41				
14,0	7,50				40,67	5,42	1,59	0,222
		8,52	2,0	17,05				
16,0	9,55				57,71	6,01	2,05	0,215
		10,46	2,0	20,92				
18,0	11,37				78,63	6,92	1,82	0,160
		12,79	2,0	25,58				
20,0	14,2				104,2	7,34	2,83	0,182
		15,54	2,0	30,88				
22,0	16,88				135,1	8,08	2,48	0,159
		18,28	2,0	36,36				
24,0	19,68				171,5	8,44	3,00	0,142
		21,19	2,0	42,38				

6.5. ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РАЙОНАХ ВОДОЗАБОРОВ

Гидрохимический режим современных поверхностных водоисточников в значительной степени формируется в условиях интенсивной хозяйственной деятельности на водосборах. Кроме традиционных природных факторов: геоморфологического строения, климатических условий, поверхностного и почвенного покрова, поверхностных и подземных вод, качество воды формируют рассеянные и точечные источники антропогенно-техногенной нагрузки, интенсивность процессов эвтрофирования. Сочетание отдельных природных и антропогенных факторов образует причудливые комбинации, провоцирующие суммарные эффекты воздействия, некоторые из таких процессов на текущем уровне знаний просто непредсказуемы. Многие антропогенно-техногенные загрязнения обладают кумулятивными свойствами. В зависимости от дозы и периода воздействия они могут подавлять или стимулировать метаболизм экосистемы водного объекта, в значительной степени изменяя его гидрохимический режим.

Для того, чтобы водопроводные очистные сооружения (ВОС) служили надежным барьером, предотвращающим поступление загрязнений потребителям, при подборе технологии водоподготовки необходимо провести объективный анализ информации об изменчивости показателей качества исходной воды в районе водозабора за период, составляющий не менее пяти лет. Методы очистки воды, рекомендуемые для применения на ВОС, должны обеспечивать ее кондиционирование в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 на протяжении всего периода эксплуатации при изменяющемся качестве воды в водисточнике. Однако, характер изменчивости таких показателей как мутность, цветность, окисляемость и других, наблюдаемый в конкретном месте водозабора, согласно действующим проектным нормативам в настоящее время согласно /2, 3/ формально можно не учитывать.

В процессе эксплуатации запроектированных без учета этого фактора сооружений, особенно с появлением в воде водисточника повышенных концентраций антропогенных загрязнений выясняется, что ВОС не могут должным образом выполнять свои функции из-за несоответствия реализованной технологии качеству исходной воды.

В качестве показателей степени загрязненности водных объектов в нормативной и технической литературе помимо концентраций *i*-го ингредиента предлагаются такие интегральные показатели как:

- массовая нагрузка по химическим веществам на водную среду;
- показатель химического загрязнения (ПХЗ);
- индекс загрязнения воды (ИЗВ);
- кратность превышения ПДК лимитируемых нормативными документами веществ;
- показатели общесанитарного состояния водоемов (бихроматная или перманганатная окисляемость, растворенный кислород и т.п.);
- показатели микробиологического загрязнения (общее микробное число (ОМЧ), содержание лактозоположительных кишечных палочек (ЛКП), и других показателей бактериального загрязнения;
- относительная продолжительность периода загрязнения водного объекта;
- относительный объем загрязненного стока.

Оценка массовой нагрузки на водную среду по химическим веществам, поступающим со сточными водами, проводится с учетом количества сточных вод отнесенного к величине стока с территории (например, административного района, области, республики), выраженного в процентах.

Для оценки степени загрязнения питьевой воды, объектов хозяйственно-питьевого и рекреационного водопользования используется кратность превышения ПДК соответствующих приоритетных по опасности вредных химических веществ по данным за период продолжительностью не менее одного года.

Комплексный показатель для оценки качества водного объекта - индекс загрязнения воды (ИЗВ), характеризующий общесанитарное состояние воды водоема (его кислородный режим и баланс биогенных веществ) и наличие вредных химических веществ рассчитывается по выборке лимитируемых показателей: для поверхностных вод - не менее шести, для морских вод не менее четырех.

Самой сложной задачей, возникающей при оценке загрязнений в воде, поступающей в «голову» очистных сооружений, является определение верхних пределов концентраций лимитируемых ингредиентов, на которые должны быть ориентированы потенциальные возможности очистных сооружений, включаемых в технологическую схему

станции. Над лимитируемыми ингредиентами ведется постоянный или периодический контроль в створе водозабора. Учитывая в ряде случаев трех-пяти и большую кратность превышения максимальных концентраций отдельных ингредиентов исходной воды над средними их значениями за наблюдаемый период, нетрудно убедиться в роли и влиянии значений $C_{i,max}$ на будущие капитальные и эксплуатационные затраты проектируемых ВОС.

Для выбора и обоснования технологии водоподготовки необходимо установить четкие границы поля концентраций ингредиентов исходной воды. Нижней границей этого поля является установленный нормативными документами лимит на содержание вещества в обработанной воде. Для питьевой воды – это норма СанПиН 2.1.4.1074-01. Нахождение верхней границы поля концентраций является более сложной и неопределенной задачей, связанной с риском возможного превышения граничных значений ингредиента после ВОС в период их эксплуатации.

Предложенная авторами методология определения верхних расчетных концентраций лимитируемых ингредиентов качества воды, поступающей на очистку, базируется на сопоставлении достаточной санитарно-гигиенической надежности работы очистных сооружений на весь расчетный период их эксплуатации с затратами на строительство и годовые эксплуатационные расходы станции.

По результатам наблюдений гидрохимических и бактериологических лабораторий предприятий водопроводно-канализационного хозяйства за качеством исходной воды водоисточников в районе водозаборов не менее 5-ти лет создается и обрабатывается база данных, используемая для проведения численного моделирования изменчивости качества воды в водоисточнике.

Для проведения статистического анализа разрабатывается пакет программ, например, в среде программирования DELPI 7.0. Составляется выборка с использованием данных наблюдений за режимом уровней рассматриваемых водоисточников. Все ранжированные ряды и выборки по показателям среднеквадратичных отклонений оцениваются по удовлетворительной для статистической обработки репрезентативностью.

При незначительных превышениях максимальных значений концентраций ($C_{i,max}$) i -го ингредиента в воде над его средним за период наблюдений значением ($C_{i,cp}$), технологическую схему очистки, как правило, назначают по $C_{i,max}$ (рис.6.8, а).

Роль расчетных концентраций загрязняющих ингредиентов возрастает с ростом превышения $C_{i,max} / C_{i,cp}$ (см.рис.6.8, б).

Это особенно сказывается, когда предельно допустимые значения концентраций ингредиента в воде, поступающей на очистные сооружения, имеют узкий диапазон. Например, мутность перед отстойниками в двухступенной реагентной схеме допускается до 2500 мг/л, цветность – до 250 град. платиново-кобальтовой шкалы. В то же время, при обосновании технологии с микрофильтрами и контактными осветлителями эта величина снижается до 150 мг/л и 120 град., а при безреагентной очистке воды на классических медленных фильтрах – до 30 мг/л и 50 град. соответственно.

При условии, когда $C_{i,max} \gg C_{i,cp}$ назначение технологической схемы очистки воды по значениям $C_{i,max}$ приведет к многократному увеличению затрат на ее строительство и эксплуатацию, а в ряде случаев – и к нехватке средств на реализацию проекта вообще. Поэтому, задача заключается в том, чтобы обосновать как можно меньшее превышение расчетных концентраций ΔC_i над $C_{i,cp}$ или ПДК_{ос} т.е. $\Delta C_i \rightarrow \min$ (рис.6.8,б):

$$C_p \approx C_{i,cp} + \Delta C_i \ll C_{i,max}. \quad (6.31)$$

Для каждой принятой технологии существуют допустимые значения концентраций ($ПДК_{\infty}$) ингредиентов, выше которых станция не может обеспечить требуемую степень очистки воды по i -му ингредиенту или по нескольким из них.

Поиск расчетных значений концентраций удаляемых ингредиентов предлагается производить следующим образом. Назначив и обосновав технологическую схему очистных сооружений по $C_{i,cr}$ для удаляемых из воды ингредиентов, производят расчет прогнозной эффективности выбранной технологии по каждому из лимитируемых ингредиентов. Математическая модель такого прогноза может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} C_{1(\kappa)} &= f(C_{1cp}, p_1, p_2, \dots, p_n); \\ C_{2(\kappa)} &= f(C_{2cp}, p_1, p_2, \dots, p_n); \\ &\vdots \\ C_{n(\kappa)} &= f(C_{ncp}, p_1, p_2, \dots, p_n); \end{aligned} \quad (6.32)$$

где $C_{i(k)}$ и $C_{i,cr}$ – концентрации C_i ингредиента после и до очистных сооружений; $p_1, p_2, \dots, p_n$ – основные технологические параметры работы сооружений, входящих в общую технологическую схему станции и определяющих эффективность ее работы в целом.

Если при этом $C_{i(k)} < [C_{i(k)}]$, то производят перерасчет по зависимостям вида:

$$C_{i(\kappa)} = f((C_{\text{ПДКос}} + \Delta C), p_1, p_2, \dots, p_n); \quad (6.33)$$

для каждого ингредиента.

Если концентрации ингредиентов, рассчитанных по зависимости (6.33) оказываются в течение длительного периода больше $C_{i(x)}$ технологию очистки пересматривают или дополняют отдельными процессами и сооружениями, усиливая ее санитарно-гигиеническую надежность таким образом, чтобы она обеспечила выполнение условий $C_{i(x)} < [C_{i(x)}]$, требуемых СанПиН 2.1.4.1074-01.

Если же периоды и абсолютные значения превышений $C_{i(k)} > [C_{i(k)}]$, незначительны (см. рис. 6.8, б), тогда производится оценка взаимосвязи значений предложенного интегрального индекса качества воды (ИКВ) по лимитируемым ингредиентам с величинами риска (R_{isk}) для здоровья человека от превышения концентраций каждого из ингредиентов установленных для очищенной (питьевой) воды над $ПДК_{ог}$.

Индекс качества воды водосточника (ИКВ), представляет собой комбинацию кратности превышения $C_{i,max}$ исследуемого ингредиента или группой их над предельно допустимой концентрацией этого вещества в питьевой воде ПДК_{пв} и относительной продолжительности периода этого превышения?:

$$IKB = \sum \tau_i \frac{C_{i,max}}{ПДК_{ггг}} \quad (6.34)$$

где $C_{i, \max}$ – пиковая концентрация, мг/л; i – порядковый номер i -го ингредиента.

Относительная продолжительность периода загрязнения воды i -ым ингредиентом определяется по формуле:

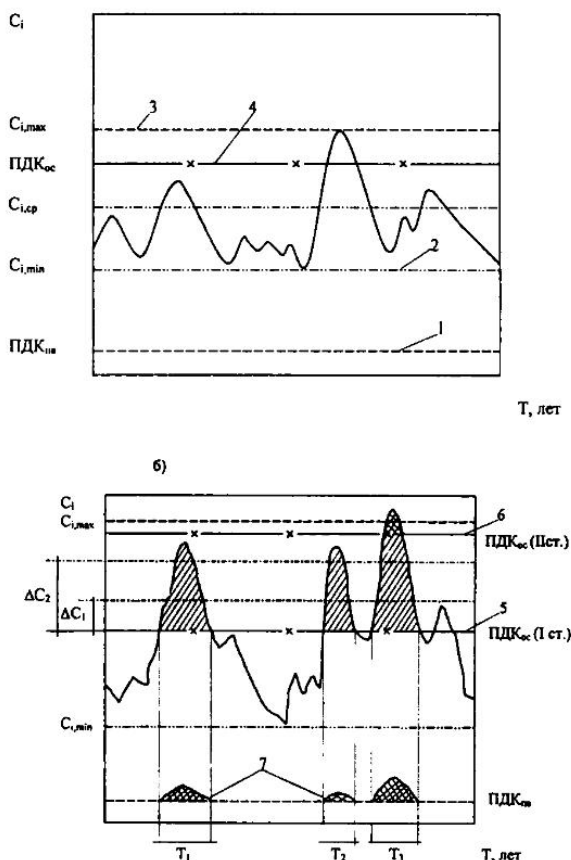
$$\tau = (T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n) / T_0 \quad (6.35)$$

где T_0 – общее количество суток наблюдения; T_1, T_2, T_3 – количество суток за наблюдаемый период, когда значение показателя i -го ингредиента превышает $ПДК_{нв}$; $C_{1, \max}, C_{2, \max}, C_{3, \max}, \dots, C_n$ – пиковые значения (концентрации) по i -му ингредиенту.

Графическая интерпретация $C_i, ПДК_{нв} = f(T_0)$ представлена на рис. 6.8.

Рис. 6.8. Границы концентраций лимитирующих ингредиентов и продолжительности превышения концентраций над $ПДК_{ос}$ очистных сооружений:

1 - $ПДК$ в питьевой воде;
2, 3 - соответственно границы минимальных и максимальных концентраций извлекаемых ингредиентов; 4-6 - $ПДК_{ос}$ в воде, поступающей на очистные сооружения (варианты); 7 - кратковременные превышения концентраций i -го ингредиента над $ПДК$ в очищенной воде по ВОС



Таким образом, алгоритм предложенной авторами методологии оценки качества исходной воды при обосновании и выборе водоочистных технологий включает в себя ряд последовательно выполняемых операций:

- изучаются и идентифицируются приоритетные (лимитируемые) и характерные для исследуемого водозабора ингредиенты химических и бактериологических загрязнений;
- определяются возможные негативные воздействия изученных химических соединений и биологических загрязнений на качество очищаемой воды и производится оценка достоверности статистической информации о показателях, влияющих на эффективность технологии водоподготовки;

- устанавливаются индексы опасности лимитируемых ингредиентов, превышение которых может потребовать проведения дополнительных мероприятий по повышению санитарной надежности водоочистной станции;
- проводится статистическая обработка гидрохимической и гидробиологической информации и устанавливаются статистические параметры ранжированных рядов лимитируемых ингредиентов;
- определяется относительная продолжительность периода превышения концентраций X_i ингредиентом над принятым нормативом $ПДК_{oc}$ для проектируемой технологической схемы водоподготовки за весь период наблюдений;
- определяются значения $ИКВ$ и устанавливаются зависимости « $ИКВ-R_{isk}$ » для каждого из лимитируемых показателей;
- производится сравнительная оценка $ПДК_{oc}$ и потенциальной эффективности каждого из водоочистных сооружений и станции в целом, и на ее основе формируется основная технологическая схема ВОС с набором мероприятий /5/ для экстраординарных условий в процессе эксплуатации станции;
- когда $ПДК_{R_{isk}} > ПДК_{oc}$ - проверяется достаточность санитарно-барьерной функции ВОС с использованием банка эксплуатационных данных и математических зависимостей для определения эффективности работы каждого из последовательно работающих очистных сооружений в единой технологической цепи.

• На рис. 6.9 в качестве примера представлен характер изменения цветности в реке Вологда за период продолжительностью 1 год и 10 лет. Результаты статистической обработки данных по основным загрязняющим ингредиентам различных водоисточников представлены в табл.6.5. Полученные в процессе анализа статистические характеристики и закономерности изменчивости концентраций железа, перманганатной окисляемости и цветности воды свидетельствуют, что при недостатке данных наблюдений («короткие ряды») их можно восполнять, используя способы, аналогичные применяемым при определении расчетных гидрологических характеристик.

Таблица 6.5

Результаты статистической обработки

Река Вологда								
	цветность	мутность	железо	pH	Хлориды	Аммоний солевой	ОМЧ	окисляемость
X_{cp}	59,594	2,768	0,730	7,869	10,861	0,584	95,914	10,726
X_{max}	210,000	10,700	2,000	8,800	26,000	2,000	300,000	25,600
C_v	0,476	0,708	0,411	0,044	0,495	0,325	0,682	0,436
C_s	0,305	1,124	0,205	-0,031	0,191	0,232	0,452	0,176
D	804,201	3,833	0,090	0,121	28,829	0,036	4221,511	21,835
δ	28,358	1,958	0,299	0,348	5,369	0,190	64,973	4,673
ϵ	1,052	1,630	1,974	0,108	1,562	0,768	7,574	1,304
Озеро Кубенское								
	цветность	мутность	железо	pH	Хлориды	Аммоний солевой	ОМЧ	окисляемость
X_{cp}	73,168	5,305	0,895	7,774	6,669	0,701	79,043	15,873
X_{max}	235,000	19,000	1,750	8,350	18,000	1,800	300,000	25,600
C_v	0,431	0,759	0,400	0,042	0,566	0,408	1,218	0,244
C_s	0,469	0,843	0,061	-0,013	0,407	0,213	1,858	0,016
D	990,391	16,126	0,125	0,103	14,100	0,081	8872,476	14,813
δ	31,470	4,016	0,354	0,322	3,755	0,285	94,194	3,849
ϵ	2,968	5,262	6,251	0,327	5,575	3,175	25,407	2,312

Река Тошня								
	цветность	мутность	железо	pH	Хлориды	Аммоний солевой	ОМЧ	окисляе- мость
X_{cp}	50,132	4,670	0,805	7,855	15,830	0,794	Нет данных	7,526
X_{max}	180,000	18,000	2,300	8,850	39,800	2,570		22,080
C_v	0,646	0,702	0,439	0,075	0,530	0,436		0,586
C_s	0,665	1,270	0,384	-0,155	0,319	0,554		0,399
D	1044,154	10,720	0,123	0,346	70,119	0,119		19,383
δ	32,313	3,274	0,351	0,588	8,374	0,345		4,403
ϵ	3,501	3,938	5,212	0,430	3,178	2,425		3,738

Примечания: Условные обозначения X_{cp} – среднее значение величины; X_{max} – максимальное значение величины; C_v – коэффициент вариации; C_s – коэффициент корреляции; D – дисперсия; δ – среднеквадратичное отклонение; ϵ – среднеквадратичная погрешность серии наблюдений в %. Период наблюдений – 10 лет.

Как видно из рисунка и таблицы соотношение $C_{i,max}/C_{i,cp}$ по цветности для р.Волга может достигать 2,5-3,5, по мутности – 5, железу общему – до 2,3, окисляемости до 2,5, ОМЧ – до 3. Еще большие превышения $C_{i,max}$ над $C_{i,cp}$ наблюдаются в оз.Кубенское и р.Тошня.

С целью поиска зависимостей между ИКВ и значениями рисков здоровью человека от кратковременного использования некондиционной воды (рис. 6.8, б, поз.7), поступающей к потребителям с очистных сооружений, по показателям цветность, мутность, железо общее, окисляемость проводились численные эксперименты с рядами, продолжительностью наблюдений 10 лет. Пример результатов таких исследований для рядов с разной продолжительностью приведен на рис. 6.10.

Изучение динамики изменения ИКВ в зависимости от риска позволяет определять не только необходимую продолжительность ряда наблюдений за показателями качества воды водоисточника, но главное – устанавливать допустимое снижение от $C_{i,max}$ до $ПДК_{oc} + \Delta C_i$ с учетом расчетных значений $C_{i(k)}$ в периоды $T_1, T_2, \dots, T_n$.

Таким образом, по найденным из зависимостей (6.33) значениям $C_{i(k)} < [C_{i(k)}]$ и $C_{i(k)} > [C_{i(k)}] < R_{isk}$ на выходе из очистных сооружений устанавливают границу $ПДК_{oc}$ для каждого и (или) группы ингредиентов в исходной воде и допустимые значения на которые можно уменьшить зафиксированные за весь период наблюдений максимальные значения концентраций i -го ингредиента.

За расчетные концентрации ингредиентов в исходной воде следует принимать такие, при которых даже при кратковременных перегрузках по концентрациям этих ингредиентов над $ПДК_{oc}$, будет обеспечено выполнение условий:

$$C_{i,расч} = ПДК_{oc} + \Delta C_i \quad (3.36)$$

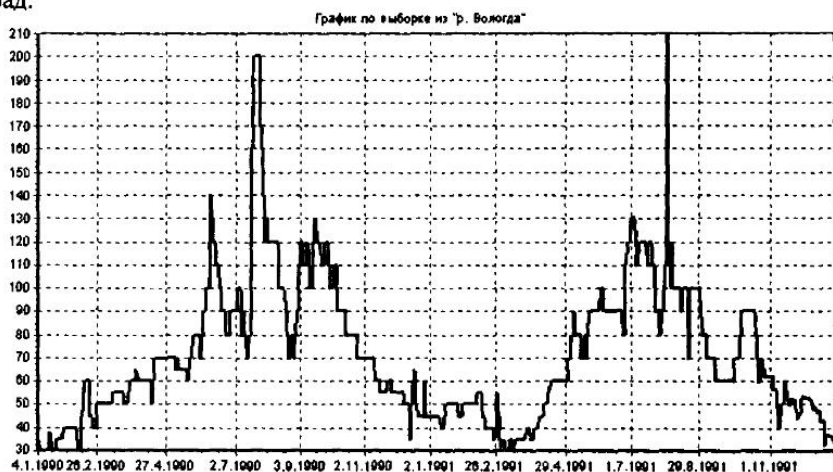
$$C_{i(k)} \leq ПДК_{не}$$

или:

$$C_{i,расч} = ПДК_{oc} + \Delta C_2 \quad (3.37)$$

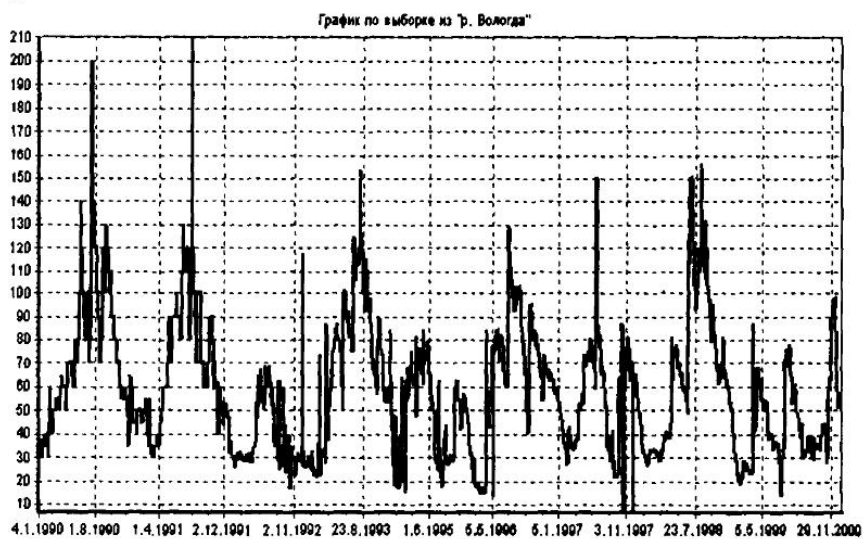
$$C_{i(k)} > ПДК_{не} \text{ при } ИКВ_{не} < R_{isk}$$

а Ц, град.



T, годы

б Ц, град.



T, годы

Рис. 6.9. Изменчивость значений цветности воды р.Вологда за разные периоды наблюдений: а - за 1 год; б - за 10 лет

7. ВОДОЗАБОРЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

7.1. НАЗНАЧЕНИЕ И КАТЕГОРИИ НАДЕЖНОСТИ ВОДОЗАБОРОВ

Водозаборные сооружения (водозаборы) предназначены для забора расчетного расхода воды из открытых водоисточников, защиты системы водоснабжения от попадания в нее с водой сора, наносов, льда, водорослей, рыб. Водозаборы рассчитывают на эксплуатацию в обычных и редко повторяющихся чрезвычайных условиях.

По степени обеспеченности подачи воды они подразделяются на три категории в зависимости от требований к обеспечению подачи воды потребителям (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Категории надежности подачи воды потребителям

Характеристика необходимого режима подачи воды	Категория водозабора	Обеспеченность, %		
		минимальных расходов воды	расчетных уровней воды в источниках	
			максимального	минимального
Допускается снижение подачи воды на 30% расчетного расхода в течение 3 суток. Перерыв в подаче воды допускается не более чем на 10 мин.	I	95	1	97
Допускается снижение подачи воды на 30% в течение 10 суток. Перерыв в подаче воды допускается не более чем на 6 час.	II	90	3	95
Длительность снижения подачи не должна превышать 15 суток. Перерыв в подаче воды допускается не более чем на 24 часа	III	85	5	90

По технологии забора воды из водотоков и водоемов различают береговой и русловой водозаборы. Они отличаются между собой расположением места забора воды относительно берега. Водозаборы могут быть совмещенными с насосными станциями первого подъема или раздельными.

Схема раздельного водозабора руслового типа (рис. 7.1) независимо от вида водоема включает: водоприемник (оголовок), самотечные или сифонные трубы, сеточный береговой колодец, камеры переключений.

Схема раздельного водозабора берегового типа отличается размещением водоприемника на берегу, совмещением его с сеточным береговым колодцем (береговой водоприемно-сеточный колодец) и отсутствием самотечных линий (рис. 7.2). Эта схема применяется при достаточных глубинах вблизи берега. Разновидности конструктивного оформления русловых и береговых водозаборов приведены в табл. 7.4.

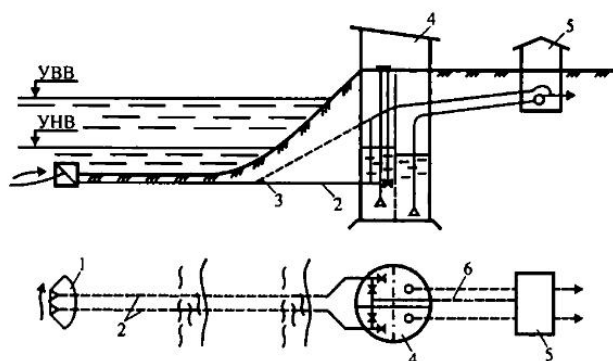


Рис. 7.1. Водозабор руслового типа:

1 - водоприемник; 2 - самотечные водоводы; 3 - сифонные водоводы; 4 - береговой колодец; 5 - насосная станция 1 подъема (НС-1); 6 - трубопровод обратной промывки самотечных линий; УВВ - уровень высоких вод; УНВ - уровень низких вод

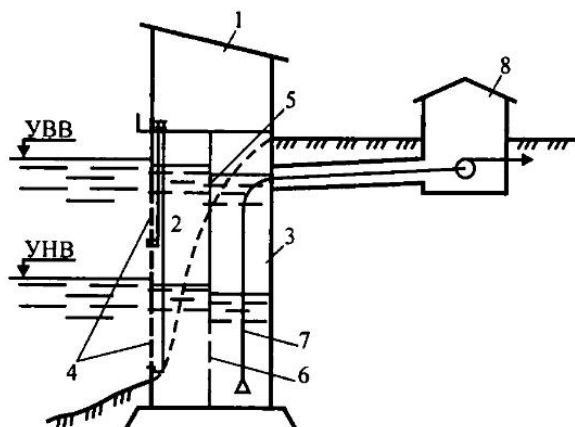


Рис. 7.2. Береговой водоприемник раздельный с насосной стацией: 1 - камера-шахта; 2 - приемное отделение; 3 - всасывающее отделение; 4 - входные окна; 5 - перегородка; 6 - плоская съемная сетка; 7 - всасывающие трубы насосов; 8 - НС-1

7.2. ВЫБОР МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ И ТИПА ВОДОЗАБОРА

При проектировании водозаборных сооружений необходимо установить категорию водозабора по степени обеспеченности подачи воды (табл. 7.1) и выбрать основные и второстепенные сооружения. К основным относятся сооружения, при повреждении которых водозабор не обеспечит подачу расчетного расхода воды потребителям. Класс основных сооружений водозабора устанавливается в соответствии с его категорией. Класс второстепенных сооружений, повреждение которых не приведет к снижению подачи воды потребителям, принимается на категорию меньше.

Производительность водозаборных сооружений Q_0 определяется по максимальному суточному расходу воды в населенном пункте с учетом расхода воды на собственные нужды очистных сооружений водопровода и водозабора и оценивается следующим образом: малая при $Q_0 < 1 \text{ м}^3/\text{с}$, средняя при $1 < Q_0 < 6 \text{ м}^3/\text{с}$, большая при $Q_0 > 6 \text{ м}^3/\text{с}$.

Условия забора воды (легкие, средние, тяжелые, очень тяжелые) устанавливаются по наиболее тяжелому виду затруднений в работе водозаборных сооружений в зависимости от устойчивости берегов и ложа источника, русловых и шуголедовых режимов, засоренности по показателям, приведенным в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Условия забора воды из поверхностных источников

Характеристика условий забора воды	Условия забора воды			
	легкие	средние	тяжелые	очень тяжелые
Мутность (М), устойчивость берега и дна	Мутность (М) не более 500 мг/л, устойчивое ложе водоема и водотока	$M \leq 1500$ мг/л (среднее за паводок). Русло (побережье) и берега устойчивые с сезонными деформациями $\pm 0,3$ м. Вдольбереговое перемещение наносов не влияет на устойчивость подводного склона постоянной крутизны	$M \leq 5000$ мг/л. Русло подвижное с перемещением берегов и дна, вызывающим изменение отметок дна до 1–2 м. Наличие переработки берега с вдольбереговым перемещением наносов по склону переменной крутизны	$M > 5000$ мг/л, русло неустойчивое, систематически и случайно изменяющее свою форму. Интенсивная и значительная переработка берега. Наличие или вероятность оползней
Шуга и лед	Отсутствие внутриводного ледообразования. Ледостав умеренной ($\leq 0,8$ м) мощности, устойчивый	Наличие внутриводного ледообразования, прекращающегося с установлением ледостава обычно без шугозаполнения русла и образования шугозажоров. Ледостав устойчивый мощностью $< 1,2$ м, формирующийся с полыньями	Неоднократно формирующийся ледяной покров с шугоходами и шугозаполнением русла при ледоставе до 60–70% сечения водотока. В отдельные годы с образованием шугозажоров в предледоставный период и ледяных заторов весиной. Участки нижнего бьефа ГЭС в зоне неустойчивого ледового покрова. Нагон шугольда на берег с образованием навалов на берега, торосов и шугозаполнением прибрежной зоны	Формирование ледяного покрова только при шугозажорах, вызывающих подпор; транзит шуги под ледяным покровом в течение большей части зимы. Возможность наледей и перемерзания русла. Ледоход с заторами и с большими навалами льда на берега. Тяжелые шуголедовые условия при наличии приливов
Другие факторы	Отсутствие в водоисточнике дрейсены, балиуса, мидий и т.п., водорослей, малое количество загрязнений, сора	Наличие сора, водорослей, дрейсены, балиуса, мидий и загрязнений в количествах, вызывающих помехи в работе водозабора. Лесосплав молевой и плотами. Судоходство	То же, но в количествах, затрудняющих работу водозабора и сооружений водопровода	

Возможность забора воды из водоисточника без специальных сооружений (плотины, ковша, водоподводящего канала и пр.) проверяется по величине относительного водоотбора, которая определяется отношением производительности водозабора Q_0 к минимальному расчетному расходу воды в реке Q_{min} .

При $Q_e / Q_{\min} \leq 0,25$ не требуется устройство специальных сооружений, при $0,25 \leq Q_e / Q_{\min} \leq 0,75$ надежный водоотбор возможен только из незашугованного открытого водотока при достаточных глубинах. В случае отсутствия благоприятных условий для забора воды при $Q_e / Q_{\min} > 0,25$ или при наличии тяжелых условий необходимо применять дополнительные специальные сооружения. Класс водоподъемных и водохранилищных плотин, входящих в состав водозаборного гидроузла, следует принимать не ниже: II класса - для I категории водозаборов, III класса - для II категории, IV класса - для III категории водозаборов.

Выбор места устройства водозабора должен быть обоснован прогнозами качества воды в источнике, переформирования русла и побережья.

Кроме того, при выборе места водозабора рекомендуется учитывать следующие условия:

- место водозабора должно выбираться на устойчивом участке реки, обладающем достаточными расходами и глубиной, расположенном возможно ближе к объектам водоснабжения;

- у места водозабора должны быть спокойные и благоприятные топографические формы берега русла без крутых косогоров, заливаемых пойм, изрезанностей оврагами и т.п.;

- выбираемый участок русла не должен располагаться на перекате, иметь резких местных сужений, перепадов, быстрин, островов и кос;

- не допускается размещать водоприемники в пределах зон движения судов, плотов, в зоне отложения и движения донных наносов, в местах зимовья и нереста рыб, на участке возможного разрушения берега, скопления плавника и водорослей, а также возникновения шугозажоров и заторов.

Не рекомендуется размещать водозаборы на участках нижнего бьефа ГЭС, прилегающих к гидроузлу, в верховьях водохранилищ, а также на участках, расположенных ниже устьев притоков водотоков и в устьях подпертых водотоков. Водозаборы нельзя располагать в зоне затопления наземных сооружений паводковыми водами (за исключением кривов), в сейсмических и других районах, где возможны оползневые явления, в результате которых происходит разрушение сооружений. В этих случаях предусматривается независимый дополнительный комплекс водозаборных сооружений. Водозабор необходимо размещать лишь в том месте, где имеется реальная возможность организации зоны санитарной охраны. Место забора воды для систем питьевого водоснабжения должно находиться выше по течению реки от населенных пунктов, животноводческих ферм и комплексов, выше выпусков сточных вод, выше стоянок судов, барж. В общем случае водозаборные сооружения должны быть размещены выше мест возможного загрязнения водоисточника.

Для правильного выбора типа водозабора, используя исходные данные, строят продольный профиль дна и берега реки в створе водозабора, наносят на него все расчетные уровни воды, ледостава и ледохода, указывают толщину ледяного покрова и отметку площадки для строительства. Следует отметить, что такие профили для нескольких створов водозаборов содержатся обычно в материалах предварительных изысканий, предшествующих проектированию.

Выбор типа водозабора производится в зависимости от условий забора воды и категории водозабора по табл. 7.3. В зависимости от производительности водозабора, природных условий и на основании построенного профиля выбирается нужная схема водозабора (табл. 7.4).

Выбор типа водоприемных устройств

Водоприемные устройства	Категория водозаборных сооружений (I, II, III)								
	Природные условия забора воды								
	легкие			средние			тяжелые		
	схемы водозаборов								
	а	б	в	а	б	в	а	б	в
Береговые, незатопляемые водоприемники с водоприемными отверстиями, всегда доступными для обслуживания с необходимыми ограждающими и вспомогательными сооружениями и устройствами	I	-	-	I	-	-	II	I	I
Затопленные водоприемники всех типов, удаленные от берега, практически недоступные в отдельные периоды года	I	-	-	II	I	-	III	II	I
Нестационарные водоприемные устройства:									
плавучие	II	I	-	III	III	II	-	-	-
фуникулерные	III	II	-	-	-	-	-	-	-

Примечания: 1. Схемы водозаборов: схема «а» - в одном створе; схема «б» - то же, но при нескольких водоприемниках, снабженных средствами борьбы с шугой, льдами и другими затруднениями забора воды; схема «в» в двух створах, удаленных на расстояние, исключающее возможность одновременного перерыва забора воды. 2. В водозаборных сооружениях I и II категории надлежит предусматривать секционирование водоприемной части.

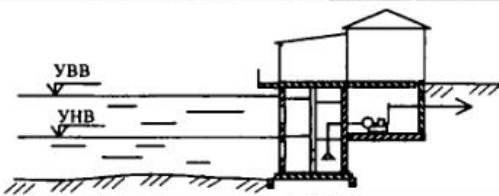
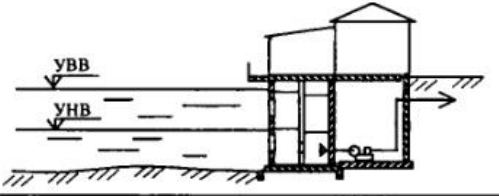
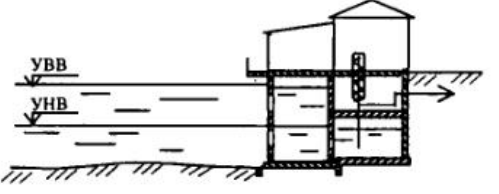
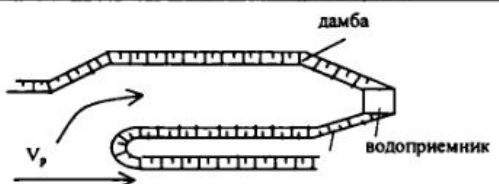
При выборе схемы водозабора одновременно по исходным данным подбирают тип насосов (горизонтальные или вертикальные) и решают вопрос устройства совмещенного или раздельного с насосной станцией водоприемного сооружения. Если принятый тип и схема водозабора не соответствуют необходимой степени надежности забора воды, то в проекте предусматриваются мероприятия для ее повышения.

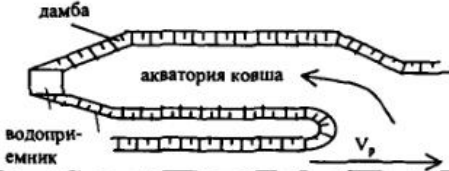
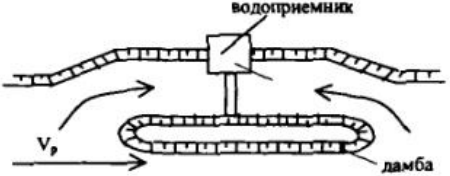
Выбор схемы и компоновки водозаборного сооружения в тяжелых и очень тяжелых местных условиях следует принимать на основе предварительных исследований и изысканий на местности.

В отдельных случаях - при особо тяжелых шуголедовых условиях и малых глубинах потока - невозможно обеспечить устойчивую работу водозаборов с русловыми водоприемниками даже при малой их производительности, и в этом случае возникает необходимость устройства ковшей. Чаще всего ковши применяют при производительности водозабора более 2-3 м³/с.

Рекомендации для выбора схемы водозабора

Условия применения	Тип водозабора	Схема	Состав сооружений
Отсутствие у берега достаточных глубин, загрязненность воды у берега, широкая пойма, пологий берег	Русловой раздельного типа с самотечными линиями		Русловой водоприемный оголовок, самотечные линии, береговой сеточный колодец, насосная станция
Широкая высокотопляемая пойма, тяжелые условия прокладки самотечных линий	Русловой раздельного типа с сифонными самотечными линиями		Русловой водоприемный оголовок, сифонные линии, береговой сеточный колодец, насосная станция
Непрочные грунты, высокий крутой берег, большая амплитуда колебаний уровней воды	Береговой раздельного типа		Береговой сеточный колодец, насосная станция

Условия применения	Тип водозабора	Схема	Состав сооружений
Скальные породы грунта, высокий крутой берег, амплитуда колебаний уровня воды до 10 м	Береговой совмещенного типа с полуглубленной насосной станцией		Береговой сеточный колодец, совмещенный с насосной станцией
Незначительные колебания уровня воды, небольшая глубина водоприемника, высота всасывания насосов менее 3–4 м	Береговой совмещенного типа с заглубленной насосной станцией		— " —
Колебания уровня воды 7–10 м, значительная глубина водоприемника; при оборудовании насосной станцией артезианскими или вертикальными насосами	Береговой совмещенного типа с вертикальными насосами		— " —
Незначительные наносы, большая шугоносность, необходимость создания достаточных глубин у водозабора	Ковшовый водозабор с верховым питанием		Ограждающая дамба, водоприемник, насосная станция, камера предохранительных приборов

Условия применения	Тип водозабора	Схема	Состав сооружений
Большое количество взвешенных наносов, незначительная шугоносность, необходимость создания достаточных глубин у места водозабора для увеличения отбора воды из реки	Ковшовый водозабор с низовым питанием		— " —
Изменяющееся количество взвешенных наносов, изменяющаяся шугоносность, необходимость создания достаточных глубин у места водозабора для увеличения отбора воды из реки	Ковшовый водозабор с двухсторонним питанием		— " —

7.3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СООРУЖЕНИЙ В ВОДОЗАБОРНОМ УЗЛЕ

Водоприемные оголовки в зависимости от необходимой категории надежности водоподачи и сложности природных условий забора воды осуществляются: затопленными, затопляемыми при паводках и незатопляемыми.

Затопленные водоприемники располагают ниже минимального расчетного уровня воды и нижней кромки ледяного покрова при ледоставе.

Конструкции затопленных оголовков должны иметь обтекаемую форму, чтобы не нарушать движения водного потока и донных наносов. Водоприемные отверстия (входные окна) следует располагать так, чтобы в них не завлекались шуга, донные наносы, сор, а также рыба.

Затопленные водоприемники обычно устраивают с боковым или низовым приемом воды. На реках с малыми глубинами воды водоприемники делают с горизонтальными водоприемными отверстиями (потолочными). Лобовой (по течению воды) прием воды не рекомендуется, так как сор и шуга прижимаются динамическим давлением воды к решеткам водоприемных отверстий. Внутри водоприемника нельзя допускать застойных и непромываемых зон, где происходит застаивание воздуха, скопление загнившего ила и органических взвесей, выделяющихся из потока забираемой воды. Примеры конструкций русловых затопленных водоприемников представлены в табл. 7.5.

На небольших реках, не используемых для лесосплава и судоходства с относительно легкими природными условиями при малой производительности ($0,02-0,2 \text{ м}^3/\text{с}$) водозабора применяют простейшие раструбные оголовки на сваях (табл. 7.5, схема 1), а при производительности до $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ - трубчатые или тарельчатые незащищенные оголовки (табл. 7.5, схема 2).

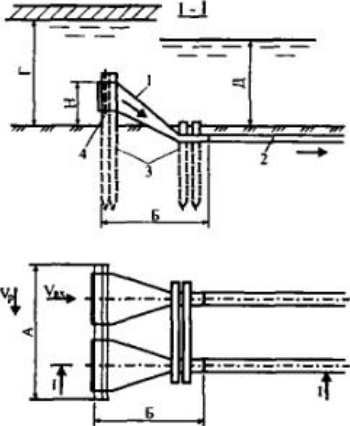
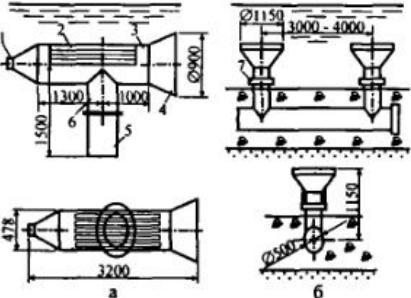
На реках с небольшими глубинами и средними природными условиями применяют ряжевые оголовки с боковым приемом воды (табл. 7.5, схема 3) производительностью до $1 \text{ м}^3/\text{с}$, а при тяжелых шуголедовых условиях – фильтрующие ряжевые оголовки (табл. 7.5, схема 4).

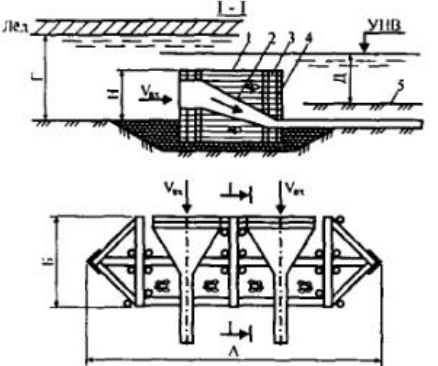
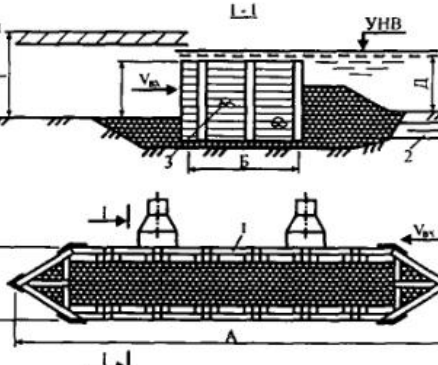
На лесосплавных реках с легкими и средними природными условиями применяют железобетонные раструбные оголовки с боковым приемом воды (табл. 7.5, схема 5) при производительности водозаборов до $1 \text{ м}^3/\text{с}$ и железобетонные двухсекционные с вихревыми камерами (табл. 7.5, схема 6) при большей производительности (до $3 \text{ м}^3/\text{с}$). Оголовков с трубчатой вихревой камерой (табл. 7.5, схема 7) применяют на реках со средними и тяжелыми природными условиями забора воды для малой и средней производительности водозаборов.

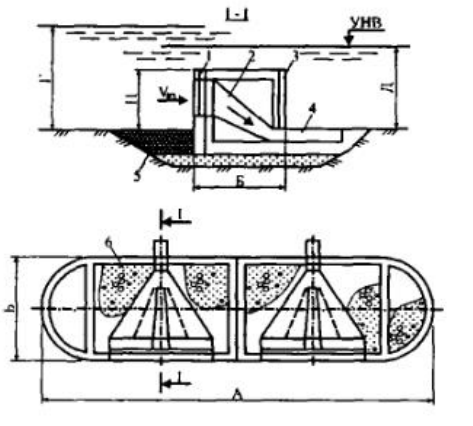
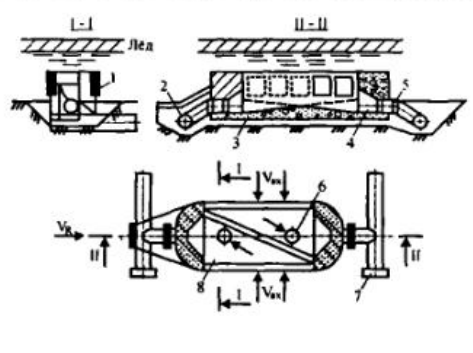
Наиболее совершенными по гидравлическим условиям и равномерности входа воды в водоприемные окна большой площади являются водоприемники с вихревыми камерами (табл. 7.5, схема 7). Применение вихревых камер позволяет уменьшить входные скорости до $0,03-0,1 \text{ м/с}$ для защиты от шуги и предотвращения захвата рыбы. Вихревая камера имеет продольную входную щель постоянной высоты, переменные площади поперечных сечений по длине, увеличивающиеся в направлении течения.

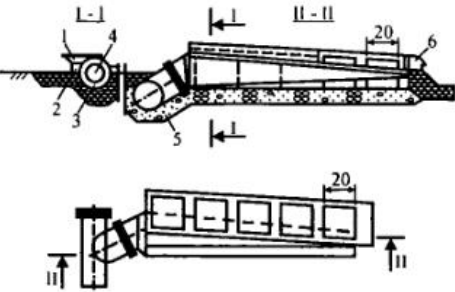
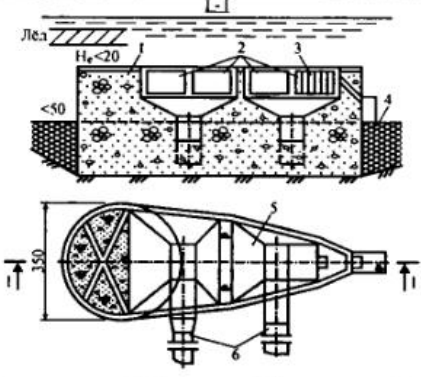
Водоприемники с вихревыми камерами (трубчатые водоприемники) выполняют из металла или железобетона. Металлические трубчатые водоприемники выполняют для забора воды из рек и водохранилищ при отсутствии судоходства, лесосплава и донного льда; железобетонные – на судоходных и лесосплавных реках. Водоприемники могут быть расположены вдоль или поперек потока. Площадь водоприемных окон водоприемника достигает $15-20 \text{ м}^2$. Расположение решеток окон может быть наклонным или горизонтальным.

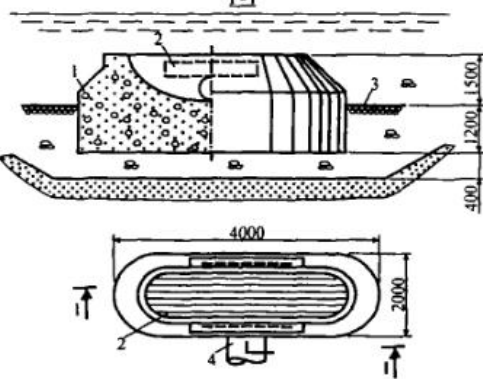
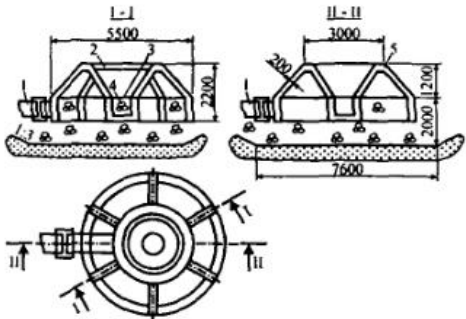
Характеристика затопленных оголовков речных водозаборов

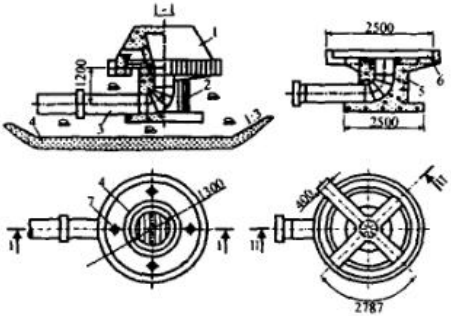
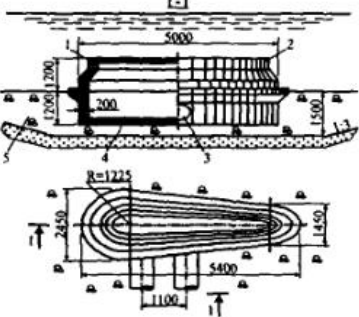
Тип. Основные элементы	№ схемы	Конструкция	Область применения. Достоинства и недостатки
1 Раструбный свайный незащищенный оголовок: 1 – раструб; 2 – самотечный или сифонный водовод; 3 – сваи; 4 – сороудерживающая решетка. Рекомендуемые размеры, м: A = 3,5-5,0; Б = 3,6-4,1; Г = 2,5-2,7; Д = 1,6-1,8; Н = 1,3-1,5	2	3 	4 На небольших реках, не используемых для лесосплава и судоходства с относительно легкими природными условиями, при малой (0,02-0,2 м³/с) производительности водозабора. Простой, компактный, экономичный. Вносит возмущения в поток, труднодоступный, боится ударов, требует установки рыбозаградителей
Стальные незащищенные оголовки: а – трубчатый; б – тарельчатый; 1 – заглушка; 2 – сороудерживающая решетка; 3 – водопримная труба; 4 – приемный раструб; 5 – вертикальный патрубок; 6 – врезной соединительный патрубок; 7 – фланец.	2		На реках, не используемых для лесосплава и судоходства с относительно легкими природными условиями, при небольшой (до 0,5 м³/с) производительности водозабора. Простые, сборные, недорогостоящие, быстросменяемые. Вносят значительные возмущения в поток, труднодоступные, требуют устройства рыбозаградителей

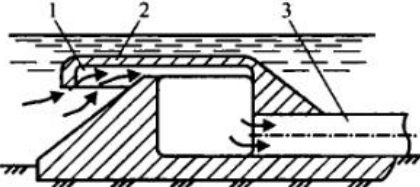
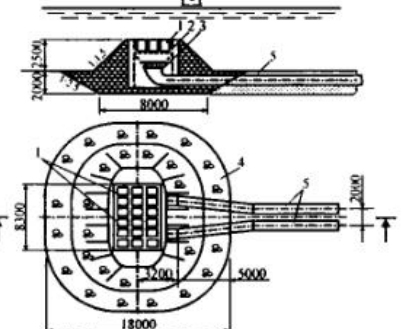
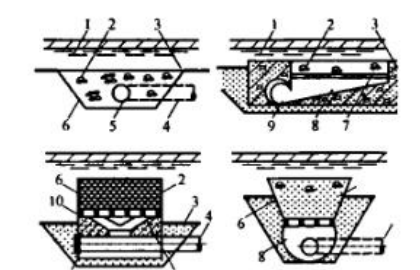
1	2	3	4
Деревянный ряжевый оголовок с боковым приемом воды: 1 – сороудерживающие решетки; 2 – водоприемный раструб; 3 – каменная наброска; 4 – ряж; 5 – самотечные или сифонные водоводы. Рекомендуемые размеры, м: A = 6,5-17,4; B = 2,5-3,5; Г = 2,7-3,1; Д = 1,8-2,2; Н = 1,5-1,9	3		На реках с небольшими глубинами, средними природными условиями при небольшой (до 1 м³/с) производительности водозабора. Простые, недорогостоящие. Трудоемкие в изготовлении, неиндустриальные, труднодоступные для осмотра и замены сороудерживающих решеток, требуют устройства рыбозаградителей
Деревянный ряжевый фильтрующий оголовок: 1 – ряж; 2 – самотечные или сифонные водоводы; 3 – каменная наброска. Рекомендуемые размеры, м: A = 10,2-17,2; B = 3,0; Г = 3,3; Д = 2,4; Н = 2,1	4		На небольших реках с тяжелыми шуго-левыми условиями при небольшой (до 1 м³/с) производительности водозабора. Простые, недорогостоящие, не требуют устройства рыбозаградителей. Трудоемкие в изготовлении, неиндустриальные, труднодоступные, подвержены засорению и заносу.

1	2	3	4
Железобетонный раструбный защищенный оголовок с боковым приемом воды: 1 – сороудерживающая решетка; 2 – раструб; 3 – железобетонный корпус оголовка; 4 – самотечный или сифонный водовод; 5 – крепление русла камнем; 6 – загрузка галечником, щебнем или тощим бетоном. Рекомендуемые размеры, м: A = 5,5-15,8; Б = 2,5-4,0; Г = 2,6-3,0; Д = 1,7-2,1; Н = 1,4-1,8	5		На небольших лесосплавных реках с легкими и средними природными условиями при небольшой (до 1 м³/с) производительности водозабора. Надежно защищают концы самотечных или сифонных водоводов, позволяют забирать воду с небольшими входными скоростями, могут выполняться индустриальным способом. Громоздкие и тяжелые в монтаже, требуют установки рыбозаградителей, труднодоступные
Железобетонный двухсекционный защищенный оголовок конструкции ВНИИВОДГЕО: 1 – водоприемные отверстия; 2 – самотечные или сифонные водоводы; 3 – железобетонное дноще и стенки оголовка; 4 – водоприемные раструбы; 5 – соединительные фланцы; 6 – смотровые люки; 7 – заглушки	6		На лесосплавных реках с тяжелыми шуголедовыми условиями при средней производительности (1-3 м³/с) водозабора. Хорошо обтекаемая форма, малые входные скорости, что дает возможность забирать воду из сильно шугоносных рек. Хорошо промывается. Сложный в монтаже, дорогостоящий, труднодоступный, требует установки рыбозаградителей

1	2	3	4
Водопримемник с вихревой камерой конструкции ВНИИ ВОДГЕО: 1 – сороудерживающая решетка на водопримемном отверстии; 2 – под-решетчатая камера; 3 – вихревая камера; 4 – входная щель; 5 – соединительные фланцы; 6 – струе-направляющий козырек	7		На реках со средними и тяжелыми природными условиями при малой и средней производительности водозабора. Обеспечивает небольшие одинаковые по всей длине входного отверстия скорости входа воды в оголовки, может работать при наличии шуги, хорошо промывается. Сложный в использовании, недоступный для осмотра, требует устройства рыбозаградителей
Бетонный оголовок в металлическом кожухе конструкции Гипрокоммунводоканала: 1 – металлический кожух; 2 – водопримемные отверстия; 3 – сороудерживающие решетки с электрообогревом; 4 – крепление дна реки вокруг оголовка; 5 – водопримемные воронки; 6 – самотечные или сифонные водоводы	8		На реках со средними и тяжелыми природными условиями при наличии в потоке топняка при производительности водозабора $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Устойчивый против ударов, хорошо обтекаемый потоком; не подвержен обледенению, сороудерживающие решетки с электрообогревом. Сложный в изготовлении (бетонирование под водой), труднодоступный для осмотра и замены решеток, требует установки рыбозаградителей

1	2	3	4
Эллиптический монолитный железобетонный оголовок: 1 – тело оголовка; 2 – сороудерживающие решетки на водоприемных отверстиях; 3 – крепление дна вокруг оголовка; 4 – самотечные или сифонные водоводы	9		На реках с легкими и средними природными условиями с большими скоростями течения воды при малой производительности водозабора. Хорошо обтекаемый, устойчивый, индустриальный. Сложный в изготовлении, недоступный для осмотра, требует установки рыбозаградителей
Круглый монолитный железобетонный оголовок: 1 – самотечный или сифонный водовод; 2 – сороудерживающие решетки; 3 – наклонная стойка; 4 – загрузка щебня, галечника или камня; 5 – верхнее кольцо оголовка	10		На реках с легкими и средними природными условиями при неустойчивом направлении течения воды с малой и средней производительностью водозаборов. Хорошо обтекаемый, устойчивый. Сложный в изготовлении, недоступный для осмотра, требует устройства рыбозаградителей

1	2	3	4
Сборный железобетонный оголовок конструкции Гипрокоммун-водоканала: 1 – верхний блок; 2 – нижний блок; 3 – самотечные или сифонные водоводы; 4 – сорорудерживающие решетки; 5 – консоли нижнего блока; 6 – опорный бортик; 7 – отверстия для выпуска воздуха	11		На реках судоходных и лесосплавных с легкими и средними природными условиями при средней производительностью водозаборов. Хорошо обтекаемый, устойчивый, индустриальный. Сложный в изготовлении и монтаже, недоступный для осмотра, требует устройства рыбозаградителей
Сборный железобетонный оголовок каплевидной формы: 1 – сорорудерживающая решетка на водоприемных отверстиях; 2 – верхний блок; 3 – самотечный или сифонный водовод; 4 – нижний блок; 5 – каменная наброска крепления дна русла в месте установки оголовка	12		На реках судоходных и лесосплавных с легкими и средними природными условиями и большими скоростями течения при средней и большой производительности водозаборов. Хорошо обтекаемый, устойчивый, изготавливается в заводских условиях. Недоступный для осмотра, требует устройства рыбозаградителей

Сифонный железобетонный оголовок: 1 – сороудерживающая решетка на водоприемном отверстии; 2 – козырек; 3 – самотечные или сифонные водоводы	13		На реках с легкими или средними природными условиями и большой производительностью водозабора. Обеспечивает очень малые входные скорости, хорошо промывается, устойчивый. Сложный в монтаже, недоступный для осмотра и контроля за работой
Сборный фильтрующий водоприемник: 1 – фильтрующие пластины на водоприемном отверстии; 2 – водоприемный раструб; 3 – направляющие на входе в самотечный или сифонный водовод; 4 – обсыпка оголовка щебнем или камнем; 5 – самотечные или сифонные водоводы	14		На реках со средними и тяжелыми природными условиями с большим количеством донных наносов и средней и большой производительностью водозабора. Надежный в работе при тяжелых шуголедовых условиях, не требует устройства рыбозащиты, может изготавливаться в заводских условиях. Сложный в монтаже, требует достаточных больших напоров для промывки
Фильтрующие оголовки конструкции ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева: <i>а</i> – в аллювиальном русле; <i>б</i> – бункерный; <i>в</i> – с вихревой камерой; <i>г</i> – упрощенный трубчатый: 1 – водоток; 2 – фильтр (гравий, щебень); 3 – отмостка; 4 – самотечный водовод; 5 – сборный трубопровод; 6 – корпус оголовка; 7 – решетка; 8 – подфильтровая камера; 9 – вихревая камера; 10 – струераспределительный щит	15		На реках с чрезвычайно тяжелыми шуголедовыми условиями при малой и средней производительности водозабора и любой глубине потока. Просты, надежно защищают водозабор от шуги, не стесняют русло, не требуют устройства рыбозаградителей. Требуют периодической промывки и замены фильтрующего материала, что выполнять весьма сложно. Плохо работают при больших количествах в реке донных наносов

1	2	3	4
Водоприемный оголовок с плавающей загрузкой: 1 – водоприемный оголовок с плавающей фильтрующей загрузкой; 2 – металлическая сетка каркаса фильтра; 3 – плавающая загрузка; 4 – водоприемные отверстия; 5 – всасывающая линия насосов	16		На реках с легкими и средними природными условиями и при малой (до $1 \text{ м}^3/\text{с}$) производительности водозаборов. Для систем сельскохозяйственного водоснабжения. Нет данных об исследованиях. Конструкция не изучена
Насосно-фильтровальный агрегат: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – плавающая загрузка; 4 – всасывающий трубопровод; 5 – сборно-распределительные трубы; 6 – решетка; 7 – сетка; 8 – сетка; 9 – шланг подачи воды на промывку; 10 – шланг подачи осветленной воды; 11 – насос	17		На реках с легкими и средними природными условиями и при малой (до $1 \text{ м}^3/\text{с}$) производительности водозаборов. Для систем сельскохозяйственного водоснабжения. Нет данных об исследованиях. Конструкция не изучена

Массивные бетонные и железобетонные оголовки, монолитные или сборные (табл. 7.5, схемы 8-13) рекомендуются для судоходных или лесосплавных рек при больших скоростях течения и любой производительности.

Фильтрующие (простые и комбинированные) оголовки применяют при малых глубинах потока, большом количестве донных и взвешенных наносов в чрезвычайно тяжелых шуго-ледовых условиях как при малой (табл. 7.5, схема 14), так и при большой производительности водозаборов.

Фильтрующие водоприемники осуществляют забор воды сквозь слой естественных или искусственных фильтрующих материалов и применяются для защиты водозаборов от шуги, взвешенных наносов, а также рыбозащиты. Фильтрующие водоприемники различаются видом и составом фильтрующего материала, компоновкой, расположением фильтрующих элементов и т.д. (табл. 7.5, 7.6).

Конструкции водоприемников имеют три основных элемента: несущий каркас или корпус, водоприемный фильтр и водосборный коллектор, включая его сопряжение с самотечным трубопроводом. Корпус фильтрующих водоприемников выполняют из дерева (ряж), железобетона, бетона, стали. Корпус должен иметь хорошо обтекаемые потоком формы, исключаящие изменение потока у поверхности фильтра. В качестве водосборных коллекторов применяют перфорированные трубы, деревянные галереи с постоянными и переменными поперечными сечениями по длине и со щелевыми отверстиями в стенках, а также вихревые камеры щелевого типа.

По направлению движения воды различают три основных типа фильтрующих водоприемников:

- с горизонтально расположенным фильтром и входом воды сверху вниз; применяют на реках с тяжелым шуголедовым и наносным режимом и малыми глубинами под мощным ледовым покровом (рис. 7.3, а);

- с горизонтальным фильтром и входом воды снизу вверх; применяют в водохранилищах и на реках с достаточными глубинами для предохранения водозабора от захвата взвешенных наносов и сора, а также в качестве рыбозащитных средств (рис. 7.3, б);

- с фильтром, расположенным в вертикальной плоскости, и входом воды по горизонтали; применяют на реках и водоемах в качестве средства борьбы с захватом транзитной шуги, а также для рыбозащиты (7.3, в).

Простейшие фильтрующие водоприемники представляют собой раструбные, ряжевые или свайные оголовки, водоприемные отверстия которых обсыпают щебнем, гравием, галькой и др. (табл. 7.5, схемы 4, 14, 15; табл. 7.6).

Толщина фильтра в 1-3 слоя принимается не менее 0,8 м, крупность материала фильтрующего слоя 25-80 мм. Промывка фильтра производится обратным током воды.

В качестве фильтров могут быть использованы керамзитовые и пакетно-реечные кассеты (рис. 7.3, з), а также кассеты, заполненные гранулами вспененного полистирола (табл. 7.5, схемы 16, 17; табл. 7.6, схема 7).

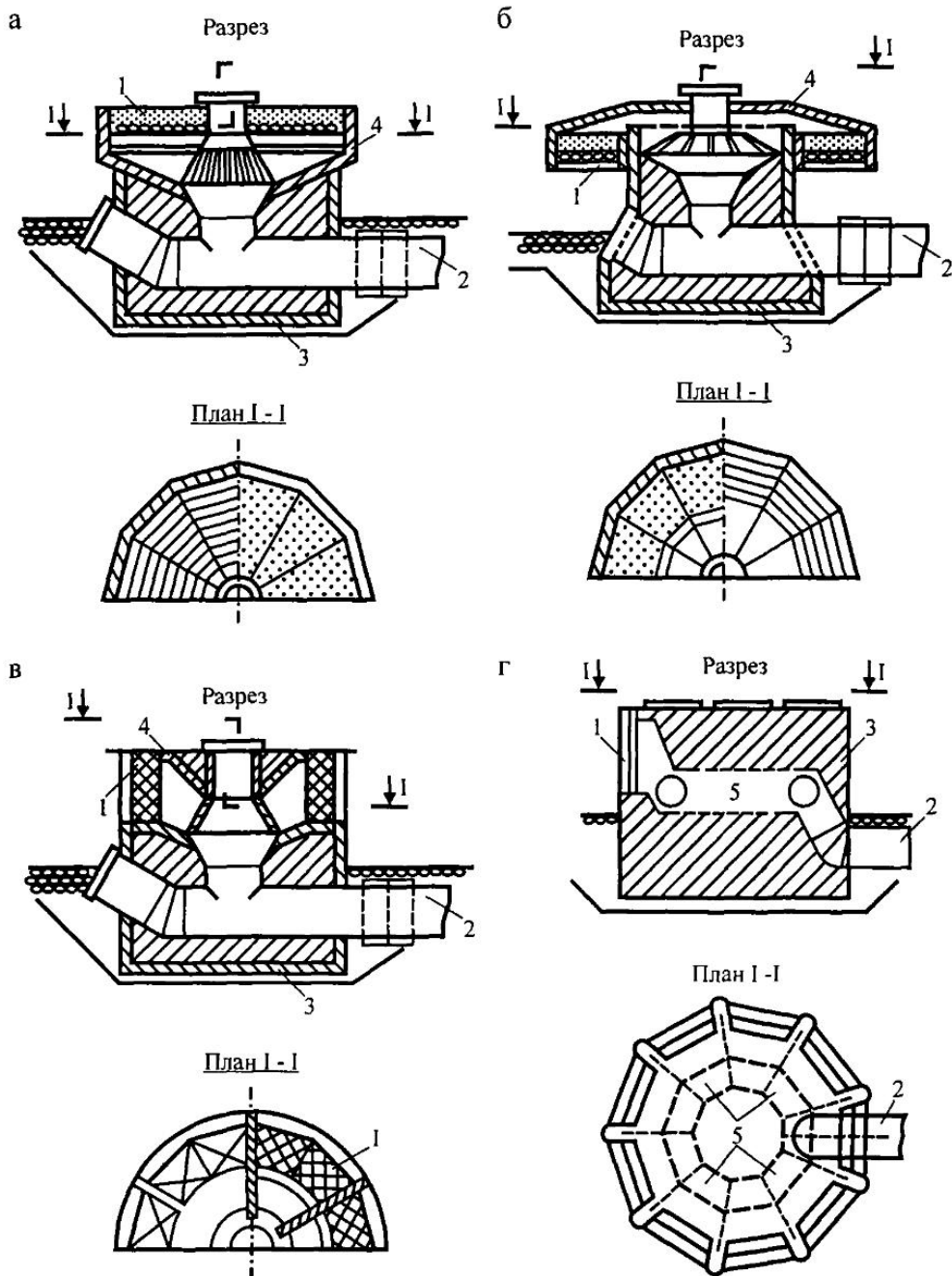
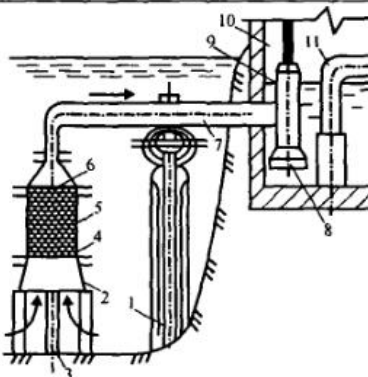
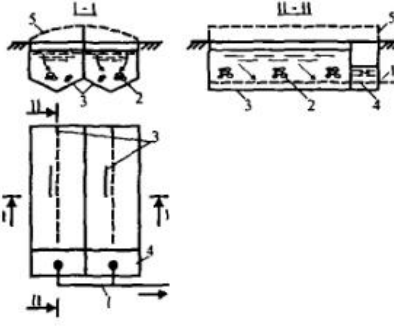
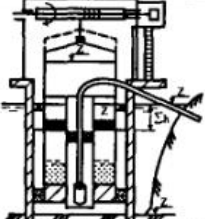
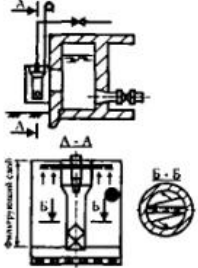
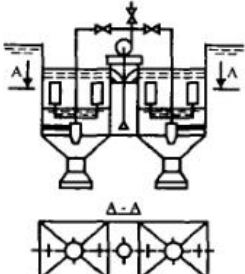


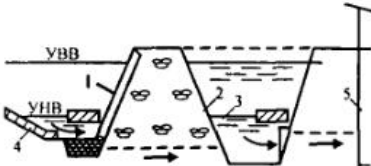
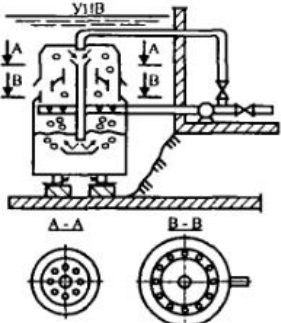
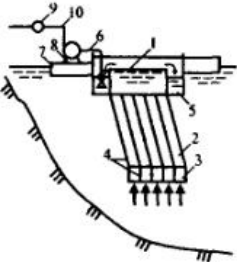
Рис. 7.3. Схемы затопленных водоприемников с радиальным приемом воды и рыбозаградительными фильтрами: а – I типа; б – II типа; в – III типа; г – в виде кассеты: 1 – фильтр; 2 – самотечная труба; 3 – оболочка, заполненная бетоном после опускания на дно; 4 – верхняя часть водоприемника, желательно съемная; 5 – вихревая камера

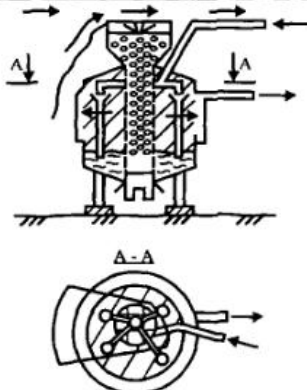
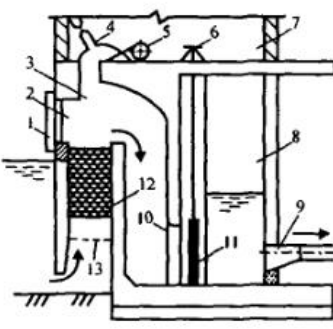
Водозаборно-очистные сооружения фильтрующего типа

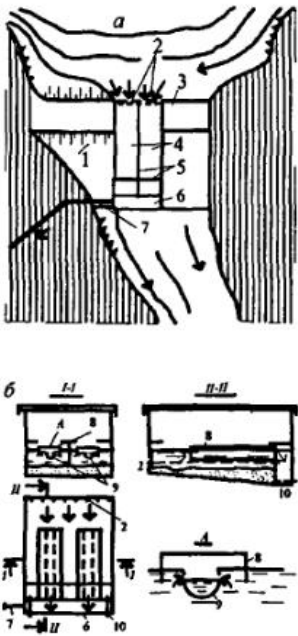
Тип водоприемного устройства	№ схемы	Эскизная схема	Область применения. Достоинства и недостатки
1 Русловый водозабор с трубным фильтрующим оголовком: 1 – свайный ростверк; 2 – водоприемный раструб; 3 – опорные стойки; 4 – кожух; 5 – плавающая фильтрующая загрузка из вспененного полистирола; 6 – поддерживающая сетка; 7 – самотечные трубы; 8 – тарельчатый клапан; 9 – напорный трубопровод для промывки фильтрующей загрузки обратным током воды; 10 – береговой колодец; 11 – всасывающие трубы насосов первого подъема	2 1	3 	4 На реках с легкими природными условиями забора воды и малой производительностью водозаборов. Для защиты водоприемных отверстий оголовков от обмерзания глубинным льдом и закупорки шугой. Работа русловых водозаборов с такими оголовками аналогична работе береговых водозаборов сифонно-фильтрующего типа. Конструкция не достаточно изучена.
Водозабор с фильтрующими водоочистными устройствами на мелководном источнике: 1 – трубопровод подачи очищенной воды; 2 – фильтрующая загрузка из гравия; 3 – дренажные трубы; 4 – водосборная камера; 5 – сетчатое перекрытие	2	II-I II-II 	Во вновь осваиваемых районах страны, где требуются небольшие по производительности сооружения. Сохраняется и улучшается качество воды непосредственно на водозаборах из поверхностных источников. Просты в устройстве. Надежны в эксплуатации.

1	2	3	4
Водозаборы с фильтрующими водоприемниками: а, б, в - на реках с мелкозернистыми отложениями; г - на маловодных источниках с крупнозернистыми алювиальными отложениями: 1 - фильтрующий оголовок; 2 - береговой колодец, совмещенный с насосной станцией; 3 - фильтрующая береговая галерея; 4 - фильтрующая загрузка в водоприемной камере; 5 - донный фильтрующий водоприемник	3		В южных районах на реках с резкими колебаниями мутности воды. Схема «в» рекомендована только для временного водоснабжения при потребности в воде 1000-2000 м³/сут. Не требуют устройства рыбозаградителей. Хорошо задерживают крупные взвешенные частицы. Низкие капитальные затраты на строительство. Требуют периодической промывки фильтра. Кольматация фильтра. Трудоемкость замены фильтрующего материала
Водозабор с фильтрующим оголовком на маловодной реке: 1 - водоприемный фильтрующий оголовок; 2 - самотечные трубопроводы; 3 - береговой водоприемник; 4 - шпунтовое ограждение	4		На маловодных реках в условиях Севера. Мало подвержены шуго-ледовому воздействию, обладают хорошими рыбозащитными свойствами
Береговой водоприемник с фильтрующим поворотным рыбозащитным устройством: 1 - сетчатые кассеты; 2 - пазовые направляющие; 3 - поворотный шарнир; 4 - поплавок; 5 - направляющие щеки; 6 - бычки	5		Для береговых водозаборов системы водоснабжения промышленных предприятий. Фильтрующий материал - керамзит. Производительность водозабора 200-300 м³/сут. Такое решение позволило избежать увеличения ширины водоприемного фронта. Трудность замены кассет

1	2	3	4
Плавающий водозабор фильтрующего типа А.с. № 1726676	6		Системы водоснабжения небольших населенных пунктов. Расход 480-15000 м³/сут. Эффект осветления 50%.
Фильтрующая кассета А.с. № 1698363	7		Для систем сельскохозяйственного, промышленного и коммунального водоснабжения. Рекомендуется использовать как в береговых, так и в русловых водозаборных сооружениях любой производительности. Эффект осветления 30%.
Плавающий водозабор фильтрующего типа А.с. № 1761680	8		Системы водоснабжения небольших населенных пунктов. На водотоках с незначительными колебаниями содержания взвешенных веществ. Расход 3600-14400 м³/сут. Эффект осветления 30%.

1	2	3	4
Водозабор с фильтрующим водоприемником на маловодной реке: 1 – берегоукрепление из каменной наброски (фильтрующее); 2 – фильтрующая призма; 3 – водосборная выемка; 4 – крепление русла; 5 – насосная станция	9		Включается в работу зимой в период ледостава, когда уровень в реке падает, снижая производительность на реках с небольшой глубиной. Прост, надежен в работе. Применим как для строительства новых, так и для реконструкции действующих водозаборов. Не предусматривает промывку фильтрующей призмы
Устройство для забора воды А.С. № 1528873	10		Системы сельскохозяйственного и промышленного водоснабжения производительностью 3000–10000 м³/сут. Эффект осветления 20–25%
Плавающий водозабор отстойник: 1 – приемная емкость; 2 – тонкослойные отстойники; 3 – ячеистые блоки; 4 – перегородки ячеистых блоков; 5 – сборники воды; 6 – всасывающие трубы; 7 – понтон; 8 – насосная станция первого подъема; 9 – шарнирное соединение; 10 – напорный трубопровод	11		Предназначены для предварительного осветления воды с высоким содержанием взвешенных веществ. Эффект осветления 25–40%. Малоэффективен на водоемах с низким содержанием взвеси.

1	2	3	4
Устройство для забора воды радиального типа А.с. № 1608301	12		Системы сельскохозяйственного и промышленного водоснабжения производительностью 6000-36000 м³/сут. Эффект осветления 25-30 %
Береговой водозабор сифонно-фильтрующий типа: 1 – заглушка; 2 – смотровое окно; 3 – водоприемник; 4 – трубопровод к вакуумному насосу; 5 – напорный трубопровод промывной воды; 6 – штурвал (колодка) управления шибером; 7 – служебный павильон; 8 – приемно-всасывающая камера; 9 – всасывающий трубопровод НС-I; 10 – окно на выходе из сифона; 11 – шибер; 12 – плавающая фильтрующая загрузка из зерен вспененного полистирола; 13 – поддерживающая сетка	13		На реках со средними и тяжелыми шуголедовыми условиями и с большим количеством донных наносов. Через смотровое окно можно производить осмотр и ремонт. Достоинство также в том, что облегчается работа водоприемника в зимнее время, так как приемные окна не обмерзают и не закупориваются шугой. Конструкция не изучена.

1	2	3	4
Прилотинный водозабор со встроенными водоочистными сооружениями: 1 – земляная плотина; 2 – водоприемные отверстия с сороудерживающими решетками и сетками; 3 – водосброс; 4 – горизонтальный двухсекционный отстойник; 5 – перегородки; 6 – водосбросная камера; 7 – трубопровод подвечи очищенной воды или на дальнейшую очистку; 8 – коробка с полупогруженными бортами; 9 – водосборные желоба; 10 – сбросные трубопроводы для осадка	14		В малых водохранилищах и прудах летом, особенно в периоды паводков, когда вода содержит повышенное количество взвешенных веществ, т.е. возникает необходимость дополнительной очистки воды. Производительность до 15000 м³/сут. Совмещается технология отбора и очистки воды. Удаление ианосов из отстойников осуществляется без остановки водозабора. Малоэффективен на водоемах с невысоким содержанием взвешенных веществ

Размеры водоприемных окон оголовков или фильтра принимаются в соответствии с расчетной площадью сечения. Основание водоприемника заглубляют на 1,0-1,5 м ниже дна реки для защиты от подмыва. Пространство между стенками водоприемника и откосами выемки выполняют камнем. При размываемых грунтах предусматривают укрепление дна вокруг водоприемника. Водоприемнику придают обтекаемую форму.

Затопляемые водоприемные оголовки по устройству аналогичны постоянно затопленным, но при минимальных и меженных уровнях воды верх оголовков возвышается над поверхностью воды, что упрощает их эксплуатацию. Однако они трудно вписываются в русло реки, затрудняют судоходство и лесосплав, приводят к резким переформированиям гидравлического режима реки, поэтому в системах питьевого водоснабжения применяются редко.

Незатопляемые оголовки (крибы) обеспечивают наибольшую надежность в приеме воды и бесперебойной ее подаче, удобны в эксплуатации, но являются сложными при строительстве и наиболее дорогими. Верх незатопляемого оголовка-колодца следует располагать на 0,5-1,0 м выше самого высокого уровня воды. Водоприемные окна располагаются в два или три яруса.

Незатопляемые водоприемники применяют на больших реках со значительными колебаниями уровней (более 10 м) при средней и большой производительности водозаборов в тяжелых природных условиях, когда устройство берегового водозабора технически невозможно или экономически нецелесообразно.

Самотечные и сифонные водоводы

Количество водоводов должно быть не менее двух. Их выполняют из стальных труб, допускается применение железобетонных и пластмассовых труб или в виде железобетонных галерей, если самотечные линии прокладывают в осушенном котловане водозабора. В случае укладки самотечных водоводов путем опускания под воду применяют стальные трубы с усиленной изоляцией.

Расстояние между линиями водоводов принимается от 0,7 до 1,5 м. Водоводы заглубляют под дно реки не менее чем на 0,5 м на несудоходных реках и на 0,8-1,5 м - на судоходных для защиты от подмыва речным потоком, истирания песком и повреждения якорями судов и плотов. Траншея с уложенными водоводами засыпается грунтом, который сверху укрепляется каменной наброской. Водоводы не должны иметь резких поворотов. Самотечные трубы могут быть уложены как горизонтально, так и с прямым или обратным уклоном в зависимости от глубины реки.

Сифонные водоводы укладывают с непрерывным подъемом к высшей точке для сбора и удаления воздуха ($i > 0,005$). Для автоматического постоянного отсоса воздуха из работающего сифона в нисходящую его ветвь, последнюю выполняют в виде трубы Вентури. Воздухосборник соединяют трубкой с суженным сечением трубы Вентури, которая действует как эжектор.

Самотечные, сифонные и всасывающие трубы во всех грунтах, за исключением скальных, плавунных и болотистых, укладывают на профилированном основании (естественном) ненарушенной структуры. В скальных грунтах основание выравнивают слоем песка. В плавунных, болотистых, рыхлых и нарушенных грунтах под трубы устраивают искусственное основание. В нарушенных грунтах между колодцем и насосной станцией всасывающие трубы и трубы промывной воды часто укладывают в галерее.

В месте примыкания самотечных линий к береговому колодцу обычно требуются глубокие траншеи. Применяют бестраншейную укладку труб методом прокола, продавливания или горизонтального бурения.

В береговой колодец водоводы вводятся с помощью сальникового устройства. В стенах колодца предусматривают установку патрубков для ввода новых самотечных, сифонных, всасывающих и других труб.

Для промывки самотечных и сифонных водоводов к береговому колодцу подводят воду от насосной станции. Труба для ввода промывной воды может быть уложена внутри или вне колодца. При укладке трубы вне колодца под ней устраивается искусственное основание в местах нарушенных грунтов. В колодце труба промывной воды присоединяется к водоводам.

Береговые колодцы. Площадка для строительства берегового водоприемника (колодца) должна быть выбрана выше на 0,5-1,0 м отметки УВВ расчетной обеспеченности с учетом высоты волны. При колебании уровней более 10 м по условию устойчивости на опрокидывание береговой водоприемник (колодец) устраивается не на берегу, а выдвигается в реку и сопрягается с берегом дамбой или мостом.

Глубина заложения водоприемного колодца берегового водозабора принимается с таким расчетом, чтобы он никогда не был подмыт течением реки. Для определения этой глубины используют данные изысканий о работе этой реки по подмыву берегов на несколько километров выше и ниже места водозабора по течению реки. Отметку основания водоприемника принимают на 0,5-1,0 м ниже наибольшей найденной глубины реки у берега.

Водоприемник выполняется железобетонным. Размеры отделений зависят от типа сеток (плоские или вращающиеся).

Основные минимальные необходимые конструктивные размеры берегового колодца приведены на рис. 7.4.

В приемном отделении водозабора устанавливается не менее двух секций с целью обеспечения бесперебойности его работы.

Глубина приемного отделения ниже входных окон должна соответствовать емкости, в которой бы поместился весь выпавший из воды песок в период между чистками секций. Для малых колодцев глубина принимается 0,5-0,8 м (при небольшом количестве наносов), для больших до 1,5 м. Если в водоприемнике устанавливаются вращающиеся сетки, глубина его назначается в зависимости от их размеров, но не менее указанных.

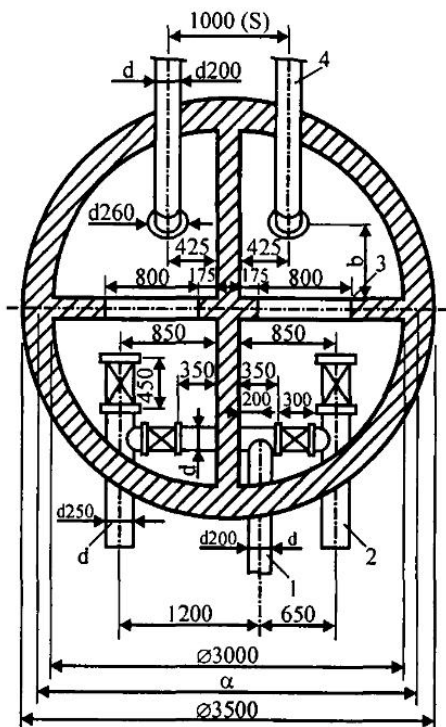


Рис. 7.4. План подземной части берегового колодца: 1 – труба для подачи воды на промывку; 2 – самотечные трубы; 3 – сетка; 4 – всасывающие трубы

Между приемным и всасывающим отделениями в перегородке устроены окна, в которых устанавливаются сетки. Верх нижних окон должен быть затоплен под аварийный уровень $Z_{\min}^{ab}$ на 0,2 м. Высота окна и сетки подбирается по данным расчетов. Под нижним окном в перегородке оставляется порог, высота которого принимается 0,5-1,0 м со стороны приемного отделения и 0,3-0,5 м со стороны всасывающего. Дно во всасывающем отделении должно быть выше, чем в приемном на 0,2-0,5 м для уменьшения поступления песка к всасывающим трубам.

При проектировании всасывающих труб учитываются требования: трубы не должны иметь резких поворотов и внезапных расширений. Радиусы закруглений должны быть не менее $3,5D$. Трубы укладывают с подъемом $I = 0,005$ к насосам во избежание образования в них воздушных мешков.

Таблица 7.7

Основные компоновочные размеры берегового колодца

Обозначение	Размеры, мм					
d	100	125	150	200	250	300
d_1	75-100	100-125	125-150	125-200	150-200	175-200
d_2	75-100	100-125	125-150	150-200	150-200	175-200
d_3	75-100	100-125	125-150	150-200	150-200	200-250
$D_{в.н.}$	1000	1000-1250	1500	1500-2000	1500-2000	2000-2500
b	2500	2750	2750	3000	3250	3500
a	400-500	400-500	500-1000	500-1000	500-1000	1000-1500
S_2	700	800	800	900	1000	1100
S_1	1000	1350	1400	1500	1500	1750

Размеры и число секций всасывающего отделения зависят от диаметра всасывающих труб и их количества. Число секций должно быть не менее двух для насосных станций I и II категории. При установке крупных насосных агрегатов число секций и труб принимается равным числу насосов. В одной секции можно располагать две или несколько всасывающих труб небольших диаметров, расстояние между которыми указано на рис. 7.4. Компоновка труб в плане диктует размеры секций всасывающего отделения. При этом приемное отделение рекомендуется принимать несколько больших размеров в плане, чем всасывающее.

Объем воды в каждой секции водоприемника должен быть не менее 3,0-3,5-кратного расхода воды, забираемого из секции по условию запуска насосов.

Дно секций выполняется с уклоном 0,07-0,1 к приямкам для сбора осадка, из которых он удаляется с помощью эжектора или насоса. Углы секций скругляются для удобства очистки. Секции оборудуются лестницами для обслуживания.

Толщина стен и дна колодца определяется при расчете железобетонной конструкции. Во многих случаях толщина стен и дна составляет 0,4-1,0 м, перегородок 0,2-0,3 м, бетонного основания 0,8-2,0 м.

В водоприемниках с вертикальными насосами размеры секций назначаются в зависимости от компоновки насосных агрегатов в плане.

Верх перекрытия шахты водоприемника должен быть на 1 м выше отметки УВВ с учетом высоты волны $0,6H_0$. Для удобства эксплуатации над водоприемником устраивается павильон из кирпича или сборных железобетонных элементов.

В береговых водоприемниках предусматривается следующее оборудование: затворы, задвижки и колонки управления ими, устройства для очистки и промывки сеток, удаления осадков, подъема решеток и сеток, лестницы, насосные агрегаты и электроустройства.

Береговые колодцы русловых водозаборов выполняются в основном аналогично вышеописанным, с той разницей, что в приемном отделении вместо входных окон закреплены концы самотечных или сифонных труб, на которых устанавливаются задвижки или затворы. Расстояние от низа до дна колодца принимается от 0,5 до 1,5 м в зависимости от содержания взвеси в воде реки. Верх трубы должен быть затоплен на 0,5-1,0 м. Глубина колодца определяется конструктивно в зависимости от отметки аварийного уровня $Z_{\min}^{ab}$ и минимальных необходимых размеров при размещении по высоте самотечных и всасывающих труб в секциях.

Пример размещения оборудования в колодце приведен на рис. 7.4.

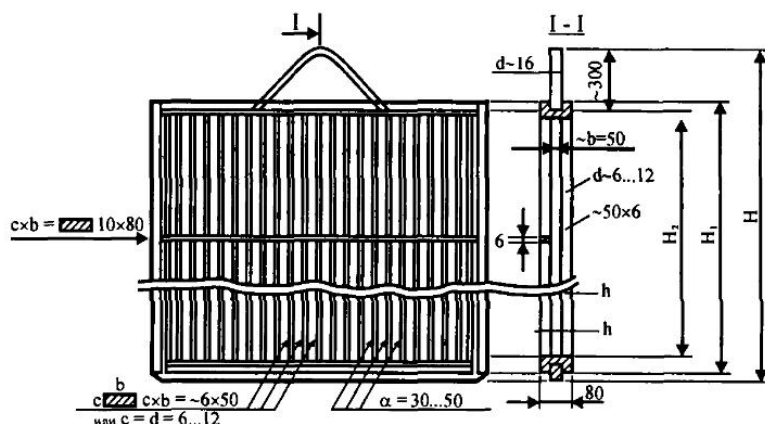
7.4. ОБОРУДОВАНИЕ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Решетки сороудерживающие

Водоприемные окна береговых водозаборов и входные отверстия оголовков водозаборов руслового типа оборудуются решетками, основное назначение которых – извлечение из воды плавающего сора (водной растительности, тины, листьев деревьев и т.п.).

Решетки съёмные представляют собой металлическую раму, сваренную из угловой стали или швеллера с металлическими стержнями из круглой или полосовой стали, расположенные вертикально с прозорами в свету 50-100 мм (рис. 7.5). Размеры сороудерживающих съёмных решеток представлены в табл. 7.8.

Рис. 7.5. Сороудерживающая решетка



Решетки с электрообогревом применяются в тяжелых шуголедовых условиях как одно из средств борьбы с обледенением и закупоркой решеток шугой.

В основу расчета электрообогрева решеток путем пропускания тока через их токопроводящие части положено условие поддержания температуры поверхности решеток выше температуры таяния льда. Подводное льдообразование начинается при температуре воды до минус 0,02-0,08°C. Чтобы предотвратить намерзание внутриводного льда на стержни решеток, их температуру и температуру воды необходимо повысить до 0,01°C.

Таблица 7.8

Съемные сороудерживающие решетки

Размеры водоприемного окна, мм	Основные размеры решетки, мм							Масса решетки, кг
	H	H_1	H_2	h	h_1	L	L_1	
400×600	840	700	600	50	40	500	400	20
600×800	1040	900	800	50	40	700	600	33
800×1000	1255	1130	1000	65	50	930	800	52
1000×1200	1620	1320	1200	80	50	1100	1080	90
1200×1400	1820	1520	1400	80	50	1300	1280	120
1260×2000	2600	2200	1986	120	60	1424	1404	253
1250×2500	3100	2700	2486	120	60	1424	1404	300

Часовой расход электроэнергии:

$$\mathcal{E} = Q_s \mathcal{E}_0, \text{ кВтч} \quad (7.1)$$

где Q_s – часовая производительность водозабора, м³/ч; $\mathcal{E}_0$ – удельные затраты электроэнергии на подогрев воды, принимаются 3,5-8,0 кВтч/м³.

Подводимая к решеткам мощность:

$$N = k \cdot \alpha \cdot (T_p - T_s) \cdot \Omega_p : 3600, \text{ кВт} \quad (7.2)$$

где k – коэффициент запаса, $k = 1,5$; T_p – температура на поверхности стержней решетки, $T_p = 0,04-0,05$ °C; T_s – температура речной воды во время шугохода, $T_s = (0,02-0,08)$ °C; Ω_p – площадь поверхности стержней решетки, м²; α – коэффициент теплопередачи от решетки к воде:

$$\alpha = 13978 v (0,05 + 1,5v), \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C)}, \quad (7.3)$$

где v – скорость движения воды в отверстиях решеток, м/с.

Необходимо учитывать, что чем больше опасность обмерзания решеток, тем меньшую скорость течения воды через них нужно принимать, так как большим скоростям соответствует большее переохлаждение воды. При скорости 1,5 м/с и выше следует принимать переохлаждение минус 0,08°C. При глубинах водоема до 10 м и волиах высотой более 0,8 м переохлаждение может быть наибольшим, при больших глубинах и незначительном ветровом волнении переохлаждение будет минимальным.

Ток и напряжение для электрообогрева решеток:

$$I = \sqrt{N/R}; \quad U = RI, \quad (7.4)$$

где R – омическое сопротивление решетки:

$$R = \frac{8\rho H_p}{N\omega}, \quad (7.5)$$

где 8 - коэффициент увеличения сопротивления решетки при питании ее переменным током; ρ - удельное сопротивление материала стержней решетки, принимаемое равным $0,098$ Ом для стальных стержней; H_p - высота решетки, м; N - число стержней решетки; ω - площадь поперечного сечения стержня, м^2 ;

Пример решетки с электрообогревом приведен на рис. 7.6.

Решетки с обогревом паром или горячей водой. Для парового обогрева решеток обычно используется отработанный пар от производственных паросиловых или специально сооружаемых установок.

Расход пара определяется по формуле:

$$G \approx 1,5 \cdot v \cdot T, \quad \text{кг/ч}, \quad (7.6)$$

где v - скорость движения воды в отверстиях решеток, м/с; T - температура, на которую подогревается вода, $^{\circ}\text{C}$.

Ориентировочно расход пара на обогрев решеток составляет $0,15$ - $0,20$ кг на 1 м^3 подогреваемой воды. Обогрев горячей водой целесообразно применять лишь при использовании отработавшей воды от производства.

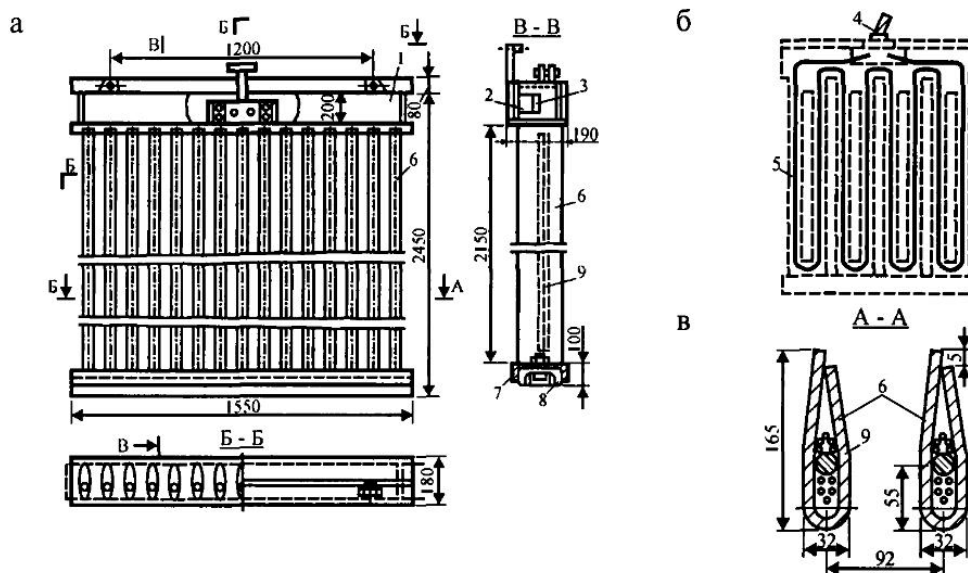


Рис. 7.6. Решетка съёмная с электрообогревом для входного окна размером 1450×2150 мм: а - механическая часть; б - электрическая часть; в - конструкция стержней решетки; 1 - сварная коробка из листового стали; 2 - кронштейн из уголков; 3 - эбонитовая клеммная доска; 4 - внешний источник питания; 5 - токонесущий кабель; 6 - полые стержни; 7 - основания из швеллера; 8 - деревянный брус; 9 - круглый стальной стержень для повышения интенсивности магнитного поля

Расчет усилия для подъема решеток. Грузоподъемность талей и кошек принимается исходя из необходимости преодоления ими силы тяжести решетки и силы трения в пазах. Усилие P подъема решетки определяется по формуле:

$$P = (M + h \cdot f \cdot F) \cdot K, \quad (7.7)$$

где M – масса решетки, т; h – давление воды на 1 м² решетки при допустимом перепаде 0,5 м, равное 0,5 т/м²; f – коэффициент трения металла по смоченному металлу, принимается 0,44; F – площадь решетки, м²; K – коэффициент запаса, равный 1,5.

Сетки сороудерживающие

Основное назначение сеток – предварительная механическая очистка воды источника от взвесей и планктонных образований, прошедших через решетки сооружения. Сетки устанавливаются в береговых колодцах водозаборов.

Сетки съемные плоские. Плоские сетки (рис. 7.7) просты по устройству и эксплуатации, в незначительной степени влияют на размеры береговых колодцев. Недостатком съемных плоских сеток является то, что их промывка осуществляется вручную, для чего в береговом колодце устанавливаются грузоподъемные устройства, с помощью которых осуществляется подъем и опускание сеток, а в надсеточном помещении располагаются устройства для промывки сеток.

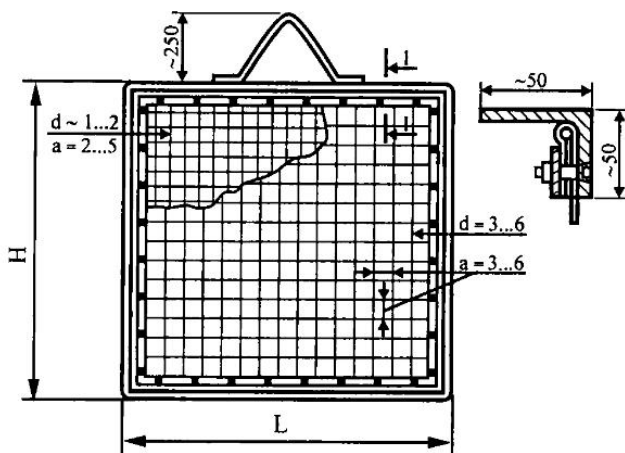


Рис. 7.7. Сетка плоская

Расчет усилия для подъема сеток определяется по формуле (7.7).

Размеры стандартных сеток приведены в табл. 7.9.

Сетки вращающиеся (рис. 7.8) представляют собой каркас, на котором закреплены два барабана – верхний приводной и нижний ведомый. На барабаны натянута лента, состоящая из отдельных, соединенных между собой шарнирно звеньев – плоских сеток. Размеры этих звеньев по высоте равны 250-600 мм. Ширина их стандартизирована в зависимости от требуемой рабочей площади сетки (1500, 2000 и 3000 мм).

Промывка сетки производится непрерывно или автоматически по достижении соответствующей степени загрязнения. Для этого используется ножевой спрыск. Смытые с сетки загрязнения поступают сначала в грязевой бункер, а оттуда – за пределы водоза-

бора. Автоматизация промывки сеток осуществляется по перепаду на них уровней воды ΔH . Вращающиеся сетки изготавливают в двух вариантах – с внешним (рис. 7.8, а) и внутренним (рис. 7.8, б) подводами воды.

Таблица 7.9

Размеры плоских съемных сеток

Размеры перекрываемого отверстия, мм		Наружные размеры сетки, мм		Масса сетки, кг при диаметре проволоки 1,2 мм и размере ячеек 2×2 мм
1	2	H	L	
800	800	930	930	47
	1000	1130		53,5
	1250	1380		61
	1500	1630		68,7
1000	800	930	1130	53,5
	1000	1130		60
	1250	1380		68
	1500	1630		88,8
	2000	2130		107,3
	2500	2630		119,5
1250	1000	1130	1380	67,8
1500	800	930	1630	69,2
	1000	1130		85,3
	1250	1380		97,2
	1500	1630		108,5
	2000	2130		127,5
	2500	2630		170,3
1750	1000	1130	1820	93,8
	1500	1630		118
	2000	2130		159
	2500	2630		185
2000	800	930	2130	91,7
	1000	1130		101,8
	1250	1380		114,7
	1500	1630		127,5
	2000	2130		172,3

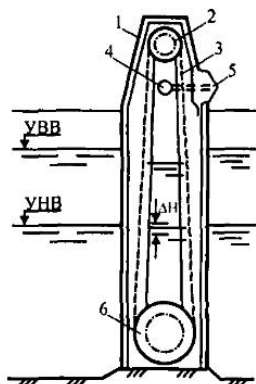


Рис. 7.8. Устройство вращающихся сеток:

а – сетка с внешним подводом воды; б – сетка с внутренним подводом воды; 1 – каркас; 2 – верхний приводной барабан; 3 – лента; 4 – ножевой спрыск; 5 – грязевой бункер; 6 – нижний ведомый барабан

Устанавливаются вращающиеся сетки на водозаборах в специальных сеточных шахтах или колодцах по одной из приведенных на рис. 7.9 схем подвода воды к ним.

Схема с лобовым подводом воды (рис. 7.9, а) характерна для водозаборов средней производительности на достаточно загрязненных плавающим сором источниках. Она может быть использована и на водозаборах небольшой производительности.

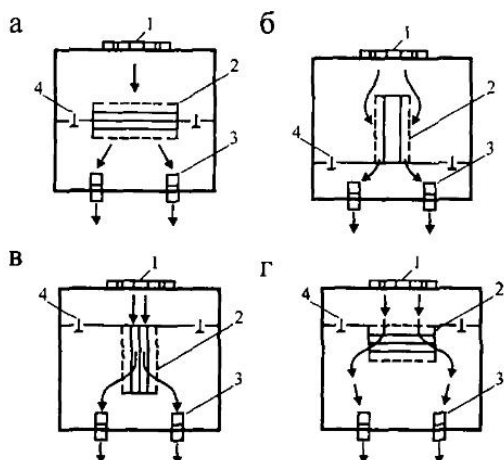


Рис. 7.9. Схема установки вращающихся сеток на водозаборах:

а – схема с лобовым подводом воды; *б* – схема с внешним подводом и внутренним отводом воды; *в* – схема с внутренним подводом и внешним отводом воды; *г* – схема с лобовым подводом и внутренним отводом воды: 1 – решетки; 2 – сетки; 3 – всасывающие трубы насосов; 4 – защитные устройства (клапаны)

дать схеме (рис. 7.9, б), так как при ней удобнее komponуется система сороудаления и упрощается конструкция самой сетки.

Схема (рис. 7.9, г) с лобовым подводом и внутренним отводом воды применяется на водозаборах средней производительности, работающих в тяжелых и очень тяжелых условиях забора воды.

Вся рабочая часть полотна выбранной вращающейся сетки должна располагаться ниже наименьшего расчетного уровня воды во всасывающем отделении берегового колодца.

Расход воды на промывку сеток:

$$Q_{\text{пр}} = N\mu\omega_0\sqrt{2gH}, \quad (7.8)$$

где N – число одновременно работающих промывных устройств; μ – коэффициент расхода отверстий промывных устройств: $\mu = 0,62-0,64$; ω_0 – площадь отверстий, через которые происходит истечение промывной воды, м^2 ; H – напор воды в промывном устройстве, м .

Суммарный расход воды на промывку сеток водозабора обычно не превышает 2% от его расчетной производительности. При расходах воды на промывку, превышающих $0,05 Q_{\text{пр}}$, гидравлические способы регенерации сеток становятся экономически невыгодными. В таких случаях прибегают к водо-воздушному способу промывки сеток, а также к интенсификации процессов отделения от них загрязнений вибрационным способом.

Размеры ячеек в сетках выбираются в зависимости от качества забираемой воды и технологических требований водопотребителей. При определении размеров ячеек вращающихся сеток ориентировочно можно пользоваться опытными данными, представленными в табл. 7.10.

Таблица 7.10

Размеры ячеек вращающихся сеток для различных водопотребителей

Водопотребители	Размер ячеек в свету, мм		
	минимальный	средний	максимальный
Бумажные фабрики	0,3 × 0,3	0,5 × 0,5	0,7 × 0,7
Тепловые электростанции	2 × 2	4 × 4	6 × 6
Нефтеперерабатывающий завод	2 × 2	3 × 3	4 × 4
Металлургический завод	3 × 3	5 × 5	8 × 8

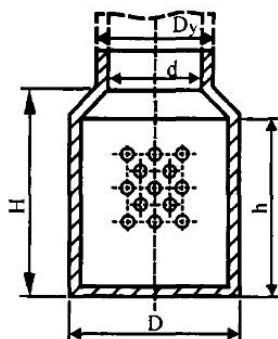


Рис. 7.10. Приемная стальная сварная сетка

Сетки приемные и воронки для всасывания и излива

На концах всасывающих трубопроводов для задержания крупных взвешенных загрязнений при заборе воды насосами иногда устанавливают приемные сетки (рис. 7.10, табл. 7.11).

Приемные сетки изготавливаются сварными из обрезков труб или листовой стали. Отверстия для прохода воды через сетку принимаются диаметром 5-20 мм в зависимости от требований, предъявляемых к воде. Учитывая засоряемость сетки, площадь всех отверстий принимают в 3-4 раза больше площади сечения всасывающей трубы.

Таблица 7.11

Сетки приемные стальные сварные

D_y , мм	D , мм	d , мм	H , мм	h , мм	Масса, кг
150	250	159	350	245	6,57
200	300	219	450	365	15,27
250	380	273	520	365	19,15
300	450	325	600	400	28,67
350	525	377	680	460	40,55
400	600	426	700	500	49,36
500	750	530	900	700	78,99

При отсутствии опасности попадания в насос крупных загрязнений из резервуара или приемной камеры часто устанавливают конусные воронки (рис. 7.11, табл. 7.12). Эти воронки также применяются при изливе воды в резервуарах. Конусная форма воронок позволяет уменьшить сопротивление как при всасывании, так и при изливе. Приемные сетки и воронки промышленностью не выпускаются, а изготавливаются на месте строительства.

Для обеспечения благоприятных условий подвода воды к вертикальным всасывающим трубопроводам и во избежание попадания воздуха во всасывающую трубу насоса

входное отверстие всасывающих труб необходимо заглублять не менее чем на $0,8D_{ex}$, а от дна колодца располагать его на высоте не менее $2D_{ex}$, при этом:

$$D_{ex} = (1,4 - 2) D_y, \quad (7.9)$$

где D_y – условный диаметр трубы.

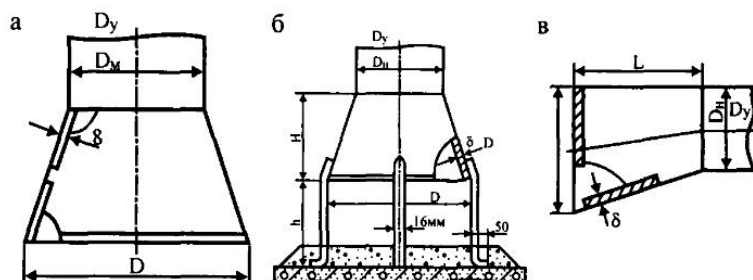


Рис. 7.11. Приемные воронки: а – воронка обычная; б – воронка с опорными стойками; в – воронка эксцентрическая

расстояние между ними (во избежание влияния их друг на друга) должно быть как можно большим, но не менее $(1,5-2,0)D_{ex}$.

Таблица 7.12

Приемные воронки стальные сварные

Условный проход D_y , мм	Размеры, мм						Число опорных стоек	Масса воронки, кг		
	D_n	D	H	h	L	δ		обычной	с опорными стой- ками	эксцентрической
100	108	190	115	250	150	4	3	1,75	2,27	2,4
150	159	270	165	300	190	6		5,4	6	6,6
200	219	380	230	350	225	6		10,5	11,2	9,5
250	273	470	280	400	350	6		15,9	16,7	18,3
300	325	565	340	500	550	6		23,3	24,2	33
350	377	650	390	550	600	6		30,8	31,8	40,5
400	426	730	440	600	490	6		39	40,1	39,5
500	529	900	540	700	685	8	4	70,3	71,6	95
600	630	1070	840	850	680	8		112,6	114,9	108,3
800	820	1400	840	1050	705	8		193,5	196,3	141
1000	1020	1750	1050	1300	475	10		375,6	379	136
1200	1220	2080	1250	1550	480	10		532	536	161

Для устранения образования воронок на концах всасывающих труб действующих сооружений могут быть установлены диафрагмы, что равносильно увеличению заглубления на 30% (рис. 7.12).

Затворы

Для отключения различных частей (секций, камер) водозаборных сооружений применяются затворы, которые бывают двух типов: постоянные и временные.

К временным относятся щитовые плоские затворы, которые устанавливаются на период ремонта отдельных частей водозабора или на случай какой-либо аварии на сооружении. При небольших гидростатических давлениях и для малых водозаборных окон эти затворы изготавливаются деревянными (рис. 7.13, табл. 7.13); для крупных водозаборных окон и при больших гидростатических давлениях – металлическими.

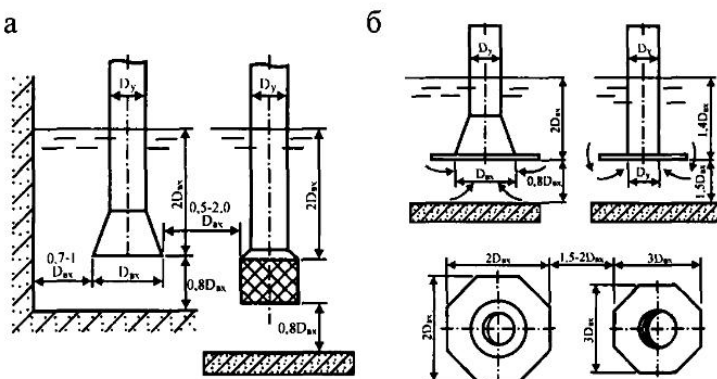


Рис. 7.12. Расположение всасывающих трубопроводов в приемном колоде при установке на концах труб: а – воронки и приемных секций (или обратных приемных клапанов); б – диафрагм

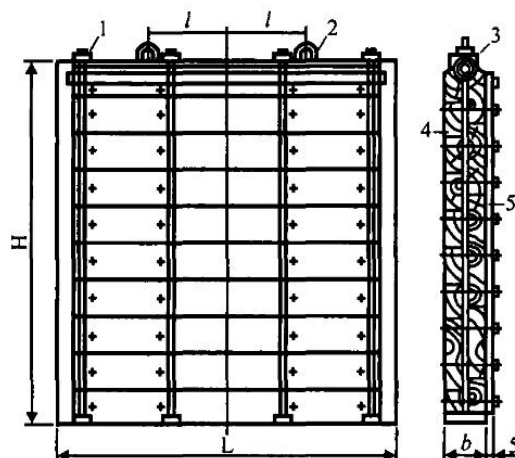


Рис. 7.13. Затвор щитовой деревянный:
1 – стяжные болты; 2 – подвески;
3 – ригель для подъема и спуска;
4 – дубовые или сосновые брусья;
5 – стальной лист для утяжеления и ликвидации плавучести щита

Затворы щитовые металлические (табл. 7.14) сваривают из швеллеров, уголков и листовой стали.

Таблица 7.13

Размеры щитовых деревянных затворов

Размеры, мм				Допускаемый напор, м водяного столба	Масса, кг
H	L	l	b		
1000	880	170	80	8	101
1000	890	170	110	15	117
1950	1850	400	170	8	684
1950	1850	400	220	15	820

Размеры металлических щитовых затворов

Размеры, мм				Масса, кг	Давление, м вод.ст
Входное окно		H	L		
высота	ширина				
2000	1250	2100	1005	420	10
2500	1250	2600	1255	506	

Усилие P , необходимое для подъема щитов, определяется по формуле (7.7), при этом коэффициент запаса K принимается равным 1,5.

Оборудование для удаления осадков из водоприемных камер

Скопившиеся в камерах водозаборных сооружений осадки и наносы удаляются с помощью водоструйных или центробежных насосов, а попавшие в водоприемник трава, щепы и подобный мусор удаляются обычно вручную после отключения отдельных секций водозабора из работы. Для механической очистки самотечных труб от скопившихся наносов применяют специальные скребковые разрыхлители и совки.

Водоструйные насосы (гидроэлеваторы) применяют для удаления осадков из водоприемных камер небольших водозаборов. Гидроэлеваторы бывают стационарные (рис. 7.14) и переносные (рис. 7.15).

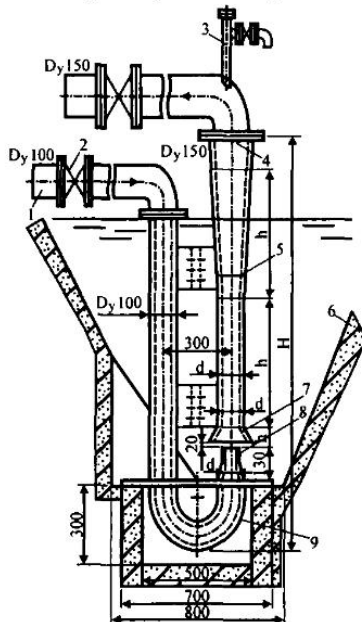


Рис. 7.14. Стационарный стальной гидроэлеватор:

1 — напорный водовод; 2 — задвижка; 3 — патрубок для прочистки; 4 — отводной патрубок; 5 — диффузор; 6 — водоприемная камера; 7 — смесительная камера; 8 — сопло напорного патрубка; 9 — напорный патрубок

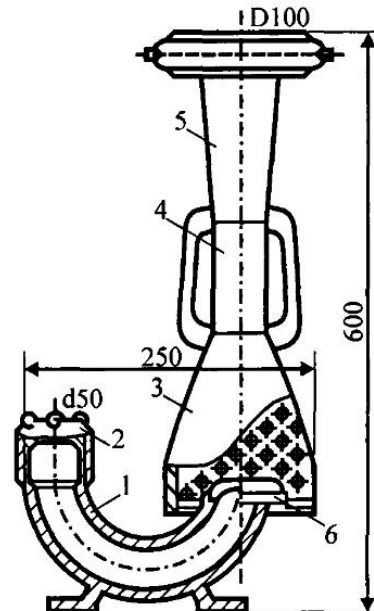


Рис. 7.15. Переносной чугунный гидроэлеватор марки ВСН-50:

1 — колено; 2 — двухдьюймовая соединительная головка; 3 — цилиндр всасывания; 4 — горловина; 5 — диффузор; 6 — сопло бронзовое

По сравнению с другими насосами гидроэлеваторы имеют ряд преимуществ: простота конструкции, обслуживания и ремонта, низкая металлоемкость, надежность работы, не требуют специальных производственных помещений для установки. К недостаткам гидроэлеваторов относятся большой расход воды и низкий КПД, равный 0,15-0,25.

Гидроэлеваторы промышленностью не выпускаются, изготавливаются как нестандартизированное оборудование по чертежам проектных организаций. Гидроэлеватор (рис.7.14) разработан двух типоразмеров (табл. 7.15).

Таблица 7.15

Техническая характеристика стационарных гидроэлеваторов

Типоразмер гидроэлеватора	Диаметр сопла D_c и горловины D_r , мм	Напор на выходе после диффузора, м	Расход рабочей воды Q_r , л/с	Напор рабочей воды H_c , м	Количество, л/с		Размеры, мм				КПД, η	Масса, кг
					Перекачиваемой пульпы	Перекачиваемого осадка	H	h_1	h_2	h_3		
I	$D_c=30$	10	23	62	53	30	1570	55	330	670	0,23	65
	$D_r=55$	15	22	52	42	20					0,25	
		20	25	70	45	20					0,24	
II	$D_c=40$	5	31	34	76	45	1575	80	480	500	0,24	67
	$D_r=80$	10	36	47	76	40					0,25	
		15	39	55	69	30					0,23	

Переносной гидроэлеватор (рис. 7.15) представляет собой чугунную отливку, с одного конца которой с помощью двухдюймовой соединительной головки подсоединяется шланг для подачи рабочей воды, с другой – ввертывается бронзовое сопло. Дно и стенка цилиндра имеют отверстия 8 мм, расположенные в шахматном порядке.

Таблица 7.16

Техническая характеристика переносного гидроэлеватора ВСН-50

Техническая характеристика	Единицы измерения	Количество
Производительность	м ³ /ч (л/с)	40-60 (12-17)
Напор	м	4-8
Расход рабочей воды	м ³ /ч (л/с)	22-36 (8-10)
Напор рабочей воды	м	50-80
КПД		0,19
Масса	кг	9

Устройства для промывки самотечных линий

Промывка самотечных линий может быть прямой – при движении промывной воды от оголовка к колодцу и обратной – движение промывной воды от колодца к оголовку.

Для прямой промывки увеличить скорость движения воды в промываемых трубах можно путем уменьшения на время промывки числа работающих самотечных линий.

На время закрытия одной из линий между водоисточником и береговым колодцем создается определенный перепад уровней воды. Затем задвижка этой линии быстро открывается, и вода по ней с большой скоростью устремляется в береговой колодец, вынося в него все отложения.

Поступившие в береговой колодец вымытые из линий отложения затем удаляются за пределы водозабора гидроэлеваторами. Промывку самотечных линий этим способом осуществляют при достаточно высоких уровнях воды в водоисточнике. При обратной промывке самотечные линии соединяют промывными линиями с напорными трубопроводами насосной станции первого подъема.

Линии средних (350-600 мм) и больших диаметров (более 600 мм) обычно промывают водовоздушным или импульсным способами. Для этого в водоприемном колодце (рис. 7.16) на выходе из самотечной линии устанавливают герметически закрывающийся затвор. Перед ним подключают к линии напорную колонну высотой 6-8 м и диаметром в 1,5-3 раза большего диаметра самой промываемой линии. В колонне создается разрежение с помощью вакуум-насоса. Вода в колонне поднимается до уровня, соответствующего степени разрежения, и при срыве вакуума в колонне устремляется в самотечную линию и обратным током промывает ее.

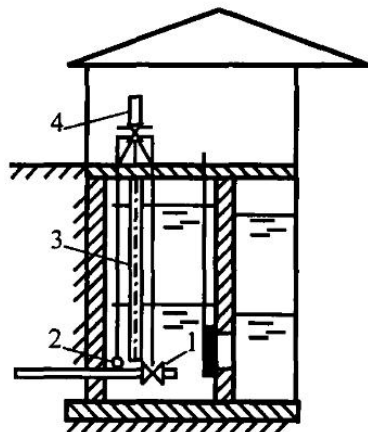


Рис. 7.16. Схема установки оборудования для промывки самотечных линий: 1 – герметически закрывающийся затвор; 2 – быстрооткрывающийся вентиль; 3 – напорная колонна; 4 – патрубок для подключения вакуум-насоса

7.5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДОЗАБОРОВ

Гидравлические расчеты водозаборов производят для нормальных и аварийных условий работы водозабора. Под нормальными условиями подразумевается одновременная работа всех секций водозаборов. При аварийных условиях эксплуатации одна из двух секций предполагается выключенной и весь расход (для водозаборов I категории) проходит по другой секции. Для водозаборов II и III категории допускается снижение водоотбора на 30%. Размеры основных элементов водозаборных сооружений должны определяться гидравлическими расчетами для нормального режима работы, а расчеты потерь напора и наивысшей допустимой отметки оси насосов выполняют для аварийного режима работы.

Определение размеров входных отверстий

Водоприемными отверстиями русловых водозаборов являются входные окна водоприемников с решетками, фильтры и вихревые камеры. Определение площади водоприемного отверстия (брутто) одной секции водозабора, m^2 , производится по формуле:

$$\Omega_{ax} = 1,25 \cdot K_{cm} \cdot Q_c / v_{от} , \quad (7.10)$$

где 1,25 - коэффициент, учитывающий засорение отверстий; Q_c - расчетный расход одной секции, m^3/c , который определяется по формуле

$$Q_c = \alpha Q_{\max \text{ сум}} / T \cdot N_c, \quad (7.11)$$

где $Q_{\max \text{ сум}}$ – расход воды системой водоснабжения в сутки максимального водопотребления, м³/сут; α – коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды водозабора и очистных сооружений водопровода, принимается в зависимости от качества воды в источнике и способа ее обработки; T – расчетная продолжительность работы водозабора в сутки наибольшего водопотребления, час; N_c – количество секций водозабора; v_{bm} – скорость втекания воды в водоприемные отверстия, м/с; K_{cm} – коэффициент, учитывающий стеснение отверстий стержнями решеток, фильтра.

Значение v_{bm} принимают для нормальных условий работы в зависимости от особенностей водоема (мутности, шугоносности, требований рыбозащиты, доступности и оснащенности водоприемных отверстий, от величины забираемого расхода). Допустимые скорости втекания воды в водоприемные отверстия затопленных водоприемников без учета требований рыбозащиты для средних и тяжелых условий забора воды принимаются 0,3-0,1 м/с. С учетом требований рыбозащиты: в водотоках со скоростями течения свыше 0,4 м/с допустимая скорость втекания – 0,25 м/с; в водотоках со скоростями течения до 0,4 м/с и в водоемах – 0,1 м/с. Меньшие значения скорости входа принимают в случае тяжелых шуголедовых условий. Для очень тяжелых шуголедовых условий скорости втекания воды в водоприемные окна рекомендуется снижать до 0,06 м/с.

При определении площади решеток по формуле (7.10) коэффициент K_{cm} определяется по формуле:

$$K_{cm} = (a + D) / a, \quad (7.12)$$

где a – расстояние между стержнями решеток в свету, принимается 5-10 см в труднодоступных отверстиях и 5 см во всех других случаях; D – толщина стержней, принимается 0,6-1,0 см.

Выбор размеров решеток (табл. 7.8) соответственно вычисленной площади производится при конструировании водоприемника в зависимости от глубины реки в месте забора воды.

Площадь водоприемных фильтров в водоприемниках фильтрующего типа определяют по формуле (7.10), при значении коэффициента K_{cm} :

$$K_{cm} = 1 / m_\phi, \quad (7.13)$$

где m_ϕ – пористость фильтра, принимается для гравийно-щебеночных фильтров 0,3-0,5 и порозластовых 0,25-0,35.

Скорость протекания воды в порах фильтра должна быть меньше критической скорости v_{kp} плавания защищаемой молоди рыб, имеющей длину тела L , м:

$$v_{kp} \cong 10L \quad (7.14)$$

Скорость втекания воды v_{am} (м/с) в фильтрующий водоприемник может быть назначена из условия скорости движения воды по реке v_p :

$$v_{am} = v_p / (3 \dots 4) \quad (7.15)$$

Размеры входных отверстий назначаются при конструировании водоприемника.

Площадь входной щели в вихревой камере определяется по формуле:

$$\omega_{щ} = Q_{\text{в}} / v_c, \quad (7.16)$$

где $Q_{\text{в}}$ - расход, проходящий через одну камеру, м³/с; v_c - скорость в самотечном водоводе, м/с.

Размеры щели назначаются при конструировании.

Наибольший диаметр в конце трубчатой вихревой камеры:

$$D_{\text{max}} = \frac{0,886\sqrt{Q_{\text{в}}}}{v_{\text{max}}}, \quad (7.17)$$

где v_{max} - наибольшая скорость течения в конце камеры, принимаемая равной 0,75-1,0 м/с (должна быть меньше скорости в самотечном водоводе).

Длина камеры принимается:

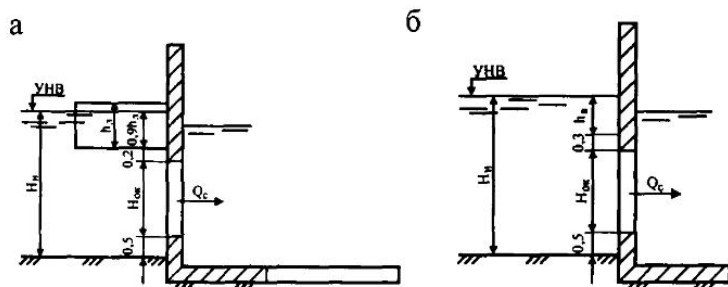
$$L = (6-10)D_{\text{max}} \quad (7.18)$$

При расчете береговых водозаборов размеры водоприемных окон, решеток, труб определяют аналогично расчетам элементов русловых водозаборов.

Суммарная площадь входных окон определяется по формуле (7.10). Число и размеры входных окон назначают с учетом конструктивных соображений и условий эксплуатации.

Размеры водоприемных окон водозабора определяются исходя из необходимости обеспечения требуемой надежности их работы в зимний и весенний периоды года. Чтобы не допустить попадания донных наносов в водозабор, нижнюю кромку водоприемных окон следует располагать на 0,5 м выше дна русла водоисточника (рис. 7.17). Образующийся перед входными окнами порог необходим для задержания выпадающих здесь наносов.

Рис. 7.17. Расчетные условия работы водоприемных устройств:
а - в зимний период; б - в летний



Для обеспечения нормальных условий забора воды верхняя кромка водоприемных окон должна находиться на 0,2 м ниже ледового покрова и на 0,3 м ниже ложбины волны в водоисточнике. Поэтому при необходимой глубины источника в месте расположения водозабора $H_{\text{л}}$ при высоте полуволны $h_{\text{л}}$ и расчетной толщине льда $h_{\text{л}}$ проектной высоте водоприемных окон водозабора $H_{\text{ок}}$ может быть принята как наименьшее из двух значений:

$$H_u = H_{ок} + 0,9 + 0,7 \quad (7.19)$$

$$H_u = H_{ок} + h_g + 0,8 \quad (7.20)$$

где H_u – расчетная глубина источника; $H_{ок}$ – проектная высота водоприемного окна; h_g – расчетная толщина льда; h_g – высота полуволны. Коэффициент 0,9 характеризует плотность льда и глубину его погружения в воду.

Горизонтальные размеры водоприемных отверстий водозабора принимаются с учетом возможности перекрытия их стандартными решетками.

Расчет самотечных трубопроводов

Диаметр самотечных труб определяется при уровне низких вод (УНВ) по расходу при нормальном режиме работы водозабора и по скорости движения воды 0,7-2,0 м/с (табл. 7.17). Большие величины скоростей принимают при большой производительности и значительном количестве наносов, а также при малой длине труб. Скорость движения воды в самотечных трубах принимается не менее скорости течения реки v_p при УНВ.

Таблица 7.17

Скорости движения воды в самотечных водоводах

Длина водовода, м	Скорости движения воды, м/с, в водозаборах категории	
	I	II и III
300-500	0,7-1,0	1,0-1,5
500-800	1,0-1,4	1,5-1,9
Более 800	1,5	2

Принимают стандартные диаметры труб, округляя полученные расчетом в меньшую сторону, по принятому стандартному диаметру уточняют скорость $v_{сам.тр} \geq v_p$. Затем проверяют скорость в паводок при пропуске полного расхода по одной линии.

Скорости в самотечных трубах должны быть проверены:

а) на незаиляемость транспортируемыми по трубе наносами:

$$v \geq v_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\rho \cdot \omega \cdot D \cdot g}{0,11 \cdot \left(1 - \frac{\omega}{U}\right)^{4,3}}}, \quad (7.21)$$

где v – скорость течения воды в самотечных линиях, м/с; ρ – количество наносов, кг/м³; ω – средневзвешенная гидравлическая крупность наносов, м/с, принимается по табл. 7.18; D – диаметр водовода, м; U – скорость выпадения частиц взвеси в потоке: $U \approx 0,07v$, м/с.

Таблица 7.18

Гидравлическая крупность взвешенных частиц в воде источника

Взвесь		Гидравлическая крупность, мм/с	Размер частиц взвеси, мм
Галька	крупная	1345	50 – 150
	мелкая	765	16 – 50
Гравий	крупный	425	5 – 15
	мелкий	241	1,5 – 5,0
Песок	крупный	100	1,5 – 0,5
	средний	50	0,5 – 0,15
	мелкий	7	0,15 – 0,05
Ил	крупный	6	0,05 – 0,10
	средний	0,7	0,015 – 0,05
	мелкий	0,066	0,005 – 0,015
Глина	крупная	0,005	0,001 – 0,005
	мелкая	0,00044	0,0005 – 0,001
Коллоидные частицы		0,000007	0,000001 – 0,0005

б) на подвижность захватываемых в трубу наносов крупностью D , м:

$$v \geq A(D \cdot d)^{0,25}, \quad \text{м/с}, \quad (7.22)$$

где A - параметр, принимаемый равным 7,5-10,0; d - диаметр частиц взвеси, м.

Проверку проводят для случая работы при УВВ. Диаметр самотечных линий водозабора должен обеспечивать возможность гидравлического удаления отложившихся в них наносов путем прямой или обратной промывки линий водовоздушным, импульсным и другими способами. Расчетный расход для промывки самотечных водоводов определяется по требуемой величине скорости v (7.22).

Расчетные расходы Q_n для промывки решеток фильтрующих водоприемников и кассет принимаются:

- для ряжевых фильтрующих водоприемников:

в

$$Q_n = (1,5 - 2,0)Q_s; \quad (7.23)$$

- для фильтров с приемом воды снизу вверх:

$$Q_n = 0,5Q_s; \quad (7.24)$$

- для отверстий, расположенных в вертикальной плоскости и огражденных сдерживающими решетками:

$$Q_n = 0,75Q_s; \quad (7.25)$$

- для фильтрующих рыбозаградительных кассет, установленных в вертикальной плоскости:

$$Q_n = Q_{св} \quad (7.26)$$

где $Q_{св}$ - расход воды, забираемой одним водоприемным отверстием.

Решетки и кассеты, установленные на горизонтальных отверстиях, требуют для промыва дополнительного подвода сжатого воздуха в количестве 16-20 л/(см²) - в водотоках и 20-25 л/(см²) в водоемах.

Диаметр трубы для подвода промывной воды от насосной станции к самотечным линиям назначается по наибольшему потребному расходу (для очистки труб или решеток) и скорости 2-3 м/с.

Потери напора определяются для двух основных случаев работы водозабора (при УНВ и УВВ) и на случай аварии, когда допускается снижение подачи воды на 30%.

Для первого случая - работы водозабора при низком уровне воды в источнике (УНВ) - работают все линии самотечных труб (обычно две). Потери напора составляют:

$$\sum h_{УНВ} = h_L + h_{\xi}, \quad (7.27)$$

где h_L - потери напора по длине, м. Длина самотечных труб определяется по профилю; h_{ξ} - местные потери напора, м:

$$h_{\xi} = h_{вх} + h_{суж} + h_{пов} + h_{вых} = \sum \xi (v_{УНВ})^2 / 2g \quad (7.28)$$

где $h_{вх}$, $h_{суж}$, $h_{пов}$, $h_{вых}$ - потери напора на входе, при сужении, повороте, на выходе, м; $v_{УНВ}$ - скорость движения воды в самотечных трубопроводах при УНВ, м/с; ξ - коэффициенты местных сопротивлений (табл. 7.19)

Величина потерь напора в сороудерживающей решетке принимается равной 0,05 м
Потери напора в фильтрующих кассетах:

$$h = 1,25 \cdot S \cdot \left(\frac{v_{от}}{K_{\phi}} \right)^2, \quad \text{м}, \quad (7.29)$$

где S - толщина кассеты, м; $v_{от}$ - скорость втекания воды, м/с; K_{ϕ} - коэффициент фильтрации, м/сут, принимается по опытным данным (табл. 7.20).

Суммарные потери энергии для вихревых камер:

$$h = \left(\frac{0,03}{0,05} \right) + 4,2 \cdot \frac{v_c^2}{2g}, \quad \text{м}, \quad (7.30)$$

где v_c - скорость течения воды в самотечном трубопроводе, м/с; g - ускорение свободного падения, м/с².

Для второго случая - работы при УВВ (паводок) - весь расход пропускают по одной (из двух) линии для обеспечения в самотечных трубах скоростей больших, чем в реке.

Потери напора определяют при скорости $v_{УНВ}$ и общем расчетном расходе водозабора $Q_{расч}$.

Таблица 7.19

Коэффициенты местных сопротивлений

Местное сопротивление	Схема	Значение коэффициента ξ					
1	2	3					
Внезапное расширение потока		$\xi = [(\omega_2/\omega_1) - 1]^2$					
Внезапное сужение потока		$\xi = 0,5 [1 - (\omega_2/\omega_1)]$					
Вход в трубу		B/D	0,5	0,05	0		
		ξ	0,68	0,51	0,5		
		При $B = 0$ и скругленной кромке $\xi = 0,1-0,25$					
Выход в большой резервуар		$\xi = 1$					
Конфузор		$\xi = \lambda/8 \sin(\phi/2) \cdot [(N^2 - 1)/N^2]$ λ - коэффициент сопротивления по длине; $N = \omega_2/\omega_1$					
Диффузор		$\xi = \kappa [(\omega_2/\omega_1) - 1]^2$					
		ϕ°	5	10	15	20	30
		κ	0,13	0,17	0,26	0,41	0,71
Поворот трубы		ϕ°	30	40	50	60	90
		ξ	0,2	0,3	0,4	0,55	1,1
Колено с закруглением		R/R	0,10	0,20		0,30	
		ξ	0,13	0,14		0,16	
Дроссель открытый		a/D	0,10	0,15	0,20	0,25	
		ξ	0,05-0,10	0,10-0,16	0,17-0,24	0,25-0,35	
Задвижка		h/D	1/4	1/3	1/2	2/3	1
		ξ	23	12	3,3	0,77	0,05
Обтекание отвода на трубе круглого сечения		$\xi = 0,15$					
		$\xi = 0,10$					
		$\xi = 0,05$					

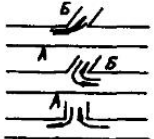
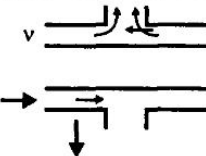
1	2	3
Обтекание отвода поворотом потока		$\xi_A = 0,5; \xi_B = 1;$ $\xi_A = \xi_B = 3;$ $\xi = 1,5$
Питание отвода		$\xi = 3$ если $\eta = v_1/v_2$, то $\xi_{1,2} = \eta^2 - 1;$ $\xi_{1,3} = 2$

Таблица 7.20

Коэффициенты фильтрации

Фильтрующий материал	Диаметр D , мм	Коэффициент фильтрации K_ϕ , м/сут
Щебень	40-60	0,234
Керамзит	25	0,2
Пластмассовые шары	30	0,195
Пакетно-речное заполнение	30	0,195

Для третьего случая – работа при аварии – потери напора вычисляются в зависимости от расчетных скоростей движения воды при аварийном режиме (при сниженном расчетном расходе $Q_{расч} = 0,7 Q_n$).

Сифонные водоводы

Сифонные водоводы допускается применять в водозаборах II и III категории. Эти водоводы обычно выполняются из стальных труб, количество их принимается не менее двух.

Диаметр водоводов определяется по расходу при нормальном режиме работы водозабора и по скорости движения воды в них 0,7-1,2 м/с.

Наибольшая величина вакуума должна создаваться в верхней точке сифона, в которой устанавливается воздухоотборник, соединенный с вакуум-насосом. Допускаемая высота сифона, равная разности отметок его верхней точки и УНВ, определяется при аварийном режиме по формуле:

$$H_c = \frac{P_{\text{вак}}}{\rho \cdot g} - h_b = \frac{P_{\text{вак}}}{\rho \cdot g} - \left(1 + \frac{\lambda \cdot L_c}{d} + \sum \xi \right) \frac{v^2}{2g} \quad \text{м}, \quad (7.31)$$

где $\frac{P_{\text{вак}}}{\rho \cdot g}$ – допускаемый вакуум в высшей точке сифона, принимается 0,6-0,7 МПа;

$\frac{\lambda \cdot L_c \cdot v^2}{d \cdot 2g}$ - потери напора по длине сифона от руслового водоприемника до воздухо-
сборника, м;

$\sum \xi$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений в сифоне; v - скорость движе-
ния воды в сифонном водоводе при аварийном режиме, м/с; h_g - потери напора в восхо-
дящей ветви сифона, м.

Общая потеря напора в сифонном водоводе и водоприемнике:

$$h = h_g + h_n + h_{реш} \text{ м,} \quad (7.32)$$

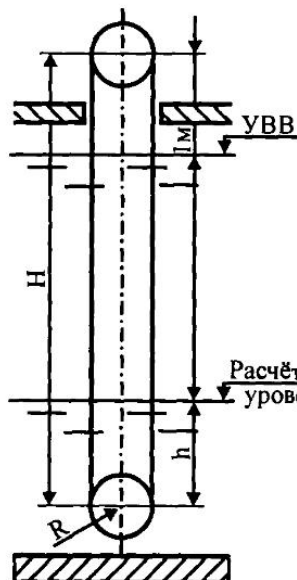
где h_n - потери напора по длине и местные в нисходящей ветви сифона, м; $h_{реш}$ - потери напора в решетке, м.

Определение производится для условий нормального и аварийного режима работы водозабора.

Расчет площади плоских или вращающихся сеток

Выбор типа сеток производится в зависимости от производительности водозабора и условий забора воды. При малой производительности и легких условиях забора воды принимаются плоские сетки, при средней и большой производительности, а также при средних, тяжелых и очень тяжелых условиях забора воды - вращающиеся сетки. На рис. 7.18 приведена схема для гидравлического расчета вращающейся сетки.

Площадь сеток определяется по формуле (7.10), где коэффициент $K_{см}$ вычисляется по формуле:



$$K_{см} = [(a + D / a)^2, \quad (7.33)$$

где a - размер ячейки в свету, принимается для плоских съемных сеток 0,2; 0,35; 0,45 см, для вращающихся - 0,2-0,3 см; D - толщина проволоки, принимается 0,1; 0,12 см.

Допустимые скорости течения в сетках, не являющихся рыбозаградительными, принимаются равными 0,2-0,4 м/с - для плоских и 0,4-0,5 м/с - для вращающихся сеток.

Размеры плоских съемных сеток (рис. 7.7) подбираются по табл. 7.9 при конструировании берегового колодца.

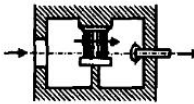
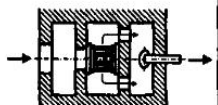
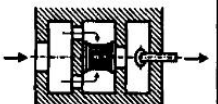
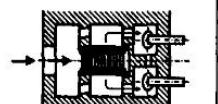
Вращающиеся сетки принимаются по табл. 7.21.

Глубина погружения сетки под аварийный уровень и ее общая высота определяется по формулам (7.34-7.36):

- для сеток с внешним (и внутренним) двухсторонним подводом воды:

Рис. 7.18. Схема для гидравлического расчета вращающейся сетки

Основные технические данные вращающихся сеток

Тип сетки	Схема подвода воды к сетке	Производительность, м ³ /с	Ширина полотна сетки, м	Скорость движения полотна, м/мин	Мощность электродвигателя кВт
С лобовым подводом воды 1. Каркасного типа: конструкции Водоканал-проекта 2. Бескаркасного типа: конструкции Водоканал-проекта		1,3- 1,7	1,84-2,24	4	2
		5,5	3,1	5,25	4,5
		1,5- 2,5	2	4	4
С внутренним подводом воды Каркасного типа конструкции Гидромонтажа		2,6-4	2	4	2-3,6
С внешним подводом воды Каркасного типа: конструкции Гидростальпроекта		1,5-8	1,5-3	4	2,8-4,5
С лобово-внешним подводом воды		1-3,0	1,84-2,24	4	2

$$h = (\Omega_{ep} - \pi BR) / 2B, \quad (7.34)$$

$$h = \Omega_{ep} / B, \quad (7.35)$$

где B – ширина полотна сетки, м; R – радиус закругления сетки, м; Ω_{ep} – расчетная площадь вращающейся сетки, м².

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

$$H = h + h_1 + h_2 + l, \quad (7.36)$$

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

Вся рабочая часть полотна выбранной вращающейся сетки должна располагаться ниже наименьшего расчетного уровня воды во всасывающем отделении берегового колодца.

Отметки уровня воды в береговом колодце

Расчетные отметки воды определяют в зависимости от уровня воды в источнике и потерь напора при разных режимах работы самотечных труб при УНВ, УВВ, при аварии.

В приемном отделении берегового колодца отметка Z_{np} при УНВ:

$$Z_{np} = Z_{УНВ} - \sum h_{УНВ}, \text{ м}, \quad (7.37)$$

где $\sum h_{УНВ}$ – общие потери напора, м.

Аналогично определяются отметки уровня воды при УВВ и при аварии.

Во всасывающем отделении отметки уровней воды будут меньше, чем в приемном отделении на величину потерь напора в сетке, которые принимаются для нормального режима 0,1 м; для аварийного: 0,15-0,2 м.

Отметки отдельных конструкций оборудования в береговом колодце принимаются конструктивно:

- отметка пола наземной части берегового колодца:

$$Z_{пола} = УВВ + (0,5...1,0), \text{ м}; \quad (7.38)$$

- отметка выхода самотечных труб в приемное отделение (зависит от наименьшего уровня воды в нем Z_{np}):

$$Z_{с.тр.} = Z_{np} - 0,3, \text{ м}; \quad (7.39)$$

- отметка верхней кромки рабочей части полотна сетки должна быть ниже наименьшего уровня воды во всасывающем отделении колодца:

$$Z_{с1} = Z_{с.мин} - (0,1...0,2), \text{ м}; \quad (7.40)$$

- отметка нижней кромки рабочей части полотна сетки:

$$Z_{с2} = Z_{с1} - H_c = Z_{с1} - \Omega_c / B_c, \text{ м}, \quad (7.41)$$

где H_c – высота рабочей части сетки, м; Ω_c – расчетная площадь сетки, м²; B_c – ширина сетки, м;

- отметка дна всасывающего отделения водозабора:

$$Z_{дна} = Z_{с2} - D - 0,5, \text{ м}, \quad (7.42)$$

где D – диаметр нижнего барабана вращающейся сетки (для плоских сеток $D = 0$), м; 0,5 – высота порожка за сеткой, м;

- отметки осей верхнего и нижнего барабанов вращающейся сетки:

$$Z_{\delta1} = Z_{УВВ} + c + \delta + A, \text{ м}, \quad (7.43)$$

$$Z_{\delta 2} = Z_{yBB} - H_c - 0,5D, \text{ м}, \quad (7.43)$$

где c - превышение перекрытия водозабора над расчетным максимальным уровнем воды в источнике, принимаемое равным 1,0; 0,8 и 0,5 м для водозаборов I, II и III категории надежности забора воды; δ толщина перекрытия водозабора, принимается равной 0,2-0,3 м; A - высота расположения оси верхнего барабана (звездочки) сетки над верхней плоскостью перекрытия (над полом сеточного помещения), принимается 0,8-1,2 м в зависимости от типа сетки.

При вычислении отметок отдельных конструкций и оборудования приведенные цифровые значения могут быть изменены в зависимости от конкретных условий размещения оборудования, при этом необходимо учитывать, что высота приемной секции по вертикали от выхода самотечных труб ($Z_{сгр.}$) до дна колодца ($Z_{дна}$) должна быть не менее 1,0 м из условия накопления выпадающих в осадок взвешенных частиц, захваченных водоприемником из источника.

7.6. РАСЧЕТЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВОДОПРИЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Затопленные водоприемные оголовки водозаборных сооружений (рис. 7.19) подвергаются воздействию силы тяжести G , сил взвешивающего P и гидродинамического F давления воды.

Затопленные водоприемные оголовки находятся в состоянии статической устойчивости только тогда, когда коэффициенты их устойчивости на сдвиг и опрокидывание не меньше нормируемых, а дно русла водоисточника вокруг оголовка не размывается:

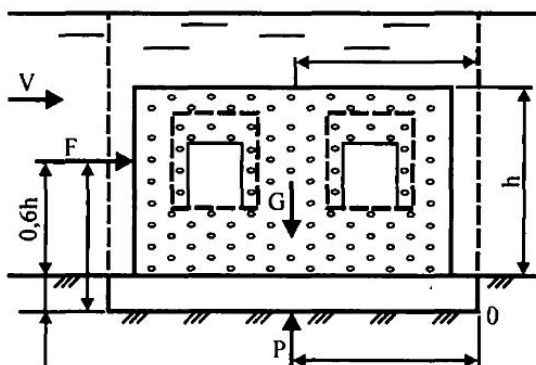


Рис. 7.19. Схема сил, действующих на оголовок руслового типа водозаборных сооружений

$$K_{сдв} = \frac{(G - P)f}{F} \geq |K_{сдв}|, \quad (7.45)$$

$$K_{опр} = \frac{Gx_G}{Fy_F + Px_p} \geq |K_{опр}|, \quad (7.46)$$

$$v_{\phi} \leq v_{доп}, \quad (7.47)$$

где f - коэффициент трения подошвы оголовка по его основанию, принимаемый в соответствии с изложенными ниже рекомендациями; x_G , y_F , x_P - плечи сил, действующих на оголовок сооружения относительно точки его опрокидывания; $|K_{сдв}|$, $|K_{опр}|$ - допустимые коэффициенты статической устойчивости оголовков соответственно на сдвиг и опрокидывание, принимаемые равными 1,1-1,4; v_{ϕ} - фактическая скорость придонного течения потока в зоне расположения оголовка с учетом стеснения им сечения водоисточ-

ника, м/с; $v_{дон}$ - допустимая при данном состоянии дна водоисточника скорость неразрывающегося потока, определяемая по нижеприведенным формулам, м/с.

Сила $G(H)$ находится по выражению:

$$G = gM = g \sum p_i V_i, \quad (7.48)$$

где M - масса оголовка, кг; p_i - плотность материала элементов оголовка, кг/м³; V_i - объемы его отдельных элементов, м³.

Сила взвешивания оголовка $P(H)$, расположенного на хорошо проницаемых грунтах, определяется по формуле

$$P = g \rho_w V = g \cdot \rho_w \sum V_i \quad (7.49)$$

где ρ_w - плотность воды, кг/м³; $V = \sum V_i$ - общий объем оголовка, м³.

Если же оголовка располагается на основании с ограниченной проницаемостью,

$$P = k_{вз} \cdot g \cdot p_w \cdot \Omega \cdot (h + h_{\phi}) \quad (7.50)$$

где $k_{вз}$ - коэффициент взвешивания, принимаемый равным 0,8...0,95 для мелких и средних песков; 0,7...0,8 - для глин, 0,85...0,9 - для суглинков и супесей, 0,75...1,0 - для сильно трещиноватых скальных пород и 0,35 - для неразрушенных скальных пород; Ω - площадь основания оголовка, м²; h - высота оголовка в потоке над дном реки, м; h_{ϕ} - заглубление фундамента оголовка относительно дна реки, м.

Сила $F(H)$ гидродинамического воздействия потока на оголовка

$$F = \Psi \cdot g \cdot p_w \omega \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (7.51)$$

где Ψ - коэффициент лобового сопротивления оголовка потоку, равный 0,6 для прямоугольного в плане профиля оголовка; 0,4 - для кругового, 0,3 - для ромбического и 0,7 - для каплевидного; ω - площадь поперечного сечения той части оголовка, которая воспринимает гидродинамическое давление потока (расположенная над плоскостью дна источника перпендикулярно к потоку часть его вертикального сечения), м²; v - скорость набегающего потока на оголовка, принимаемая равной расчетной скорости течения воды в источнике, м/с.

Плечо y_F силы F относительно точки O принимается равным $h_{\phi} + 0,6h$, исходя из условия неравномерности распределения скоростей потока по вертикали.

Коэффициент трения f принимается равным 0,5 при трении бетона по бетону или скальному грунту; 0,6 - бетона по каменной наброске; 0,45 - бетона по песку; 0,35 - бетона по супеси; 0,25 - бетона по суглинку и 0,20 - бетона по глине. При трении ряжей по каменной наброске он принимается равным 0,6 и по песку - 0,4.

Устойчивость русел водоисточника в месте расположения оголовка проверяется по условию (5.47). При этом $v_{дон}$ определяется по одной из нижеприведенных формул. Например, для спокойных потоков она находится по формуле:

$$v_{\text{доп}} = 1,65 \cdot \sqrt{\frac{d_{10}H}{d^2}} \sqrt{g \cdot d \left(1 + 3\rho_p^{\frac{2}{3}}\right)} \quad (7.52)$$

Для беспокойных потоков, протекающих по руслам, сложенными несвязными грунтами, проверку на устойчивость русла по предложению И.Е. Мирцхулавы можно произвести с помощью формулы:

$$v_{\text{доп}} = lg \frac{8,8H}{d} \sqrt{\frac{2m}{0,88\rho_p n} [g(\rho_0 - \rho) \cdot d + 2ck]} \quad (7.53)$$

а для потоков, протекающих по руслам со связными грунтами, по формуле:

$$v_{\text{доп}} = lg \frac{8,8H}{d} \sqrt{\frac{2u}{2,6\rho_p n} [g(\rho_0 - \rho)d + 1,25ck]} \quad (7.54)$$

где $v_{\text{доп}}$ - скорость придонного потока после создания сооружения, м/с; d_{10} - наибольший диаметр отложений на дне (каменного крепления) с содержанием смеси не более 10%, м; H - глубина потока у сооружения, м; d - средний диаметр отложений на дне потока или каменного крепления ложа, м (в формулах (5.53) и (5.54) в мм); ρ_p - мутность руслоформирующих фракций, кг/м³; u - коэффициент качества воды источника, принимаемый равным 1,0 для чистых потоков и 1,4 - для потоков с наносами в коллоидном состоянии; ρ_0 , ρ_p - плотность донных отложений (каменной отмостки) и воды соответственно, т/м³; n - коэффициент перегрузки потока:

$$n = 1 + d / (0,00005 + 0,3d); \quad (7.55)$$

$c = 175 / (10^{10}d)$ - прочность на разрыв грунтов природного сложения; k - коэффициент, характеризующий вероятность отклонения показателя сцепления грунта от среднего значения: $k = 0,05-0,75$ (принимается обычно равным 0,5).

Если фактическая скорость придонного потока v_f у сооружения больше найденной по формулам (5.52) - (5.54), вокруг него требуется специальное закрепление грунта (устойчивых щебеночных отсыпок, каменных отмосток и т.п.). Его неразрываемость проверяется с помощью приведенных расчетных формул.

Водозаборные сооружения и их элементы, днища которых расположены ниже возможного уровня воды в источнике, при опорожнении могут всплыть. Расчет на устойчивость к всплытию выполняется для случая, когда уровень воды в источнике достигает максимальной отметки, а все рабочие секции водозабора или часть их полностью опорожняются для производства в них монтажно-демонтажных и ремонтных работ, выполнения профилактических осмотров и обследований. При этом предполагается, что насосное отделение водозабора всегда свободно от воды.

Водозабор (рис. 7.20) или его отдельные элементы считаются устойчивыми к всплытию, если соблюдается условие:

$$G_0 + G_c + F_w \geq P_g \quad (7.56)$$

или

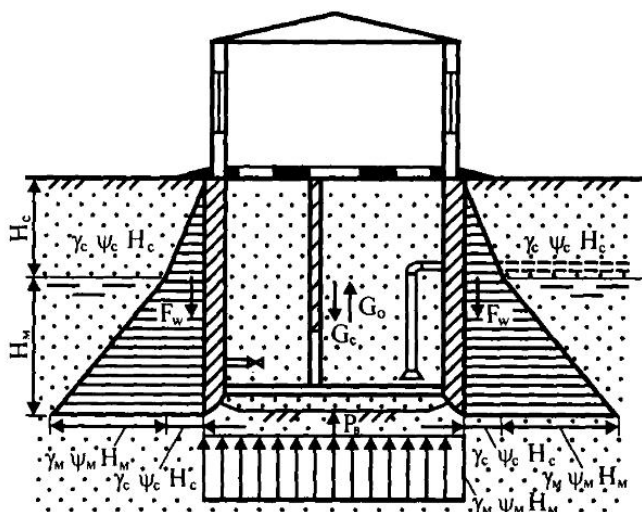
$$G_c + G_o + 0,5H_c^2 \gamma_c \Psi_c \Omega_c f_c + H_c H_m \gamma_c \Psi_m \Omega_m f_m + 0,5H_m^2 \gamma_m \Psi_m \Omega_m f_m = K_{вспл} \cdot V_{в} \gamma_{в} \cdot k \quad (7.57)$$

где G_c, G_o - сила тяжести соответственно строительных конструкций и оборудования водозабора; $H; F_w$ - сила трения водозабора о грунт при его всплытии; $H; P_g$ - взвешивающая сила; $H; H_c, H_m$ - высота слоя соответственно сухих и мокрых грунтов, воздействующих на стенки водозабора, м; γ_c, γ_m - удельный вес этих грунтов, Н/м³; Ω_c, Ω_m - площадь внешних поверхностей подземной части водозабора, находящихся соответственно в зоне сухих и мокрых грунтов, м²; F_c, F_m - коэффициенты трения о них сооружения; $K_{вспл}$ - коэффициент запаса устойчивости к всплытию, принимаемый равным 1,1-1,4; $V_{в}$ - объем затопляемой части сооружения по внешнему его контуру (объем части сооружения, находящейся ниже расчетного максимального уровня воды в источнике), м³; Ψ_c, Ψ_m - коэффициенты, учитывающие способность сухих и мокрых грунтов передавать давление на ограничивающие их стенки:

$$\Psi = \text{tg}^2(45^\circ - 0,5\varphi) \quad (7.58)$$

где φ - угол внутреннего трения грунта $\varphi = 26-32^\circ$.

Рис. 7.20. Схема действия сил на опорожненный колодец



При расчете сооружений на всплытие принимают, что опорожнение камер эксплуатируемого водозабора от воды осуществляется поочередно только в одной из его секций. Монтажные работы при открытом способе строительства водозабора производятся в незатопленном сооружении, когда оно находится за строительными перемышками. В этом случае в проверке водозабора на всплытие нет необходимости. Если же водозабор или его элементы сооружаются опускным способом, их устойчивость к всплытию определяется на начало монтажных работ, то есть без учета нагрузки от оборудования.

7.7. МЕРОПРИЯТИЯ ПО РЫБОЗАЩИТЕ И ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ

Любой водозабор, являясь элементом системы водоснабжения и отвечая требованиям ее надежности, должен функционировать так же, как и природоохранное сооружение. Следовательно, рыбозащитные устройства должны являться обязательным элементом водозаборного сооружения.

Строительство и эксплуатация водозаборов не допускаются без согласования с органами рыбоохраны. Отсюда вытекают главные требования к рыбозащитным устройствам (РЗУ):

- гарантированный (бесперебойный) пропуск воды;
- эффективная рыбозащита;
- надежность функционирования при доступных средствах эксплуатации (простота конструкции, автоматическое действие и т.д.).

Рыбозащитные сооружения работоспособны только в том случае, если при их создании учитывается взаимодействие мигрирующих рыб и скатывающейся молоди с сооружениями и образующимися при их работе течениями. Поскольку рыбы в потоке воды, как правило, двигаются против течения, то течение воды будет являться основным фактором привлечения их в рыбопропускные сооружения.

Ориентация рыб против течения происходит в основном при помощи органов боковой линии, зрения и осязания. Отсутствие соответствующих условий ориентации приводит к сносу рыб течением. Отсюда необходимо знать величины пороговой, привлекающей, сносящей и рывковой скоростей потока.

Пороговая скорость ($U_{пор}$) - это минимальная скорость потока, при которой у рыб появляется реакция на поток, т.е. реореакция. У рыб, обитающих у поверхности воды и в ее толще, пороговые скорости составляют 0,5...6 см/с. Наиболее высокие пороговые скорости у донных рыб (осетр, белуга, голец, ерш, пескарь и др.) и составляют 4...25 см/с.

Мигрирующие рыбы стремятся находиться в зоне, где скорость потока равна привлекающей: $U_{пр} = 0,5...0,8$ см/с.

Сносящая скорость $U_{сн}$ - это такая минимальная скорость, при которой рыба не может удержаться в потоке и сносится (скатывается): $U_{сн} \geq 1$ м/с.

Рывковая скорость $U_{рыв}$ - наибольшая скорость потока, при которой рыбы могут совершать кратковременный бросок в течение долей секунды.

Основные объекты защиты на водозаборных сооружениях: личинки рыб и молодь рыб.

Рыбозащитными называются сооружения (РЗУ), предназначенные для защиты рыб от источника опасности путем предотвращения их попадания на опасные участки и отвода от этих участков в рыбообитаемый водоем с обеспечением выживаемости отведенных рыб. По способу защиты рыб РЗУ различают экологические и поведенческие. В соответствии с типом рабочего органа, осуществляющего рыбозащитную функцию, РЗУ подразделяют на заградительные (основанные на поведенческом способе защиты рыб), отводящие и отгораживающие (основанные на экологическом способе защиты).

Рыбозаградительные сооружения предусматривают использование различных непроницаемых экранов (сетчатых и перфорированных заграждений, фильтрующих отсыпок, кассет и т.д.) и проницаемых экранов (воздушно-пузырьковых завес, электрических и акустических, а также заградителей, основанных на зрительно-световых эффектах).

Рыбозаградительные сетки выполняют из нержавеющей стали с отверстиями 2-4 мм, применяют в береговых водоприемниках в форме сетчатых барабанов и стенок, которые в период ската рыбной молоди опускают в пазы окон. Сетчатые стенки промывают подвижным промывным устройством (флейтой), а сетчатые барабаны – струереактивным устройством с давлением 0,35-0,40 МПа.

В качестве рыбозащитных устройств применяют рыбозаградительные фильтры, выполняемые из щебня, гальки, камня, керамзита, полимерных материалов, деревянных реечных пакетов, а также порозластовые плиты и фильтрующие кассеты, заполняемые керамзитом, щебнем с крупностью зерен 20-30 мм или вспененным полистиролом крупностью 5-10 мм. Рекомендуемая толщина кассеты 100-300 мм, скорость фильтрации не должна превышать 0,1 м/с.

Рыбоотгораживающее действие основывается на экологическом принципе защиты молоди рыб с помощью специальных устройств (запаней, стационарных и перемещающихся зонных ограждений, зонтичных оголовков, глубинных и поверхностных оголовков водозаборов и т.д.), отделяющих зону обитания рыб от места водозабора. Сложность использования рыбоотгораживающих устройств состоит в том, что для их применения необходимо знать горизонтальное и вертикальное распределение рыб в водоеме, ритмы изменения такого расположения рыб в зависимости от температурных и гидрологических факторов и т.д.

Рыбоотводящий (экологический) способ защиты рыб основан на использовании естественно образующегося или искусственно создаваемого в определенной зоне подвода воды к водозабору с повышенной концентрацией рыб с целью их отбора из этих зон в рыбоотводящий тракт и отведения по нему от водоприемника в рыбообитаемый водоем. Такой способ защиты основан на использовании воздействия продольных, поперечных, горизонтальных и вертикальных течений на сносимую молодь. Для этого нужно компоновать водозаборный и рыбоотводящий узлы и подобрать их геометрические и скоростные параметры таким образом, чтобы организовать пропуск скатывающейся молоди по специально устраиваемому обходному рыбоотводящему тракту, минуя место забора воды.

Из существующих водозаборных сооружений наиболее полно обеспечивают защиту рыб фильтрующие, а также речные русловые водозаборы с затопленными оголовками, если скорость обтекания их речным потоком более чем в 3 раза превышает скорость входа в водоприемные отверстия.

Для всех остальных водозаборов, устраиваемых на реках, озерах, водохранилищах рыбохозяйственного назначения, должны предусматриваться соответствующие рыбозащитные устройства, которые можно разделить на три группы: механические, гидравлические и физиологические.

В нашей стране в основном нашли применение механические рыбозаградители.

7.8. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДОЗАБОРОВ ИЗ ПРОМЕРЗАЮЩИХ ВОДОИСТОЧНИКОВ

При выборе типа и конструкций водозаборных сооружений в районах распространения вечномерзлых грунтов необходимо учитывать особенности природных условий конкретных районов, где предполагается размещение водозаборов. Специфика мерзлотно-гидрологических условий и обусловленных ими процессов полного или частичного перемерзания поверхностных и подрусловых потоков обязывает выполнять дополнительные требования, обеспечивающие повышенную надежность работы водопроводов.

В зоне мерзлоты водоприемники должны обеспечивать:

- защиту водоприемных устройств от шуги, донного льда, сора, механических воздействий ледоходов, лесосплава и др.;
- защиту самотечных и сифонных линий (труб, галерей и др.), проходящих в береговой мерзлоте, от перемерзания и образования шуги в отбираемой воде;
- предотвращение перемерзания водоприемников зимой, когда глубины малы, а сток незначительно превышает водоотбор;
- забор воды с возможно высокими температурами и не требующей сложной очистки и подогрева ее в дальнейшем;
- простоту конструкций, способов строительства и эксплуатации водозаборов при достаточной их надежности, возможности использования местных строительных материалов и т.д.

Место расположения водозаборных сооружений на реках должно тщательно изучаться и выбираться там, где:

- река не промерзает и сохраняет непромерзающий подрусловый талик, а также имеет расход, достаточный для отбора;
- грунты сохраняются тальными и нет опасности перемерзания водозаборов (при поднятии и просадке мерзлых грунтов и погребенных льдов);
- не образуется наледей и нет предпосылок к их образованию;
- русло устойчиво и нет условий ухода реки от водозабора;
- нет предпосылок к развитию термоэрозии и т.п. в створе водозабора и непосредственно вблизи его;
- можно исключить влияние дорог, различных сооружений, создающих «мерзлотные пояса» и вызывающих образование наледей, миграцию подрусловых потоков и др.;
- минимальны изменения теплового и гидрологического режимов источника при строительстве и эксплуатации водоприемника.

Места расположения водозабора из водоемов определяются тем, что берега их, как правило, подвержены мерзлотно-термической переработке до 1820 м/год. Несмотря на увеличение длины самотечных (сифонных) линий и возможность затопления, шахты водозаборов целесообразнее располагать на пологих берегах, где благоприятны мерзлотно-грунтовые условия. Искусственные островки (насыпные, намывные) под сооружения наиболее приемлемы на участках затапливаемых пойм.

Поверхностные воды отбираются разнообразными водоприемниками, в разной мере соответствующими условиям их работы.

Отбор воды из крупных рек требует решения тех же проблем, что и из водотоков других классов, так как основные мерзлотно-гидрологические характеристики свойственны рекам всей зоны. При заборе воды из крупных рек надо учитывать большие колебания уровней и расходов, мощные ледоходы, интенсивные и длительные шугоходы и пр.

Из крупных рек на Севере воду отбирают разными типами водозаборов. Возможные способы водоотвода здесь существенно ограничены, а четкие принципы оценки рациональности водозаборов отсутствуют. Особо надо считаться с наносами, с шуголедовыми помехами. Русловые или береговые водозаборы, построенные по аналогии с ряжевыми, железобетонными и др. в средних широтах, часто разрушаются ледоходами, обмерзают внутриводным льдом, засоряются, заносятся наносами.

Любые типы водоприемников поверхностных вод должны обеспечиваться надежной промывкой водоприемного фронта. Равномерность промывки достигается введением распределителей, вихревых аванкамер или вихревых труб системы А.С. Образовско-

го. Повышение надежности водозаборов обеспечивается совершенствованием их гидравлических схем, введением в конструкции водоприемников фильтров, улучшением обтекания, развитием обширного фронта водоприема.

На Севере широко практикуется размещение водоприемного фронта под руслом или в берегах рек, на уровне дна. Требованиям надежного промыва водоприемных окон наиболее полно отвечают конструкции с вихревыми элементами и фильтрами.

Уменьшение порога водоприемника, отбор воды на уровне (ниже дна водотока) вполне оправданы при отсутствии интенсивных переформирований русла, так как облегчается борьба с шуголедовыми помехам, наносами, засорениями; возможен отбор воды при минимальных глубинах и расходах.

Забор воды из крупных рек с большими амплитудами колебаний уровней целесообразен водоприемниками с размещением в них погружных насосов или эрлифтов. Размещение погружных насосов наклонно в водоприемных устройствах применяется на реках Аляски и Канады, что возможно при соответствующих модификациях насосов. Артезианские насосы часто размещают в шахтах на затопливаемой в паводок площадке, что значительно удешевляет строительство и сокращает объемы скальных работ. Забор небольших (25 тыс. м³/сут) расходов из рек с большими колебаниями уровней достаточно типичен, однако решение его по традиционной схеме (русловой оголовок самотечные трубы береговой колодец) сложно и для большинства водопотребителей по экономическо-техническим соображениям неразрешимо. Удешевление и упрощение водозаборов, исключение дорогостоящих береговых сооружений достигается рациональным использованием артезианских насосов или элеваторов в оголовках.

Водоприемники с гидроэлеваторами, размещаемыми в русловом оголовке или в подрусловой фильтрующей дрене, рекомендуются для забора малых расходов при больших колебаниях уровней. Подобные решения упрощают забор воды, позволяя отказаться от береговых сооружений, трудоемких работ по прокладке самотечных или сифонных линий в мерзлоте. Напорные и циркуляционные трубопроводы защищены от замерзания соответствующей теплоизоляцией, греющими кабелями или тепловым «спутником». Ведут забор воды и без береговых шахт, размещая гидроэлеватор (эрлифт) непосредственно в затопливаемом водоприемнике. Перспективен водозабор, исключающий замерзание воды в напорных и падающих трубопроводах при отрицательных температурах и остановке насосов.

Приемы забора воды из морей, крупных водохранилищ и озер в зоне мерзлоты сравнительно мало отличаются от практики умеренных районов.

7.9. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОЗАБОРОВ ИЗ КАНАЛОВ И ГОРНЫХ РЕК

Водозаборные сооружения на каналах

Водный режим канала и порядок его использования зависит от назначения канала (судоходный, оросительный, осушительный, водопроводный). Гидравлический и гидрологический режимы канала могут регулироваться головными сооружениями, вододелителями, что необходимо учитывать при выборе места расположения сооружений, где должны быть достаточные расходы и глубина воды, устойчивое русло, благоприятные условия транзита по каналу наносов, шуги и льда, надлежащее качество воды. Если количество забираемой воды не превышает 25% от протекающего в канале расхода, водозаборы устраивают без регулирующих сооружений.

Водозаборные сооружения на канале могут быть с насосной станцией или с подачей воды самотеком. Насосная станция может быть расположена отдельно от водоприемника или совмещена с ним. При высоком содержании взвешенных веществ в воде канала, в состав водозаборного узла включают отстойник.

Если в основании канала залегают хорошо фильтрующие грунты, то возможно применение водозаборных сооружений инфильтрационного типа с забором воды при помощи шахтных колодцев, буровых скважин, горизонтальных водосборов и лучевых водозаборов.

Водоприемные устройства должны иметь порог для предупреждения завлечения донных наносов из нижних слоев водотока, содержащих большое количество взвешенных наносов, сверху устраивается забральная стенка, препятствующая попаданию плавающего сора, льда и шуги. Водоприемные отверстия оборудуются решетками или сетками для задержания крупной взвеси и затворами для отключения водозабора от канала.

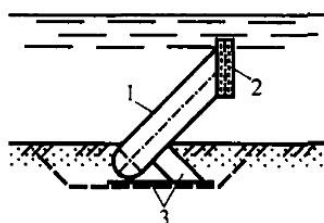


Рис. 7.21. Трубчатое водоприемное устройство:

1 - стальная труба; 2 - пазы для съемной решетки; 3 - опора

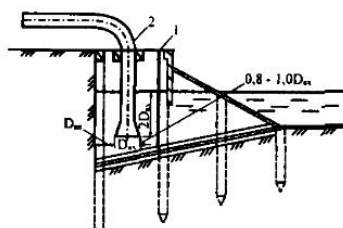


Рис. 7.22. Водоприемное устройство камерного типа:

1 - паз для решетки или сетки; 2 - всасывающая труба

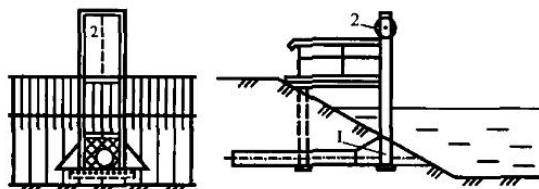


Рис. 7.23. Водоприемное устройство раструбного откосного типа: 1 - решетка или сетка; 2 - механизм для подъема решетки (сетки)

Размеры решеток назначают из расчета движения воды через них со скоростью 0,4-0,8 м/с, а при наличии ледовых осложнений 0,2-0,4 м/с. При отсутствии крупных загрязнений воды, шуги и опасности обледенения вместо решеток могут быть установлены съемные сетки.

Конструктивное решение водоприемных устройств зависит от производительности, наличия наносов, шуги, льда, месторасположения насосной станции или ее отсутствия.

При малой производительности водозабора и благоприятных условиях рекомендуется применять трубчатый водоприемник, выполняемый в виде сварного колена трубы, расположенного под углом 45° к дну канала (рис. 7.21). Водоотводящий трубопровод к насосам укладывается ниже дна канала. Схемы простейших водоприемных устройств приведены на рис. 7.21...7.24.

При большой производительности водозабора и наличии достаточных расхода и глубины воды в канале применяют водоприемные устройства, аналогичные речным.

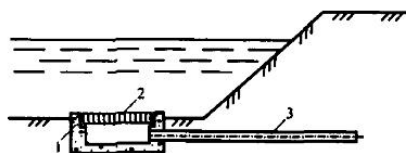


Рис. 7.24. Водоприемное устройство донного типа: 1 - железобетонный колодец; 2 - съемная решетка; 3 - самотечный водовод

Водозаборные сооружения на горных реках

Условия забора воды из горных рек усложняют такие факторы, как неравномерность стока в течение года, а при снего-ледниковом питании - в течение суток, большое количество донных и взвешенных наносов, требующих специальных устройств по ограждению от них водоприемника; наличие шуги и донного льда при неустойчивом зимнем режиме; деформация русла вследствие больших скоростей течения; наличие оползней, обвалов, осыпей и снежных лавин.

Вследствие сложности устройства водозаборных сооружений, а так же того, что для водоснабжения обычно требуются значительные объемы воды, наиболее целесообразным является комплексное использование горных рек, удовлетворяющее одновременно нужды водоснабжения, гидроэнергетики и ирригации. При достаточных глубинах и расходах воды в реке и при отборе воды не более 25-30% устраиваются береговые водозаборы с глубинным водоприемом, совмещенным с насосами первого подъема, с введением в состав сооружений отстойников для предварительного осветления воды. На шугоносных предгорных участках могут быть применены ковшевые водозаборы и водозаборы с боковым отводом воды из реки открытыми каналами.

В предгорных районах распространено использование подрусового потока и грунтовых вод путем устройства инфильтрационных водозаборов.

При недостаточных глубинах в реке и недостаточной обеспеченности водой в отдельные периоды, а также при водоотборе более 25-30% применяют водозаборы с устройством водоподъемных плотин, в водоприемной части которых устанавливают пороги, донные промывные галереи, промывные карманы, песколовки, гравиеловки и шугосбросные сооружения.

На высокогорных и горных участках наиболее распространены донные решетчатые водозаборы с наносоперехватывающими и водоприемными галереями, заложенными в пороге плотины, позволяющими забирать воду при малых глубинах.

В процессе проектирования водозаборных сооружений на горных реках входят: выбор створа водозабора, решение общей схемы водозабора (бесплотинный, плотинный) и схема подачи воды в систему водоснабжения (самотечная, напорная); установление состава и выбор типа сооружений; компоновка водозаборного узла.

Бесплотинные водозаборы применяют на предгорных участках больших рек, в редких случаях – нагорных участках, при наличии устойчивого русла с глубинами воды при минимальных условиях и шугоходе, достаточным для забора воды.

Забор воды осуществляется по двум основным схемам: с глубинным водоприемом (с затопленными водоприемными отверстиями) и с открытым водоприемом с устройством водоприемных ковшей или с боковым отводом открытым каналом.

На больших реках с необходимыми глубинами при глубинном заборе воды применяют водозаборы берегового типа, совмещенные с насосными станциями I подъема, аналогичные водозаборам на равнинных реках с включением в их состав отстойников. Устройство русловых затопленных водоприемных оголовков не допускается.

На реках с малыми глубинами и большими шугоходами устраиваются береговые водозаборы со значительно развитым водоприемным фронтом (невысоким, но с широкими отверстиями) зачастую совмещенными с продольной галереей или поперечной дренажной для захвата подрусовых вод.

На предгорных участках рек с большой шугоносностью, обильными наносами, недостаточными глубинами для водоприема получили распространение водоприемные

ковши полностью заглубленные в берег или частично выдвинутые в русло, с верховым или низовым входом воды.

На реках с широкими поймами применяются бесплотинные водозаборы с боковым отводом открытыми каналами, которые ограждаются незатопляемыми дамбами. Основные схемы водозаборов приведены на рис. 7.25.

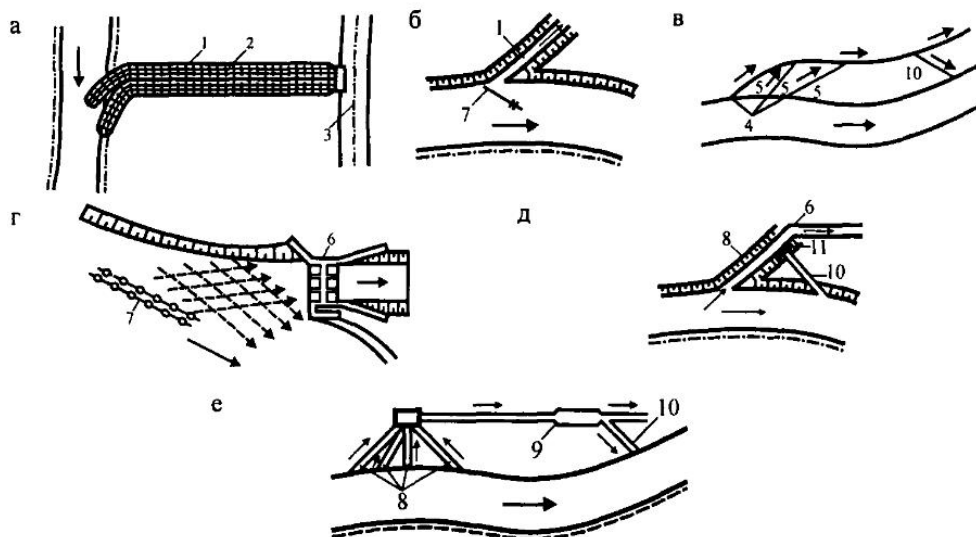


Рис. 7.25. Основные схемы бесплотинных водозаборов с боковым отводом открытыми каналами: а, б - водозаборы с отводом открытыми каналами без шлюзов-регуляторов; в - многоголовый водозабор; г - водозабор со шлюзом-регулятором в голове канала; д - водозабор с прокопами и шлюзом-регулятором, удаленным от русла реки; е - многоголовый водозабор с прокопами, шлюзами-регуляторами и отстойниками: 1 - канал; 2 - дамбы; 3 - водоприемник с насосной станцией I-го подъема; 4 - головы каналов; 5 - перемычки; 6 - шлюзы-регуляторы; 7 - струенаправляющие системы М.В. Потапова; 8 - прокопы; 9 - отстойники; 10 - сбросные каналы; 11 - шлюзы сбросного канала

Плотинные водозаборные сооружения. Наиболее распространенным типом водозабора на высокогорных и горных участках рек, несущих в большом количестве наносы крупных фракций, является водозабор с донной решеткой, представляющий собой водосливной порог, перегораживающий русло и возвышающийся над дном реки, в который врезана водоприемная галерея, перекрытая сверху решеткой. Вода, пройдя решетку, поступает в наклонную водоприемную галерею, по которой попадает в камеру с промывным устройством, откуда она отводится каналом, тоннелем или трубопроводом к отстойнику или непосредственно к потребителю. Рекомендуется применять донные решетчатые водозаборы на реках с уклоном 0,02 и насыщенностью потока песчаными донными наносами крупностью до 6 мм в количестве не более 25% общего объема данных наносов. Длину решетчатой части плотины назначают примерно равной ширине русла реки в межень, удельный расход забираемой воды составляет 0,08–0,5 м³/сек на 1 метр решетчатой части.

Донную водоприемную решетку (рис. 7.26) применяют обычно стальную в сварной раме из уголков и швеллеров. Для удобства очистки галереи решетки устанавливают

съемные или вращающиеся, разделенные на секции по длине водоприемного фронта. Размеры секций принимают: длину - в пределах 1-2,5 м, а ширину (по течению потока) - 0,8-1,5 м; вес секции 80-120 кг. Ширина просвета между стержнями должна быть меньше размеров фракций, преобладающих (60-70%) в донных наносах. Ширина просветов принимается в пределах 6-12 мм, а толщина стержней в зависимости от их профиля колеблется от 8 до 32 мм. Решетки применяют двух типов – одинарные и двойные. Поперечные сечения стержней различны.

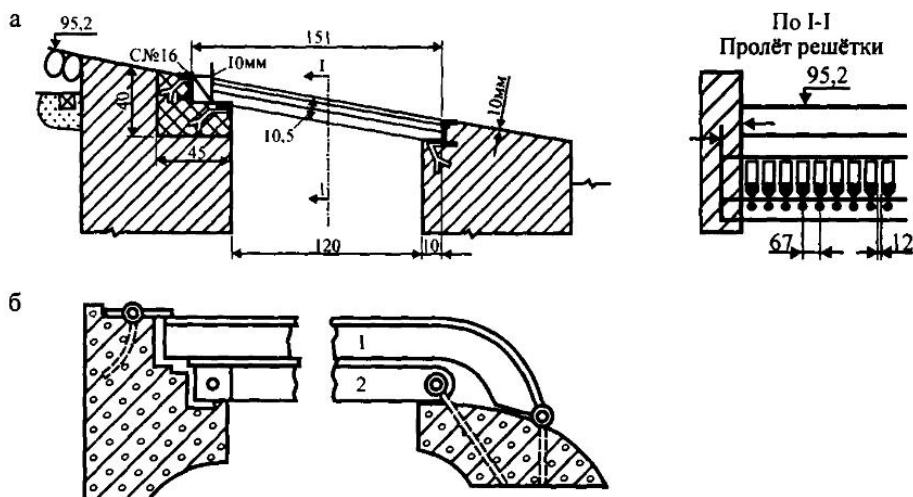


Рис. 7.26. Типы донных водоприемных решеток:

а - одинарная решетка; б - двойная решетка: 1 - верхняя решетка; 2 - нижняя мелкая решетка (размеры в см)

Ширину галерей принимают или одинаковой с длиной донной решетки или несколько больше ее, обычно она колеблется от 1 до 2 м. Высоту галереи в соответствии с переменным расходом принимают также переменной, равной глубине наполнения при безнапорном режиме с запасом под решеткой 0,1-0,3 м. На начальном участке высоту обычно принимают 0,5 м, а в концевой части - 2 м. В начале галереи на длине 1-3 м ее дну придают уклон 0,2-0,4, а на концевом участке 0,1-0,2.

Скорость течения должна быть нарастающей по длине и в конце галереи достигать 2-2,5 м/сек.

Наиболее распространенным поперечным сечением галереи является прямоугольное со скошенными углами.

Связывающим звеном между водоприемной галереей и водоприемным сооружением системы (трубопровод, канал, тоннель) является промывная камера. Она служит для задержания крупных наносов (прошедших через донную решетку и галерею) и сброса их в нижний бьеф при промывке, для размещения основных водоприемных отверстий системы, а также для забора воды в зимнее время и в периоды ремонта или очистки галереи через специальные водоприемные отверстия в верхнем бьефе.

Одновременно промывную камеру используют для промывки отложившихся наносов в верхнем бьефе, сброса шуги, а также пропуска части максимальных паводочных расходов.

В долинах горных рек, заполненных валунно-галечниковыми и гравийными отложениями, часто бывают подрусловые потоки. В таких случаях, особенно на малых реках, где горизонт воды в русле часто падает до нуля, применяют донные решетчатые водозаборы, совмещенные с захватом поверхностных и подрусловых вод. Для получения осветленной воды могут быть применены донные водозаборы с захватом только подрусловых инфильтрационных вод (рис. 7.27).

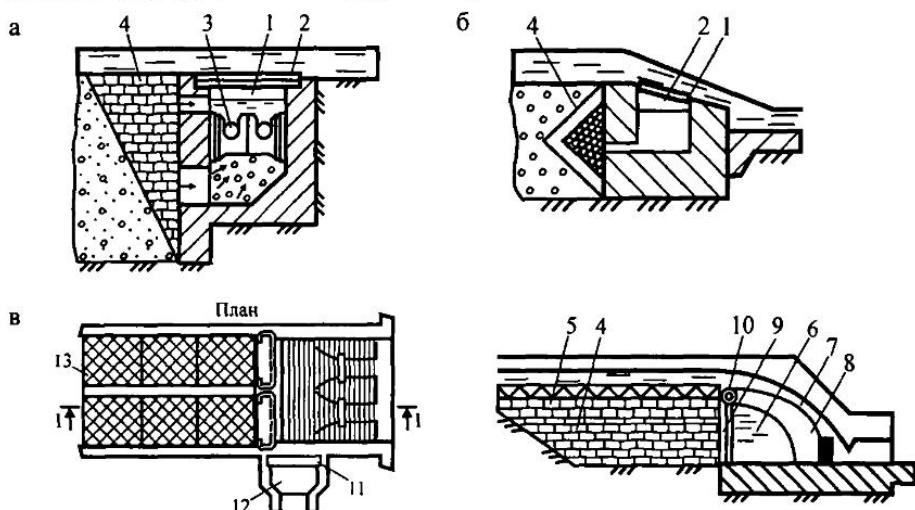


Рис. 7.27. Водозаборы с донной решеткой с захватом подрусловых инфильтрационных вод: а, б - водозаборы с донными решетками, совмещенные с приемом подрусловых вод (поперечные разрезы); в - водозабор для захвата только подрусловых и инфильтрационных вод, предложенный Г.А. Джимшели: 1 - водоприемная галерея; 2 - донная решетка; 3 - отводящие трубы; 4 - фильтрующая каменная наброска в виде обратного фильтра; 5 - габионная кладка; 6 - водоприемная камера; 7 - водослив; 8 - промывное отверстие; 9 - шандорные пазы, прикрытые деревянным брусом; 10 - деревянный брус; 11 - шандорный паз; 12 - водоприемная камера; 13 - разделяющая стенка

С целью предотвращения попадания мелких донных наносов в водоприемник разработаны конструкции донных водозаборов с наносозахватывающей галереей (рис. 7.28-7.30). Компоновка донного водозабора позволяет забирать более осветленную воду; снижает расчетный расход водоприемной галереи; уменьшает засоряемость водоприемной решетки; значительно уменьшает промывной расход при максимальном расходе напора; делает эксплуатацию простой и удобной; обеспечивает хорошую очистку от наносов. Наносоперехватывающие галереи применяют двух типов: с траншейной пескогравиеловкой и щелевой пескогравиеловкой.

Конструкция отличается от конструкций рассмотренных выше водозаборов с донной решеткой лишь дополнительным устройством наносоперехватывающей галереи прямоугольного (или со скошенными углами) сечения, расположенной перед водоприемной галереей и параллельно ей на расстоянии 0,5-0,7 м.

Для предохранения наносоперехватывающей галереи от завала крупными фракциями наносов она перекрывается решеткой, в 2-3 раза более крупной, чем решетка водоприемной галереи. Дну галереи придается уклон (0,1) от середины к устоям.

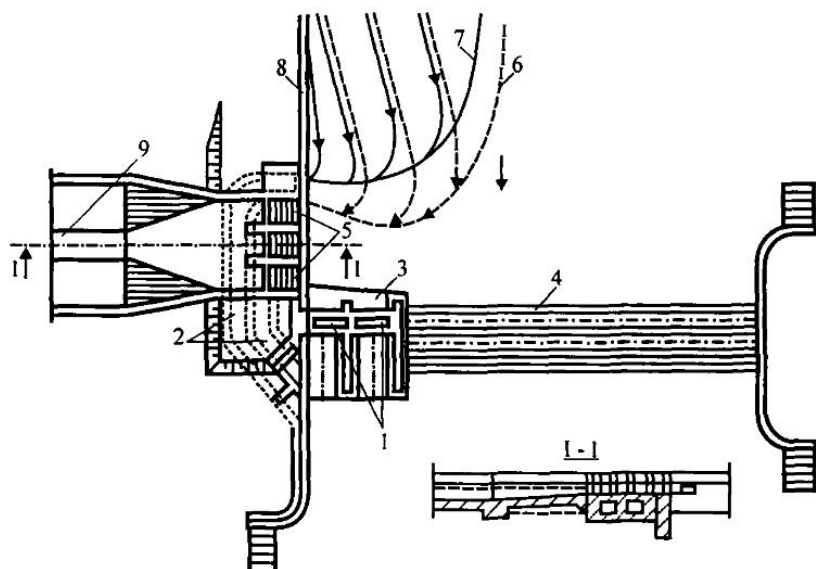


Рис. 7.28. Водозабор с наносоперехватывающими галереями системы ГрузНИИГиМ:

1 - водоприемные отверстия; 2 - донные наносоперехватывающие галереи; 3 - отверстия промывного шлюза; 4 - глухая водосливная (или разборчатая) плотина; 5 - береговая струенаправляющая стенка; 6 - затворы щитовые; 7 - направление донных токов при наличии наносоперехватывающей галереи; 8 - направление донных токов при отсутствии наносоперехватывающей галереи; 9 - канал

В системах водоснабжения из горных рек большее распространение получил плотинный гидроузел с карманом. В состав такого гидроузла входит плотина с глухим водосливом или разборчатая с низким порогом и карманом – отверстием, из которого вода в верхнем бьефе забирается в водоприемный колодец для дальнейшей подачи потребителям.

Карман служит для смыва подходящих к водоприемному отверстию наносов путем создания больших скоростей при открывании затвора в низовой его части и отстаивания наносов и всплывания шуги при его закрытии.

Промыв кармана проводится периодически. Уровень воды в верхнем бьефе может быть постоянным, а водоподача к потребителю не прекращается и во время промывки.

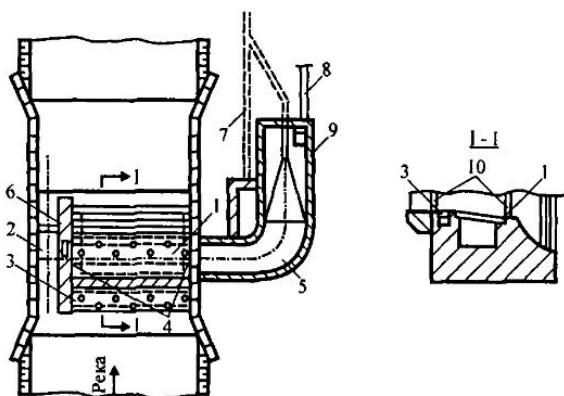


Рис. 7.29. Донные решетчатый водозабор с наносоперехватывающей галерей:

1 - донная решетка с водоприемной галереей; 2 - промывная донная галерея; 3 - донная решетка с наносоперехватывающей галереей; 4 - задвижки на трубах для сброса наносов; 5 - отстойник-песколовка; 6 - щиты; 7 - промывник

Водоприемный колодец делается двухсекционным для возможности очистки от наносов и ремонта без перерыва в подаче воды. Вода из кармана поступает в приемный колодец через окна, защищаемые решетками, а при необходимости перекрываемые щитами.

Внутри колодца устанавливают плоские сетки. Промывка колодца производится по специальной схеме со спуском грязи в нижний бьеф.

Компоновку водозаборного узла с применением криволинейного промывного канала выполняется по рис. 7.30 и 7.31 и позволяют использовать образующуюся на изгибе потока поперечную циркуляцию потока для эффективного отделения наносов из воды и их сброса через галереи или траншеи в нижний бьеф.

Рис. 7.30. Водозаборный узел с донной решеткой и соединительным каналом с отстойником:

1 - решетчатая часть плотины; 2 - водоприемная галерея; 3 - водоприемная камера; 4 - головное водоприемное отверстие с быстропадющим щитом; 5 - зимнее водоприемное отверстие со щитом; 6 - промывное отверстие с затвором; 7 - соединительный канал; 8 - боковой водослив; 9 - пазы для шандор; 10 - отстойник; 11 - служебный мостик; 12 - глухая водосливающая часть плотины; 13 - напорный трубопровод; 14 - сбросной канал для промывной воды отстойника

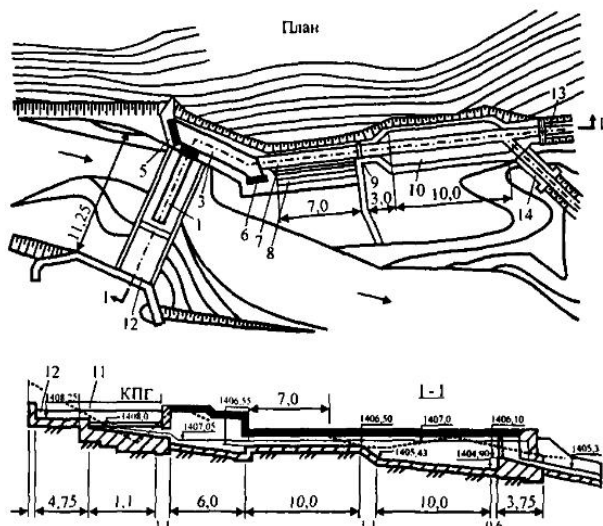
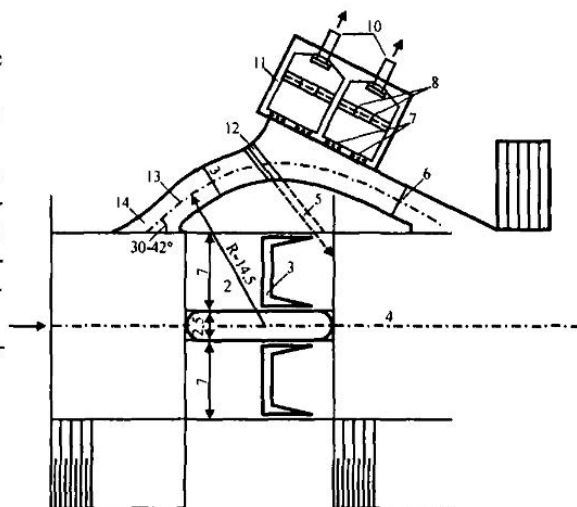


Рис. 7.31. Плотинный водозабор с криволинейным каналом: 1 - понур с креплением железобетонными плитами; 2 - водобой; 3 - сегментный затвор на низком пороге; 4 - нижний бьеф; 5 - сбросная часть наносоперехватывающей траншеи; 6 - плоский металлический затвор на криволинейном канале; 7 - входные окна водозабора с решетками; 8 - плоские сетки; 9 - шибберные затворы; 10 - водоводы к потребителю; 11 - двухсекционный водозабор; 12 - наносоперехватывающая траншея; 13 - криволинейный канал; 14 - входной порог на криволинейном канале (служебные мосты не показаны)



7.10. Особенности водозаборов на водоемах

Гидрологические, гидроморфологические, гидрометрические и другие процессы в водоемах (озера, водохранилища) существенно отличаются от аналогичных процессов в реках, поэтому при проектировании водозаборных сооружений на водоемах требуется иной подход к выбору места расположения, типа, компоновки и конструктивных элементов.

Основным фактором, определяющим условия работы водозаборов, являются течения, формирующиеся при ветровом движении в прибойных зонах водоема, и является причиной попадания в водоприемники устройства поверхностных масс воды с повышением содержанием планктона, водной растительности, мусора, взвешенных наносов, шуги и льда в предледоставный период. Чтобы избежать затруднений при заборе воды, водоприемные устройства необходимо выносить за пределы зон миграции и прибрежных наносов и прибойных зон.

В тяжелых шуголедовых условиях, в случаях отсутствия возможности подвода тепловой воды к месту водозабора, рекомендуется устраивать несколько водоприемников различных типов, удаленных на расстояние, исключающее возможность одновременного перерыва забора воды, хорошие эксплуатационные характеристики в таких условиях имеют фильтрующие водоприемники.

В условиях интенсивной переработки берегов, большой вдольбереговой миграции или транзита наносов, повышенной засоренности прибрежной зоны используются водозаборы с самотечными или сифонными водоводами и затопленными водоприемниками, которые позволяют исключить захват масс воды с повышенным содержанием наносов, планктона, взвеси. Компоновка и размещение элементов водозаборных сооружений и конструкция водоприемных устройств в каждом конкретном случае должны учитывать специфические особенности, обусловленные местными условиями.

В условиях водоемов следует применять типы водоприемников, конструктивные элементы которых должны обеспечить:

- равномерное распределение скоростей забираемой воды на входе в водоприемные устройства;
- интенсивную обработку или импульсивную промывку, позволяющую отбросить за пределы зоны питания водоприемников мусор, шугу, отмершую водную растительность и другую взвесь. Промывку водоприемников следует производить при наличии волнения;
- исключение захвата поверхностных слоев воды, переохлажденных в предледоставные периоды и наиболее теплых с повышенным содержанием молоди рыб и планктона в летнее время;
- исключение травмирования и захвата в водоприемники отбираемой водой молоди рыб.

Для удовлетворения большинства требований скорость входа воды в водоприемные устройства не должна превышать 0,1 м/с.

Упомянутым требованиям наилучшим образом удовлетворяют водоприемники с вихревыми и щелевыми камерами с фильтрующими кассетами, а также водоприемники фильтрующего или инфильтрационного типа.

Входные отверстия водоприемников желательно располагать на глубинах ниже слоя ветроволнового перемещения $H > 0,5\lambda_{\text{эл}}$ от минимального уровня в навигационный период.

В условиях интенсивной переработки берегов и прибрежных склонов в районе расположения водозабора не следует размещать водоприемники на наиболее глубоководных участках водоема, являющихся обычно местом свала плотностных течений, транспортирующих взвешенные волнением наносы, отмершую растительность, сор и т.д., и их аккумуляции.

При благоприятных местных условиях более надежными, экономичными и удобными в эксплуатации обычно являются водозаборы берегового типа с отдельной или совмещенной компоновкой водоприемника и насосной станции.

Затруднения в работе водозаборов берегового типа обычно обусловлены завалом подхода к водоприемным окнам продуктами переработки берегов с прилегающих участков прибрежных склонов, захватом в них воды, транспортируемой вдольбереговыми течениями, с повышенным содержанием взвеси, планктона, а также переохлажденной воды в преддоставные периоды.

Место размещения водозабора берегового типа должно удовлетворять следующим основным требованиям:

- отсутствию или очень слабой вдольбереговой миграции или транзиту наносов;
- наличию достаточных для забора воды глубин воды в непосредственной близости от берега;
- отсутствию интенсивных вдольбереговых течений в прибрежной зоне водоема по одну и другую сторону створа водозабора.

При недостаточных глубинах воды на подходе к водоприемным устройствам водозабора следует устраивать прорезь или расчистки. Глубина воды перед ними при минимальном уровне в навигационном период не должна быть меньше $1,5-2H_{кр}$.

Размеры и количество водоприемных окон и их ярусов определяются величиной отбираемого расхода, глубиной воды, ее переохлаждением в преддоставные периоды, потребностью организации селективного водоотбора, содержанием в ней мусора, планктона и другой взвеси.

В тех случаях, когда в районе намечаемого места расположения водозабора ожидаются переработка берегов и прибрежных склонов, вдольбереговая миграция наносов и значительные скорости вдольбереговых и градиентных течений в прибрежной зоне в волнозащитные сооружения и их компоновку следует вносить дополнительные конструктивные элементы (шпоры, буны и др.), позволяющие отклонять поток наносов и течения прибойных зон от места водозабора.

7.11. БЕРЕГОУКРЕПЛЕНИЕ

Берегоукрепление в составе узла водозаборных сооружений предназначено для защиты береговых сооружений от подмыва течением и волнением водных масс; для сохранения благоприятных форм русла рек или побережья водохранилищ; для закрепления положения русла реки и сохранения необходимых глубин у водозабора. При проектировании берегоукрепления необходимо учитывать следующие условия и требования:

- надежную защиту берега от разрушения;
- наименьшие стоимость строительства и трудоемкость строительных работ;
- широкое применение местных и новых синтетических материалов;
- применение сборных железобетонных конструкций;
- возведение берегоукрепления преимущественно без водоотлива при наименьшем объеме водолазных работ.

У водозаборов берегового типа, устраиваемых у вогнутых сильно размываемых берегов русел, необходимо укрепление ближайшего участка берега реки. Во многих случаях следует принимать меры, обеспечивающие сохранение существующих благоприятных для водозабора форм и размеров русла реки на длительное время. Для этого необходимо не только укреплять ближайшие участки берега, но и разрабатывать систему мероприятий, предупреждающих нежелательные для водозабора деформации русел.

В устойчивых руслах можно ограничиться устройством береговой опояски у водозабора и укреплением гребня переката на лежащем ниже плесе. Крепление устойчивого берега осуществляется на протяжении 50-100 м вверх и вниз от оси береговых сооружений.

При расположении водозаборного сооружения на вогнутом берегу, сложенном из легко размываемых грунтов, крепление должно быть осуществлено на всем участке вогнутого берега выше водозаборных сооружений до места, где берег из вогнутого переходит в выпуклый, а вниз по течению - не менее чем 50-100 м.

В недостаточном устойчивых руслах необходимо не только защищать от размыва берега плеса, на котором расположен водоприемник, но и закреплять опоясками берега смежных плесов.

На реках с интенсивным шуголедовым режимом при установлении шугозажоров на крупных излучинах возникают спрямляющие протоки. В таких случаях необходимо обеспечить прочность бровки слива, поскольку обычно именно отсюда начинается размыв нового русла.

В слабых руслах, транспортирующих шугу, иногда в тех же целях укрепляют пляж выпуклого берега заглубленными под уровень дна шпорами из тяжелых fascin или каменной отсыпки.

На водохранилищах при интенсивной переработке берега крепление его целесообразно осуществлять, устраивая шпоры, заглубленные в берег за пределы прогнозного профиля берега на расчетный срок.

В ряде случаев возникает необходимость закрепления песков и побочней, которые могут надвинуться на плесы и ухудшить условия работы водозаборов. В общем случае общая схема решения отсутствует, но чаще всего подобное закрепление достигается посадками растительности.

8. ВОДОЗАБОРЫ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ

8.1. Условия использования подземных вод.

Стадии проектирования водозаборов

Использование подземных вод для целей водоснабжения определяется законодательными, нормативными актами государства и условиями формирования и залегания различных категорий подземных вод: характеристикой водоупоров и кровли водоносных пластов, мощностью последних, составом и свойствами водовмещающих пород, спецификой формирования водоносных горизонтов, особенностями источников их питания и др. По условиям залегания и формирования подземных вод различают обычно артезианские, хорошо прикрытые мощными водонепроницаемыми кровлями и залегающими на значительных глубинах, и грунтовые воды, залегающие обычно на небольших глубинах (до 30 м) в аллювиальных отложениях. По гидравлическим характеристикам подземные воды различают как напорные, при которых статический уровень воды в пробуренной скважине устанавливается выше кровли водоносного пласта, и безнапорные, при которых статический уровень воды устанавливается ниже границы кровли водоносного пласта, прикрывающей водовмещающую породу.

Подземные воды на территории России находятся в собственности государства. Их использование в народном хозяйстве регламентируется Водным Кодексом РФ.

В зависимости от конкретных условий для добывания подземных вод могут применяться: водозаборные скважины, шахтные колодцы, горизонтальные или лучевые водозаборы, каптажи родниковых вод. Состав сооружений водозаборов из подземных источников определяется глубиной залегания, мощностью, водообильностью и геологическим строением водоносных горизонтов, а также гидравлическими и санитарными характеристиками подземных потоков, требуемой производительностью водозабора и технико-экономическими показателями.

Для проектирования и сооружения эксплуатационных водозаборных сооружений, а также для переоборудования разведочных скважин в эксплуатационные требуется разрешение федеральных органов геологии или территориальных производственных геологических объединений, местных органов государственного санитарного надзора и органов по регулированию использования и охране вод.

Проектирование, строительство и эксплуатация подземных водозаборов может осуществляться только организациями, имеющими право на проведение этих работ.

Проектные работы могут осуществляться в несколько стадий.

При одностадийном проектировании составляется рабочий проект со сводным сметным расчетом стоимости. В этом проекте обычно используются типовые или повторно применяемые проекты. Кроме того, одностадийное проектирование применяют при составлении технически несложных проектов.

В две стадии составляется проект для устройства крупных и сложных скважинных водозаборов. Этот проект, кроме сводного сметного расчета должен содержать рабочую документацию со сметами для каждого элемента или узла водозабора.

Проектирование использования подземных вод осуществляется не только при разработке конкретных проектов водообеспечения отдельных объектов, но и для определения принципиальных направлений развития народного хозяйства, при составлении генеральных, бассейновых и территориальных схем комплексного использования и охра-

ны водных ресурсов. Решения, принятые в этих схемах, подлежат обязательному учету при разработке проектно-сметной документации для отдельных объектов.

Структурная схема проектирования объектов и элементов водозабора приведена на рис. 8.1.



Рис. 8.1. Схема очередности проектирования объектов и элементов скважинного водозабора

Проектирование скважинного водозабора начинают с построения проектного геолого-технического разреза. На рис. 8.2 приведен пример такого разреза.

Основой для проекта водозаборных сооружений являются гидрологическое заключение и проектный геологический разрез. Объем проекта, его основное содержание должны осветить также важные вопросы и разделы как количество, качество и режим потребляемой воды из проектируемого водозабора; в каком месте следует бурить скважины или колодцы и в каком количестве; как обеспечить зоны санитарной охраны; ка-

кой водоносный горизонт следует использовать, каков удельный дебит скважины (колонца) при допустимом понижении статического уровня воды; обоснованность принятого способа бурения, конструкций фильтров, типов водоподъемников, конструкций скважин, способов тампонажа затрубного пространства, конструкций оголовков и способы их сооружений и др. В проекте должны быть продуманные решения по размещению одного или нескольких сборных резервуаров, взаиморасположение (если требуется) водозаборных, очистных сооружений, резервуаров и насосных станций второго подъема.

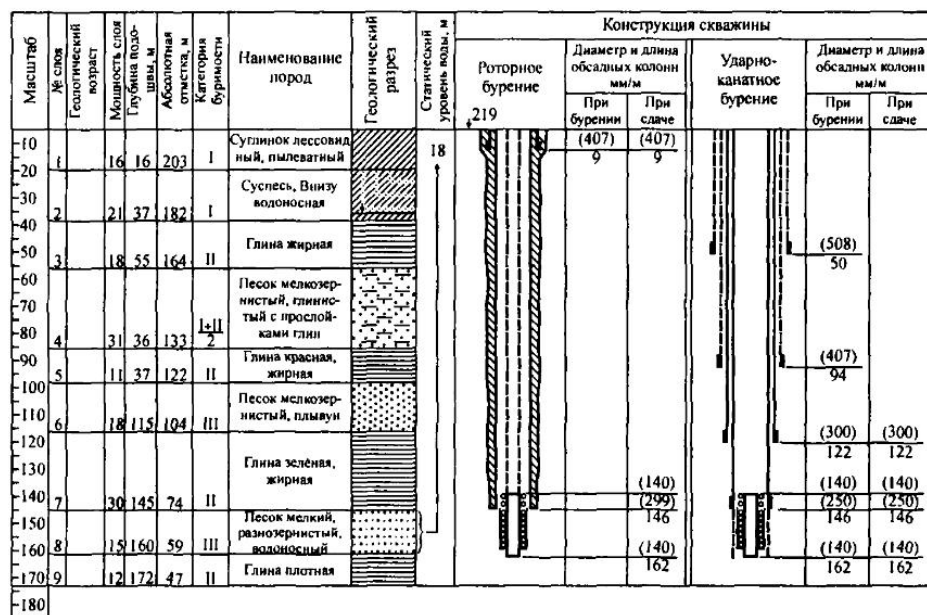


Рис. 8.2. Проектный геолого-технический разрез разведочно-эксплуатационной скважины на воду

Перечень основных задач и методология выбора оптимального варианта скважинного водозабора отражены на рис. 8.3.

В процессе эксплуатации водозабора не реже 3-4 раз в год проверяют проектные (разведочные) данные о фактических параметрах работы водоносного пласта, скважин, насосов и сборных водоводов.

С учетом того, что расчетный срок эксплуатации водозабора с планируемой полной производительностью принимают не менее 30 лет, д.т.н. А.Д. Гуриновичем предложена методика поэтапного развития ввода в эксплуатацию скважин водозабора в сроки кратные 10, 20 и 30 годам при заданном общем водоотборе. Эта методика предполагает производить в начальной стадии проектирования и после каждого последующего этапа ввода в эксплуатацию новых скважин переоценку запасов подземных вод (изменения производительности водозабора) на основе определения зависимостей понижений уровней воды в i -ой скважине в p_i расчетный период (S_{p_i}).



Рис. 8.3. Блок-схема методики выбора рациональной схемы скважинного водозабора

Для неустановившегося режима и напорной фильтрации расчетная зависимость (S_p) имеет вид:

$$S_p = \frac{1}{4\pi km} \left[\sum_{i=1}^{p-1} Q_i^* E_i \left(-\frac{r_i^2}{4a(t_p - t_r)} \right) - \sum_{i=1}^p Q_i^* E_i \left(-\frac{r_i^2}{4a(t_p - t_{r-1})} \right) + Q_i^* \zeta_i \right] +$$

$$\frac{1}{4\pi km} \left[\sum_{j=1}^{n-1} \sum_{r=1}^{p-1} Q_j^* E_i \left(-\frac{l_{i,j}^2}{4a(t_p - t_r)} \right) - \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{r=1}^p Q_j^* E_i \left(-\frac{l_{i,j}^2}{4a(t_p - t_{r-1})} \right) \right], \quad (8.1)$$

где Sp_i - понижение уровня в i -ой скважине в расчетный период, м; Q_i^T - дебит i -ой скважины t -го периода, м³/сут; r_i - радиус i -ой скважины, м; km - водопроводимость пласта, м/сут; a - коэффициент пьезопроводности, м³/сут; t_t - продолжительность t -го периода, сут; Q_j^T - дебиты взаимодействующих скважин, работающих в t -ый период, м³/сут; l_{ij} - расстояние до взаимодействующих скважин, м; p - количество периодов; n - количество скважин; E_i - интегральная показательная функция.

Такой подход к режимам эксплуатации вводимых вновь и построенных ранее скважин позволяет значительно сократить затраты на строительство и эксплуатацию водозабора. Схема изменения параметров водозабора при поэтапном вводе в эксплуатацию скважин приведена на рис. 8.4.

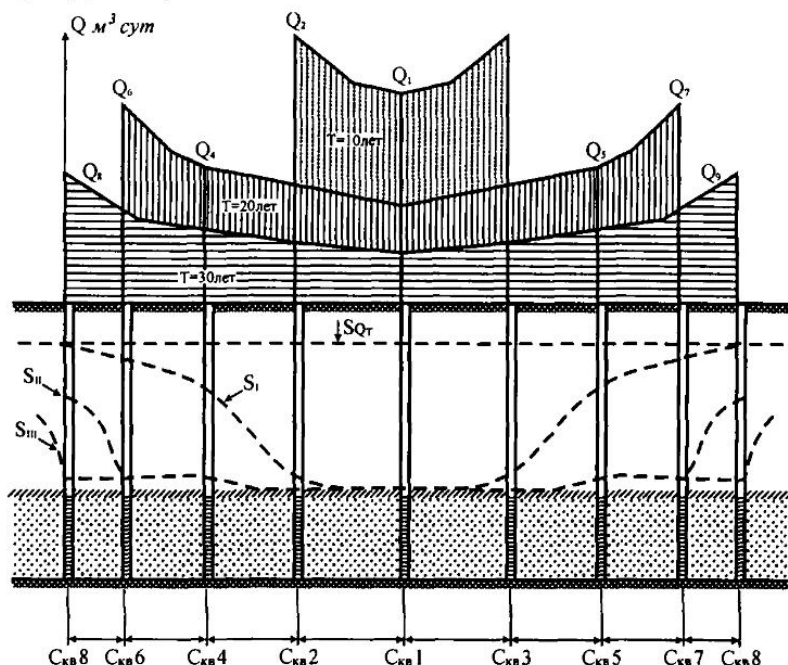


Рис. 8.4. Схема изменения параметров водозабора по методике поэтапного ввода в эксплуатацию

8.2. Типы подземных водозаборов и область их применения

Выбор типа сооружений для забора подземных вод зависит от глубины и условий залегания водоносных пластов, их мощности и способности водоотдачи. Сооружения, применяемые в практике водоснабжения для забора подземных вод, подразделяются на трубчатые колодцы (скважины), шахтные колодцы, горизонтальные водосборы, лучевые водозаборы, каптированные родники (табл. 8.1).

В зависимости от требуемой надежности, глубины залегания и мощности водоносных пластов типы подземных водозаборов рекомендуется принимать согласно данным, приведенным в таблице 8.2.

Таблица 8.1

Краткая характеристика и примерная область применения водозаборных сооружений

№ п/п	Виды сооружений	Область применения	Краткая характеристика
1.	Водозаборные скважины	Для забора воды из напорных и безнапорных водоносных пластов, залегающих на глубине более 15-50 м от поверхности земли	Вертикальная выработка диаметром от 50 до 600 мм и более, глубиной до 500 м и более
2.	Шахтные колодцы	Для забора воды из малоомощных пластов, залегающих на глубинах до 40 м от поверхности земли	Вертикальная выработка диаметром до 1-2 м и глубиной до 30-40 м
3.	Горизонтальные водосборы	Для забора воды из малоомощных пластов, залегающих на глубине 6-8 м от поверхности земли, вблизи водотоков и водоемов	Горизонтальные дырчатые водосборные трубы или галереи, оборудованные гравийным фильтром; через 30-50 м на них установлены смотровые колодцы
4.	Лучевые водозаборы	Для забора воды из малоомощных (до 10 м) водоносных пластов, залегающих на глубинах до 15-20 м от поверхности земли в песчано-галечниковых отложениях с содержанием валунов менее 10%, а 60% фракций в грунте должно быть менее 70 мм	Шахта, в нижней части которой в водоносные пласты вдавлены горизонтальные скважины, оборудованные фильтрующей поверхностью из сеток или зернистых обсыпок
5.	Каптажи родниковых вод	Применяются при наличии концентрированного выхода подземных вод на поверхность земли	Каменные или бетонные камеры с водоприемными отверстиями с гравийным фильтром, оборудованные водоотводящими трубами

Таблица 8.2

Категории надежности подачи воды водозаборами из подземных водоисточников

Типы подземных водозаборов	Глубина залегания водоносного пласта от поверхности ости земли, м				
	< 5	5-10	10-30	> 30	
	мощность водоносного пласта или глубина подземного потока, м				
	< 4	4-8	< 10	10-20	> 20
Водозаборные скважины	-	-	2	2	1
Шахтные колодцы	3	2	2	-	-
Горизонтальные водозаборы:					
- трубчатые	3	2	-	-	-
- галерейные	2	1	-	-	-
- каменно-щебеночные	3	-	-	-	-

Примечание. Каптажи соответствуют 3-й категории надежности.

Для обеспечения требуемой категории надежности подачи воды потребителям требуются резервные водозаборные сооружения и насосы, количество которых в соответствии с требованиями определяется по табл. 8.3.

Резерв на горизонтальных водозаборах должен составлять 25% от их производительности. На лучевых водозаборах следует предусматривать один резервный водозабор или 1 резервный луч при 3-4 рабочих лучах и 2 резервных луча при 5-7 рабочих лучах.

Таблица 8.3

Количество резервных водозаборных сооружений и насосов в зависимости

Количество рабочих сооружений	Категории надежности					
	1	2	3	1	2	3
	Количество резервных сооружений			Количество резервных насосов на складе		
1 - 4	1	1	-	1	1	1
5 - 12	2	1	-	1	1	1
13 и более	20%	10%	-	10%	10%	10%

Надежность работы систем водозаборов зависит от достоверности предварительно проведенной оценки эксплуатации запасов подземных вод, качества выполненного проекта и надежности оборудования водозаборов. Последнее должно подбираться с учетом возможного изменения производительности водозаборных сооружений из-за изменения режимов подпитки водоносного горизонта, заиливания прифилтровой зоны и самих фильтров, износа насосов (особенно в бесфильтровых скважинах) и пр.

Для водозаборов, питаемых подрусловыми водами, требуемая надежность зависит от характеристики потребителя (табл. 8.4).

Таблица 8.4

Характеристика надежности береговых подземных водозаборов

№ п/п	Характеристика водопотребителя	Категория водозаборов	Процент обеспечения, %	Допустимое снижение подачи в % от среднего расхода и перерыв в подаче
1.	Население более 50 тыс. человек	I	97	$\leq 30\%$
2.	Население от 500 до 50 тыс. человек	II	95	$\leq 30\%$ $T \leq 6$ час
3.	Население до 500 человек, местные предприятия сельскохозяйственного назначения	III	90	$\leq 30\%$ $T \leq 24$ час

8.3. Гидрогеологические и гидравлические расчеты водозаборных скважин

В основу гидрогеологических и гидравлических методов расчетов положены основные закономерности движения грунтовых вод с учетом принятой схемы расположения скважин, гидрогеологических характеристик водоносного пласта и условий водоотбора.

В качестве исходной величины принимают необходимый расчетный суточный расход насосов первого подъема, назначаемый с учетом расхода воды на собственные нужды водозабора и очистной станции по совмещенному графику работы очистной станции (если таковая имеется) или почасовому графику водопотребления объекта водоснабжения, и проектируемому графику работы скважинных насосов в течение суток.

Дебит (расход) одной скважины во многом зависит от принимаемой величины допустимого понижения статического уровня воды в ней. Допустимое понижение уровня подземных вод S в любой точке водоносного горизонта в сложных гидрогеологических условиях (неоднородность водовмещающих пород, особые условия подпитки, возможное истощение и т.д.) должно определяться моделированием. Для безнапорных водоносных горизонтов:

$$S_{б.г.} = M - \sqrt{M^2 - \frac{Q}{\pi K_{\phi}} \cdot \varphi}, \text{ м}, \quad (8.2)$$

где M – мощность естественная безнапорного водоносного горизонта, м, Q – суммарный дебит водозабора, м³/сут, K_{ϕ} – коэффициент фильтрации водоносных пород, м/сут; φ – гидравлическое сопротивление, зависящее от условия залегания подземных вод и взаимовлияния скважин (их месторасположения по отношению друг к другу).

Для напорных водоносных горизонтов величина понижения уровня подземных вод в любой точке водоносного горизонта рассчитывается по формуле:

$$S_{н.г.} = \frac{Q}{2\pi K_{\phi} m} \cdot \varphi, \text{ м}, \quad (8.3)$$

где m – мощность напорного водоносного горизонта, м, а величина K_{ϕ} – коэффициент водопроводимости грунта.

Для строительства и надежной последующей эксплуатации подземных водозаборов с помощью скважин в процессе проектирования определяют: водозахватную способность скважин Q_c в конкретных гидрогеологических условиях, в местах расположения водозабора; величину понижения статического уровня S , исходя из технико-экономических соображений и рационального режима эксплуатации водоносного горизонта; тип фильтра, его конструкцию и размеры; подбирают марку насоса; конструируют скважину, оголовок; komponуют водозаборный узел, предварительно определив число скважин, их расстояние друг от друга и метод транспортировки воды по общему водоводу в сеть или на очистную станцию. Расчетные схемы совершенных скважин в водоносных пластах приведены на рис. 8.5.

Приток воды к скважинам зависит от гидродинамической и гидрогеологической характеристики водоносного пласта, радиуса скважин r и принятого понижения уровня воды в них при откачке S .

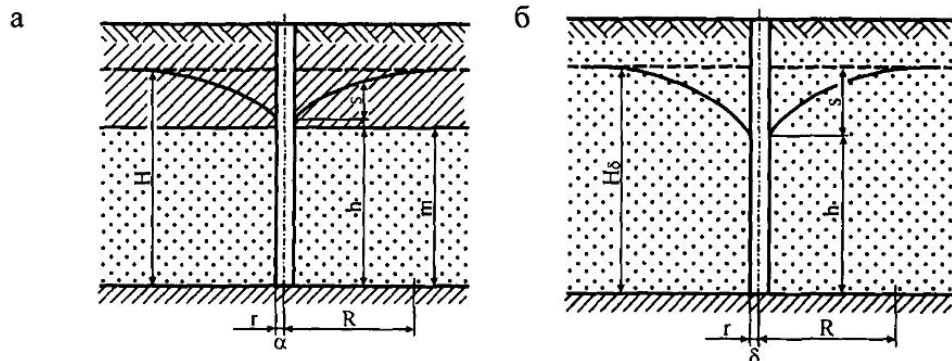


Рис. 8.5. Расчетные схемы совершенных трубчатых колодцев при заборе воды из водоносного пласта: а – напорный пласт; б – безнапорный пласт

При установившемся движении напорного потока и совершенной скважине (вскрывающей водоносный пласт на полную его мощность) приток воды к ней определяют по формуле Дюпюи:

$$Q_c = \frac{2,73 K_\phi m S}{\lg \frac{R}{r}} \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (8.4)$$

где K_ϕ - коэффициент фильтрации, м/сут. водоносного пласта (табл.8.5); m - мощность водоносного пласта, м; r и R - соответственно радиус скважины и радиус влияния депрессионной воронки, м; S - понижение уровня воды в скважине при откачке, м.

Таблица 8.5

Коэффициент фильтрации K_ϕ , радиусы влияния и коэффициенты водоотдачи μ для безнапорных водоносных пластов

Водоносные породы	Диаметр частиц, мм	K_ϕ , м/сут	R , м	μ
Глинистые грунты, суглинки		0,01–0,1		0,01–0,05
Пески пылеватые, супеси	0,01–0,05	0,1–1,0		0,1–0,15
Пески:				
тонкозернистые	0,05–0,25	0,1–10,0	25–100	0,15–0,20
средней крупности	0,25–0,5	10–25	100–300	0,20–0,25
крупные	0,5–1,0	25–75	300–400	0,25–0,3
гравелистые	1–2	50–100	400–500	0,3–0,35
Гравий:				
мелкий	2–3	75–100	400–600	0,3–0,35
средний	3–5	100–200	600–1500	0,3–0,35
крупный	5–10	200–300	1500–3000	0,3–0,35
Известняки	–	20–50	150–400	0,05–0,1
Песчаники	–	10–20	100–300	0,001–0,03

Для несовершенной скважины, питаемой напорными водами:

$$Q_c = \frac{2,73 K_\phi m S}{\lg \frac{R}{r} + 0,43(Z_1 \pm Z_2)}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (8.5)$$

где Z_1 - фильтрационное сопротивление несовершенной скважины, зависящее от соотношения длины водоприемной части скважины и мощности водоносного пласта, а также от соотношения мощности пласта и радиуса скважины; Z_2 - обобщение сопротивления фильтра и прифильтровой зоны водоприемной части скважины, зависящее от типа фильтра и характеристики контактируемых пород.

Расчетные схемы несовершенных скважин в напорном (а) и безнапорном (б) водоносных пластах приведены на рис. 8.6.

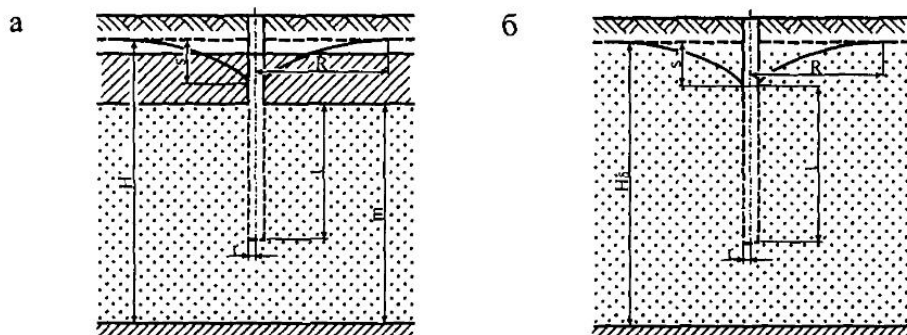


Рис. 8.6. Расчетные схемы несовершенных трубчатых колодцев при заборе воды из водоносного пласта: а - напорный пласт; б - безнапорный пласт

Значения m , K_ϕ , R , Z_1 , Z_2 устанавливают специальными гидрогеологическими изысканиями. При их проведении уточняют также значение удельного дебита скважины $q_{уд}$ - расхода воды при понижении статического уровня воды при откачке на 1 пог. м.

Для несовершенной скважины, питаемой безнапорными водами, приток воды к ней определяют по формуле:

$$Q_c = \frac{1,36 K_\phi (2H - S) \cdot S}{\lg \frac{R}{r} + 0,43(Z_1 \pm Z_2)}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (8.6)$$

где $(2H - S) = m_p$ - мощность безнапорного водоносного пласта во время откачки, м; H - высота слоя безнапорного водоносного пласта, м.

Понижение уровня воды в скважине S для безнапорных водоносных пластов рекомендуется принимать с учетом допустимого понижения уровня воды в пласте $S_{дон}$:

$$S_{дон} = (0,5 \dots 0,7) H_e - h_n - h_\phi, \text{ м}, \quad (8.7)$$

где H_e - высота столба воды в скважине до откачки, м; h_n - максимальная глубина погружения нижней кромки насоса под динамический уровень воды, м; h_ϕ - потери напора на входе воды в скважину из водоносной породы, м.

Для напорных водоносных пластов величина $S_{дон}$ определяется с учетом допустимого понижения напора в пласте:

$$S_{дон} = H_e - (0,3...0,5)m - h_n - h_{\phi}, \text{ м}, \quad (8.8)$$

где m – мощность водоносного пласта, м.

Потери напора на входе воды в скважину из водоносной породы рекомендуется определять по формуле С.К. Абрамова:

$$h_{\phi} = \alpha \sqrt{\frac{QS}{K_{\phi} F_{\phi}}}, \quad (8.9)$$

где α – коэффициент, учитывающий конструкцию фильтра (для дырчатых, щелевых и каркасно-стержневых фильтров 0,06-0,08; для сетчатых и проволочных фильтров 0,15-0,25; для гравийных фильтров 0,12-0,22); Q – производительность скважины, м³/сут; F_{ϕ} – рабочая площадь поверхность фильтра, м².

Производительность одной скважины при принятом допустимом понижении статического уровня воды при откачке $S_{дон}$ и установленном в процессе опытных откачек удельном дебите q_0 в м³/ч на 1 п.м определяется по формуле:

$$Q = q_0 S, \text{ м}^3/\text{час}, \quad (8.10)$$

Для приближенных расчетов рекомендуется принимать следующие значения удельных дебитов в напорных водоносных пластах:

песок тонкозернистый:	$(d = 0,05-0,1 \text{ мм})$	$q_0 \leq 0,5 \text{ м}^3/\text{час}$
песок мелкозернистый:	$(d = 0,1-0,25 \text{ мм})$	$q_0 = 2-4 \text{ м}^3/\text{час}$
песок среднезернистый:	$(d = 0,25-0,5 \text{ мм})$	$q_0 = 4-8 \text{ м}^3/\text{час}$
песок крупнозернистый с примесью гравия:	$(d = 0,5-2,0 \text{ мм})$	$q_0 = 10-12 \text{ м}^3/\text{час}$

Для безнапорных вод зависимость $S = f(Q)$ имеет криволинейный характер и описывается уравнением:

$$S = \alpha \cdot Q + \beta \cdot Q^2, \quad (8.11)$$

где α и β – безразмерные коэффициенты, определяемые по результатам опытных откачек.

Выбор водоносного пласта, который предполагается эксплуатировать для обеспечения водопотребности объекта водоснабжения, производится в следующем порядке:

- сравниваются показатели качества воды каждого водоносного пласта с нормативными требованиями;
- для каждого водоносного пласта делается вывод о величине дебита и возможности обеспечить водопотребление объекта водоснабжения;
- составляется общее заключение о возможности эксплуатации каждого из обследованных пластов и производится выбор эксплуатационного пласта. Если по предварительным данным такой выбор сделать невозможно, рассматриваются различные вариан-

ты скважинного водозабора, производится технико-экономическое сравнение этих вариантов и делается окончательный выбор эксплуатационного пласта. При других равных условиях наиболее подходящим для эксплуатации является водоносный пласт, который содержит воду наилучшего качества, имеет большой удельный дебит и расположен ближе других к поверхности земли.

Количество проектируемых рабочих эксплуатационных скважин определяется из условия обеспечения суточной водопотребности объекта водоснабжения $Q_{ос}$ с учетом расхода на собственные нужды водозабора и очистной станции по формуле:

$$n_p = \frac{Q_{ос}}{t q_0 S} \text{ , шт,} \quad (8.12)$$

где t – продолжительность работы скважины в течение суток, час.

Проектируемые скважины следует располагать так, чтобы расстояние между ними было минимальным, но с учетом их возможного взаимодействия. Величиной, определяющей допустимое расстояние между скважинами, является радиус их влияния R , который при отсутствии эксплуатационных и экспериментальных данных можно приближенно определить по зависимостям (8.13) и (8.14):

Для безнапорных вод по формуле И.П. Кусакина:

$$R = 1,95 \cdot S \sqrt{m K_\phi} + r \text{ , м.} \quad (8.13)$$

Для напорных вод по формуле В. Зихардта:

$$R = 10 \cdot S \sqrt{K_\phi} + r \text{ , м.} \quad (8.14)$$

При наличии сведений о гранулометрическом составе водоносного грунта и коэффициенте фильтрации радиус влияния для безнапорных вод рекомендуется принимать из табл.8.5. При интенсивной эксплуатации пластов (когда $S > 40$ м):

$$R = r + 105 \sqrt{K_\phi} \text{ , м.} \quad (8.15)$$

Понижение уровня в любой из скважин грунтового водозабора, забирающих воду из напорных пластов рассчитывают по формуле:

$$S_n = \frac{\sum Q_n}{2\pi K_{\phi,ср} m_{ср}} \left[\ln R_n - \frac{1}{n} (\ln r_0 + \ln r_1 + \dots + \ln r_n) \right] \text{ , м,} \quad (8.16)$$

где $K_{\phi,ср}$, $m_{ср}$ – коэффициент фильтрации и мощность водоносных пластов, принимаются одинаковыми для данной зоны водозабора; $Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$ – одинаковое количество воды подаваемое насосами из скважин; R_n , r_0 , r – радиусы влияния и скважин; n – число скважин в зоне водозабора.

8.4. Расчет и конструирование основных элементов скважины

Расчету водоприемной части скважин (фильтров) и подбору насосов первого подъема должны предшествовать конструирование скважин и взаимоувязка всех ее основных строительно-монтажных и эксплуатационных элементов с учетом выбранного способа бурения. Пример конструирования скважин ударного и роторного бурения с размещением фильтров и насосов в эксплуатационной колонне приведен на рис. 8.8 и в табл. 8.6.

Одним из самых важных элементов скважины является фильтр, предотвращающий вынос водоносной породы в эксплуатационную колонну и предохраняющий водоприемную часть ствола от разрушения.

Ко всем конструкциям фильтров водозаборных скважин должны предъявляться следующие основные требования:

- обеспечение проектного поступления воды в скважину при минимально возможных гидравлических сопротивлениях на весь расчетный период эксплуатации (не менее 25 лет);
- достаточная механическая и химическая прочность, включая периоды периодического импульсивного воздействия для разрушения колюматированных отложений и регенерации водоприемной поверхности химическими реагентами;
- предотвращение попадания в эксплуатационную колонну частиц водосодержащей породы (продуктов солевых отложений и коррозии);
- удовлетворение санитарно-гигиеническим нормам для питьевого водоснабжения;
- ремонтпригодность и экономичность.

На практике применяют щелевые, дырчатые, проволочные, сетчатые, гравийные и блочные фильтры (рис.8.7). Фильтр состоит из рабочей (водоприемной) части, надфильтровой трубы и отстойника. Каркасы фильтров изготавливают из стальных труб с антикоррозионным покрытием или других высокопрочных материалов, стойких к коррозии и не токсичных по отношению к воде.

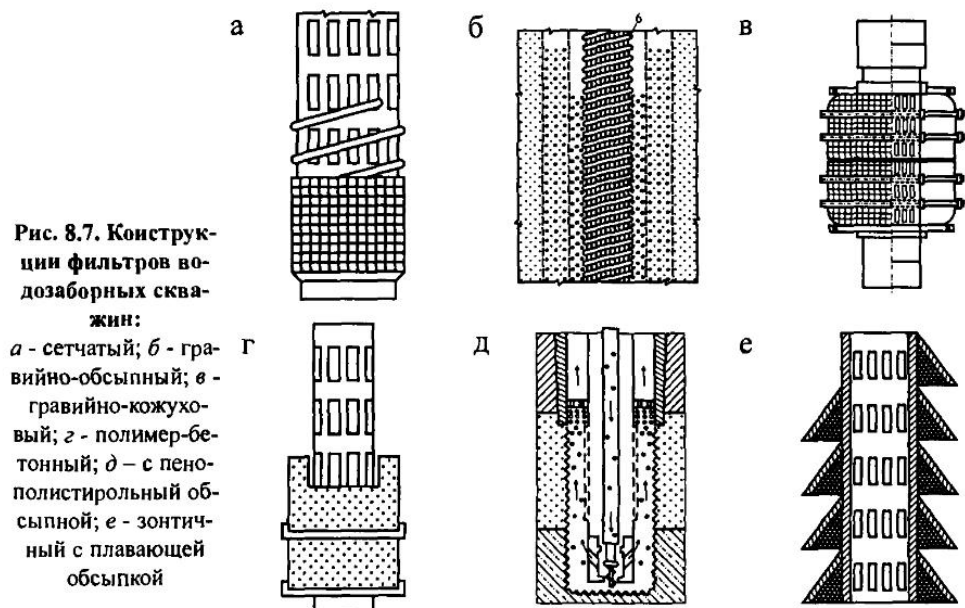


Рис. 8.7. Конструкции фильтров водозаборных скважин:

- а - сетчатый; б - гравийно-обсыпной; в - гравийно-кожуховый; г - полимер-бетонный; д - с пенополистирольным обсыпной; е - зонтичный с плавающей обсыпкой

Условные обозначения к рис. 8.8

Обозначения на рис. 8.4	Наименование	Размеры
l_1	Глубина погружения первой колонны обсадных труб при ударном бурении	30-50 м
l_2	Выход новой колонны из-под башмака предыдущей	30-50 м
l_3	Выход последней колонны обсадных труб из-под башмака предыдущей	В скважинах со сменяемыми фильтрами $l_3 \approx 20-30$ м
l_4	Заход нафилтровой трубы в эксплуатацию новую колонну обсадных труб	3-5 м
l_5	Длина отстойника фильтра	От 0,5 до 2-3 м
l_6	Расстояние от кромки фильтрующей поверхности до грани слоя глин	$\geq 1,0$ м
l_7	Глубина погружения насоса под динамический уровень	Зависит от типа насоса
l_8	Расстояние от поверхности земли до динамического уровня	-
l_9	Рабочая длина фильтра	-
D_0	Наружный диаметр фильтра	Определяется по расчету
D_1	Внутренний диаметр эксплуатационной колонны обсадных труб	$D_1 = D_0 + (50 \dots 100 \text{ мм})$ (100 мм для гравийно-кожуховых фильтров)
D_2	Диаметр долота для разбуривания роторным способом скважины под трубу D_2	$D_2 \geq D_1 + 95 \text{ мм}$
D_3	Внутренний диаметр направляющей трубы	$D_3 \geq D_2 + 100 \text{ мм}$
D_4	Внутренний диаметр защитной колонны обсадных труб	$D_4 = D_3 + (50 \dots 100 \text{ мм})$ (100 мм при $\delta \leq 7 \text{ мм}$)
D_5	Внутренний диаметр первой колонны обсадных труб	$D_5 = D_4 + (50 \dots 100 \text{ мм})$
δ_1	Зазор на каждую сторону между фильтром и эксплуатационной колонной	$\delta_1 = (D_5 - D_4) / 2$
δ_2	Зазор между наружным диаметром водоподъемника и внутренним диаметром эксплуатационной колонны	$\delta_2 = (D_5 - D_{\text{нвк}}) / 2$ при $l_8 \leq 20 \text{ м}$ $\delta_2 \geq 10 \text{ мм}$; при $l_8 \leq 20 \text{ м}$ $\delta_2 \geq 25 \text{ мм}$

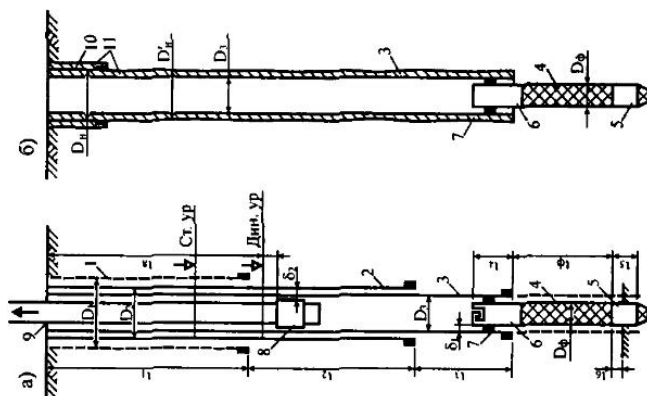


Рис. 8.8. Схема конструктивных размеров элементов водозаборной скважины: а - ударного бурения; б - роторного бурения; 1 - извлекаемая колонна обсадных труб; 2 - защитная колонна обсадных труб; 3 - эксплуатационная колонна обсадных труб; 4 - фильтрующая поверхность; 5 - отстойник с пробойкой; 6 - нафилтровая труба; 7 - сальник; 8 - водоподъемник; 9 - водоподъемная труба; 10 - направляющая труба; 11 - цементация затрубного пространства

Следует отметить, что изготовление фильтров буровых скважин из стальных обсадных труб требует больших затрат ручного труда, до 30% материала уходит в отходы перфорации их поверхности.

Стальные фильтры подвержены коррозии, а полиэтиленовые и полихлорвиниловые имеют недостаточные прочностные свойства. Поэтому в практике сооружения скважин перспективны в более широком применении стеклопластиковые фильтры, изготавливаемые методом косой-перекрестной намотки на гладкой цилиндрической оправке. Диаметр отверстий между наматываемыми жгутами регулируют при навивке в пределах от 0,5 до 5 мм. Использование в качестве связующих веществ эпоксидного компаунда в составе эпоксидной смолы, ЭД16 (ЭД20), полиэтиленполиамина и ацетона позволяет создать химически и механически стойкую, с низким водопоглощением, технологичную в изготовлении поверхность фильтров (табл. 8.7).

Таблица 8.7

Технические характеристики фильтров

Показатели	Внутренний диаметр фильтра, мм			
	168	273	377	426
Толщина стенки, мм	12-15	12-15	15-20	15-20
Диаметр отверстий между жгутами, мм	0,5-5,0	0,5-5,0	0,5-5,0	0,5-5,0
Длина звена фильтра, мм	3400	3400	3400	3400
Масса 1 м погонной длины фильтра, кг	16,4	25,3	32,7	37,3
Скважность фильтров, %	30-60	30-60	30-60	30-60

По данным разработчиков, суммарное сопротивление ζ_z , характеризующее несовершенство скважин по характеру вскрытия водоносного пласта, в 12-14 раз ниже по сравнению с сетчатыми металлическими фильтрами. Такие фильтры значительно легче металлических, не поддаются электрохимическому зарастанию.

Большое значение для последующей надежности эксплуатации имеет выбор типа и конструкции фильтра, когда предусмотрен водозабор из мелкозернистых песчаных водоносных пластов. Обсыпкой для таких фильтров обычно служат гравий и крупный песок определенного гранулометрического состава.

Применение этих обсыпных материалов имеет ряд существенных недостатков: они «зависают» в скважине при засыпке, невозможно извлечь каркас фильтра при ремонте и др. Таких недостатков лишена обсыпка из гранул полувспененного пенополистирола с плотностью 0,2-0,8 т/м³. Как показали исследования, выполненные в Украинском институте инженеров водного хозяйства, пенополистирольная обсыпка более индустриальна и надежна в эксплуатации по сравнению с гравийной и позволяет увеличить входную скорость. Рабочую водоприемную часть фильтра рекомендуют располагать напротив наиболее водопроницаемых грунтов.

При необходимости замены фильтра плавающая обсыпка с плотностью гранул 0,2-0,8 т/м³ может быть легко вымыта на поверхность земли.

Благодаря своей плавучести она не «зависает» в затрубном пространстве, хорошо заполняет все каверны в прифильтровой зоне, химически стойкая, обеспечивает высокую пропускную способность из-за шаровидной и стекловидной поверхности. При заборе воды из тонкозернистых песков рекомендованы зонтичные пенополистирольные

фильтры, состоящие из трубчатого каркаса со щелевой перфорацией (длина щели 40 мм, ширина 2,0 мм) зонтиков с двухслойной обсыпкой общей толщиной до 60 мм. Угол зонтиков принимают равным 15-20°.

Водоприемная поверхность фильтров водозаборных скважин соединяется через надфильтровую трубу с помощью сальника с эксплуатационной колонной. Длину рабочей водоприемной части фильтра принимают в пластах с мощностью более 10 м равной:

$$l_{\phi} = (0,5 \dots 0,8) \cdot m, \quad \text{м}, \quad (8.17)$$

а в пластах с мощностью менее 10 м – на 1-2 м меньше мощности пласта.

Диаметр фильтра (по водоприемной поверхности) определяется по формуле:

$$D_{\phi} = \frac{Q_{\max}}{\pi l_{\phi} v_{\phi}}, \quad \text{м}, \quad (8.18)$$

где $Q_{\max}$ – максимальный расход воды, забираемой из скважины, м³/сут; v_{ϕ} – входная скорость фильтрации воды на границе пласт – водоприемная поверхность, м/сут.

Для дырчатых, щелевых, проволочных, сетчатых фильтров:

$$v_{\phi} = 65 \sqrt[3]{K_{\phi}}, \quad \text{м/сут.} \quad (8.19)$$

Для гравийных, зонтичных, блочных фильтров:

$$v_{\phi} = 1000 K_{\phi} \left(\frac{d_{50}}{D_{50}} \right)^2, \quad \text{м/сут}, \quad (8.20)$$

где d_{50} , D_{50} – соответственно 50%-ный диаметр частиц водоносной породы и зерен обсыпки фильтрующей колонны, мм.

В последние годы в Белоруссии успешно внедряются удовлетворяющие перечисленным выше требованиям кольцевые полимерные фильтры, изготовленные из термопластичных материалов (полипропилен и полиэтилен). Конструктивные параметры таких фильтров, изготовляемых путем набора на стальные стержни колец с продольными щелями клиновидного поперечного сечения, сужающихся в направлении внутрь фильтра, приведены в таблице 8.8.

Таблица 8.8

Конструктивные размеры и характеристики фильтров ФПК

Тип фильтров	Диаметры, мм		Длина секции, мм	Ширина щели, мм	Масса, кг	Скважинность, %	Осевая нагрузка, кг
	наружный	внутренний					
ФПК-188	188	140	2035	1±0,2	31,8	20	40
ФПК-255	255	203	2035	1±0,2	44,4	20,5	60
ФПК-310	310	260	2035	1±0,2	55,3	21	80

Гидравлические характеристики фильтров ФПК (начальные потери напора при разных расходах) и изменении удельных расходов различных типов фильтров в процессе их длительной эксплуатации представлены на рис. 8.9. и 8.10, а их сравнительные характеристики в табл. 8.9.

Таблица 8.9

Сравнительные характеристики фильтров ФПК по результатам
полевых исследований

Скважина №	Удельный дебит	Тип фильтра	Скважность η , %	Обобщенный показатель гидравлического сопротивления ξ	Темпы изменения удельного дебита	Коэффициент «старения» (по Бессонову Н.Д.)
148	5,9	ФПК-188	20	- 0,4	0,02	0,003
163	5,0	Каркасно-стержневой	35	-0,3	0,08	0,05
175	7,3	Листоштампованные с отверстиями типа «мост»	12	- 0,9	0,016	0,015
181	3,9	Тарельчатые ВСЕГИНГЕО	10	- 0,5	0,3	0,01

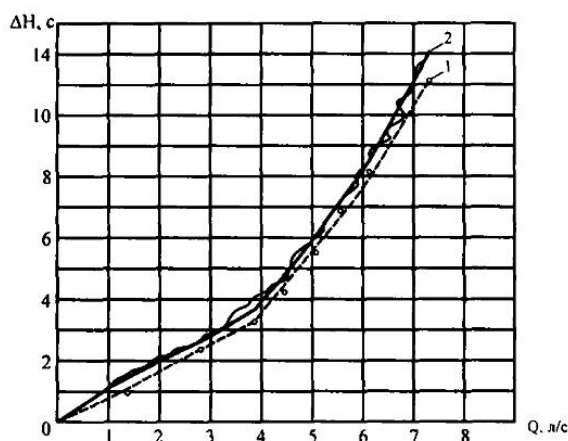


Рис. 8.9. Зависимость потерь напора на фильтре от расхода:
1 - по данным эксперимента; 2 - расчетные

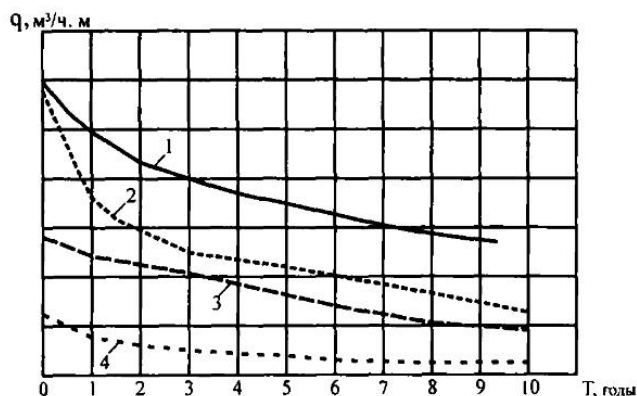
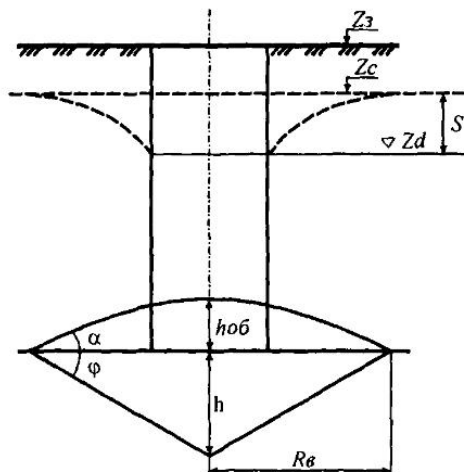


Рис. 8.10. Изменения удельных дебитов скважин в период 10-летней эксплуатации на скважинах Каменской оросительной системы:
1 - фильтр ФПК-188, скв. 148, $\eta = 10\%$; 2 - фильтр каркасно-стержневой скв. 23, $\eta = 35\%$; 3 - фильтр тарельчатый ВСЕГИНГЕО, скв. 38, $\eta = 10\%$; 4 - фильтр из проочного листа, скв. 56 $\eta = 12\%$

Бесфильтровые скважины устраивают в крупнозернистых и гравелистых водоносных песках, когда над водоносным пластом имеется мощный слой (не менее 10 м) гли-

ны. Для устройства бесфильтровой скважины под кровлей в водоносном пласте формируется водопримемная воронка. Расчетная схема водопримемной воронки приведена на рис. 8.11.

Рис. 8.11. Схема бесфильтровой скважины: S – глубина понижения статического уровня воды; h – глубина водопримемной воронки; R_e – радиус водопримемной воронки; φ – угол естественного откоса водоносного песка; $h_{об}$ – высота свода обрушения; α – угол внутреннего трения грунта кровли; Z_3 – отметка поверхности земли; Z_c – отметка статического уровня воды; Z_d – отметка динамического уровня воды



Требуемый радиус водопримемной воронки определяется по формуле:

$$R_e = \sqrt{\frac{q}{\pi v_0 \sqrt{1 + \tan^2 \varphi}}} \text{ , м,} \quad (8.21)$$

где q – дебит бесфильтровой скважины, м³/сут; v_0 – допустимая скорость фильтрации на границе выхода грунтового потока в воронку, м/сут; φ – угол естественного откоса песка под водой.

Величина v_0 определяется по формуле:

$$v_0 = k_\phi \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot (1 - \rho), \text{ м/сут} \quad (8.22)$$

где k_ϕ – коэффициент фильтрации водоносного грунта, м/сут; η_1 – коэффициент запаса ($\eta = 0,78$); η_2 – коэффициент уменьшения допускаемых уклонов, зависящий от угла естественного откоса (для $\varphi = 25^\circ$ $\eta_2 = 0,84$); ρ – пористость водоносного грунта, в долях.

Высота водопримемной воронки определяется из выражения:

$$h = R_e \cdot \tan \varphi, \text{ м} \quad (8.23)$$

Высота свода обрушения определяется по формуле:

$$h_{об} = \frac{R_e}{\tan \alpha}, \text{ м} \quad (8.24)$$

где $\tan \alpha$ – угол внутреннего трения глинистого грунта кровли.

Допустимый радиус водоприемной воронки определяется из условия не обрушения кровли:

$$R_{\text{доп}} \leq \frac{\gamma(H_{\text{в}} - S) \operatorname{tg} \alpha}{(1 - \rho_{\text{кр}}) \gamma_{\text{кр}} + \gamma \rho_{\text{кр}}}, \quad (8.25)$$

где $\rho_{\text{кр}}$ – пористость породы кровли (в долях); $\gamma_{\text{кр}}$ – удельная плотность породы кровли, т/м³, ($\gamma_{\text{кр}} = 2,73-2,92$, т/м³); γ – удельный вес воды, т/м³.

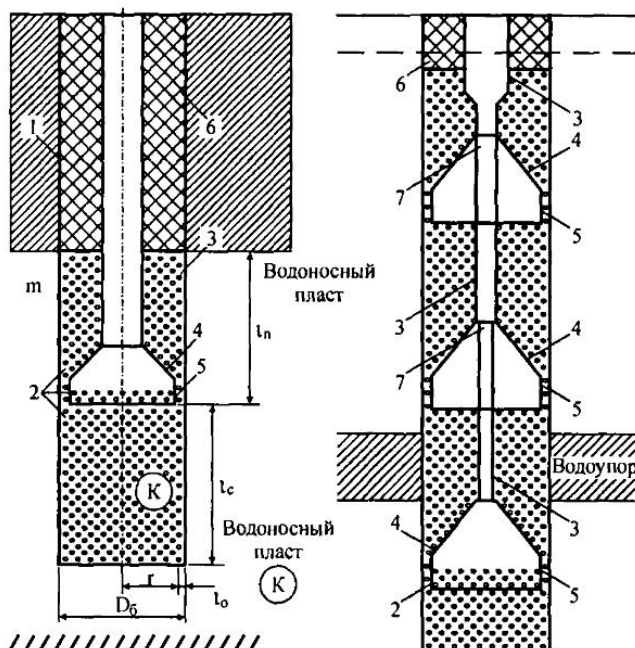
Если $R_{\text{доп}} < R$, то скважина удовлетворяет требованиям устойчивости кровли; если $R_{\text{доп}} > R$, то уточняется радиус $R_{\text{доп}}$ и для него находится новое значение h .

С целью закрепления слабой кровли иногда применяют закрепляющие растворы, плавучие полимеры, закачку сжатого воздуха. Однако условия применения таких технологических приемов весьма ограничены.

Более реальный путь повышения надежностей эксплуатации безнапорных и слабонапорных водоносных пластов является применение скважин с гравийно-зонтичными фильтрами (ФУГЗ) уширенного контура, разработанных в ЦНИИКИВР (г. Минск) и показанного на рис. 8.12.

Рис. 8.12. Конструкция скважин с гравийно-зонтичными фильтрами:

а – одноярусная; б – многоярусная; 1 – ствол бурения скважины большого диаметра (600-1200 мм); 2 – гравийная засыпка; 3 – обсадная колонна труб; 4 – раструб с цилиндрическим краем; 5, 6 – гидроизолирующий материал; 7 – отверстия



Допустимый дебит таких скважин определяется по формуле:

$$Q_{\text{доп}} = 2,1 V_{\text{доп}} \cdot r \cdot \beta, \quad (8.26)$$

где $V_{\text{доп}} = 2,0-5,8$ см/с – допустимая скорость, возрастающая с увеличением диаметра частиц грунта от 1,0 до 6,5 мм; $\beta = 0,5-0,7$ – коэффициент запаса; r – радиус водоприемной части ФУГЗ, см.

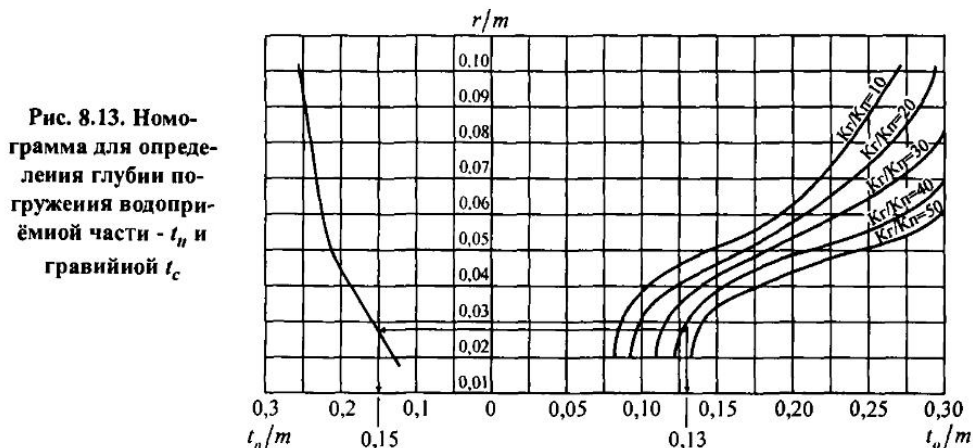
Толщина гравийной обсыпки принимается не менее 200 мм,

$$t_0 = (5 - 10) D_{50} \quad (8.27)$$

Диаметр бурения скважины:

$$D_6 = 2(r + t_0) \quad (8.28)$$

Определение глубин погружения водоприемной части t_n и гравийной обсыпки t_r производится по номограмме, представленной на рис. 8.13, в зависимости от соотношения коэффициентов обсыпки K_r и K_n и мощности водоносного пласта m .



8.5. ПОДБОР ВОДОПОДЪЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Для подбора насосов, размещаемых в эксплуатационных колоннах, необходимо предварительно определить высоту водоподъема и производительность насоса, а затем сопоставить последнюю с потенциально-возможной водоотдачей водоносного пласта. Неучет последнего, особенно когда при замене насосов допускают их производительность больше потенциально расчетного дебита водоносного горизонта, ведет к обрушению кровли пласта, быстрой кольматации водоприемной поверхности фильтра и выходу из строя самого насоса.

Производительность насоса одиночной скважины должна обеспечивать расход воды не только на хозяйственно-питьевые и технические нужды водопотребителей $Q_{водоп.}$, но и собственные нужды водозаборных сооружений, очистной станции и насосных станций:

$$Q_{скв} = Q_{водоп} (1 + \alpha), \quad \text{м}^3/\text{сут}, \quad (8.29)$$

где $\alpha = 1,05-1,1$ – коэффициент, учитывающий расход воды на вспомогательные операции (промывку очистных сооружений, водоводов) на очистной станции и водозаборе.

Кроме этих расходов, либо производительностью скважины, либо необходимой производительностью ее работы в течение суток (при $Q_{скв} > Q_{вод.хоз.}$) обеспечивается и восполнение запаса на тушение пожаров. При числе рабочих скважин на водозаборе более одной отмеченные выше расходы воды обеспечиваются регулированием почасового водопотребления и правильно подобранным графиком работы насосных станций первого и второго подъемов воды.

Требуемый напор насоса, расположенного в эксплуатационной колонне, определяется исходя из места установления динамического уровня воды в скважине при откачке, места расположения наивысшей точки подачи, потерь напора в насосе, водоподъемной трубе и водоводе (рис. 8.14).

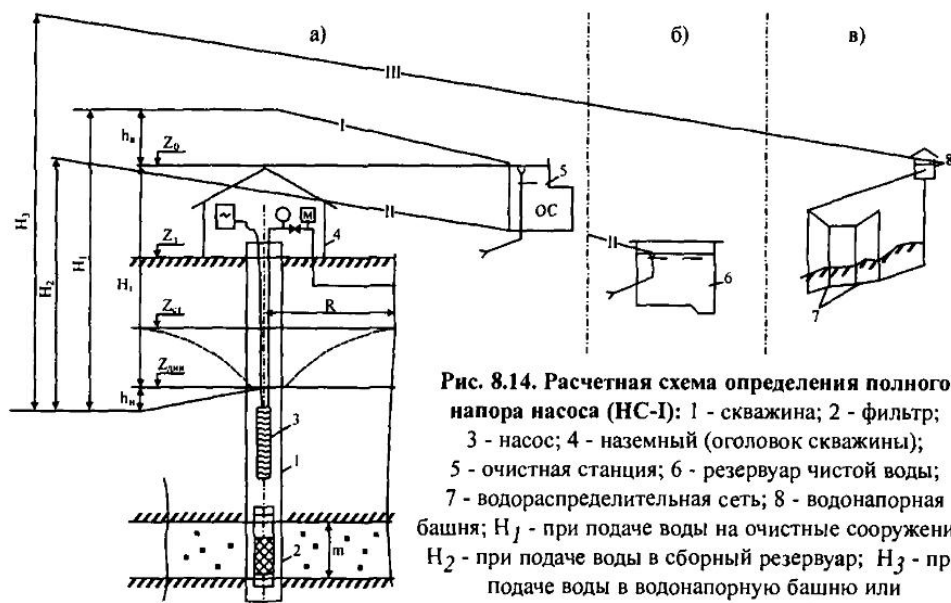


Рис. 8.14. Расчетная схема определения полного напора насоса (НС-I): 1 - скважина; 2 - фильтр; 3 - насос; 4 - наземный (оголовок скважины); 5 - очистная станция; 6 - резервуар чистой воды; 7 - водораспределительная сеть; 8 - водонапорная башня; H_1 - при подаче воды на очистные сооружения; H_2 - при подаче воды в сборный резервуар; H_3 - при подаче воды в водонапорную башню или непосредственно в разводящую сеть. а) случай подачи воды на очистные сооружения; б) случай подачи воды в сборный резервуар на водозаборе; в) случай подачи воды в башню на территории объекта водоснабжения. I, II, III - пьезометрические линии при различных расчетных случаях

$$H_{нас} = h_n + H_z + h_g, \quad \text{м}, \quad (8.30)$$

где h_n - потери напора во всасывающих коммуникациях насоса; H_z - геодезическая высота водоподъема; h_g - потери напора в водоподъемной трубе, арматуре и водоводе до места водоподдачи.

На практике зачастую не всегда удается подобрать марку насоса, рабочая точка которого точно бы соответствовала требуемым значениям Q_m и H_m . Поэтому подбираемый

насос должен обеспечивать несколько больший напор: $H_{\phi} \geq 1,05H_m$. Регулирование напора насоса осуществляют дросселированием с помощью задвижек на напорной линии, реже – изменением числа рабочих колес.

Выбор типа насоса производится по заданному расчетному расходу и напору воды при условии его работы в экономичном диапазоне и с учетом того, что от размеров (диаметра) погружных насосов в существенной мере зависит диаметр эксплуатационной колонны, а следовательно, и начальный диаметр бурения. В таблице 8.10 приведены ориентировочные диапазоны применения различных водоподъемников в зависимости от характеристик скважин. Характеристики насосных агрегатов типа АТН и ЭЦВ приведены в табл. 8.11.

Таблица 8.10

Условия применения насосов для эксплуатации скважин

№	Тип водоприемника	Характеристика водоподъемника		Характеристика скважины				Возможность водоподачи непосредственно в сеть	Необходимый резерв
		Q , м³/сут	H , м	Скважина песк.	Глубина динамического уровня, м				
					30	70	70		
1.	Артезианские насосы турбинные (АТН) с двигателями на поверхности земли	30-250	30-115	-	+	+	+	+	+
2.	Заглубленные центробежные электронасосы ЭЦВН (ВН)	4-360	30-304	-	+	+	+	+	+
3.	Поршневые насосы (ШНД)	3-50	150	-	+	+	+	+	+
4.	Эрлифты	2-200	10-170	+	+	+	-	-	-

Погружной центробежный насос марки ЭЦВН состоит из электродвигателя, насоса, электропроводного кабеля, колонны водоподъемных труб и наземного оборудования (рис. 8.15, б). Насосы этого типа многоступенчатые, секционные, вертикальные, с закрытыми лопастными колесами одностороннего входа. В комплект электрического погружного насоса (ЭПН) входят насосный агрегат с очистным устройством, конструктивно объединенный с вертикальным электродвигателем специального изготовления, напорный водоподъемный трубопровод и станция управления (рис. 8.15, а). Для нормальной эксплуатации такого насоса вода не должна содержать агрессивных и механических примесей, а ее температура не должна превышать +25°C.

В отдельных случаях еще применяют и центробежные насосы типа АТН с размещением электродвигателей на поверхности земли; в специальном оголовке или павильоне насосы такого типа устанавливают в скважину на отметку, расположенную ниже динамического уровня на 3-5 м. Они соединяются с электродвигателем, вмонтированным в станину над скважиной с помощью трансмиссионного вала, размещаемого в напорной колонне труб.

Таблица 8.11

Технические характеристики электронасосных агрегатов

Тип	Насос					Электродвигатель					
	подача, м ³ /ч	напор, вод.ст.	количество ступеней	масса, кг	подпор, м вод.ст.	тип	мощность, кВт	частота вращения вала, кВт	напряжение, В	номинальный ток, кг	??
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ЭЦВ4-1,6-30	1,6	30	8	5,9	1	ПЭДВО,4-93	0,4	2820	220	3,2	25
ЭЦВ4-1,6-50	1,6	50	14	6,8	1	ПЭДВО,7-93	0,7	2820	220	5,3	28
ЭЦВ4-1,6-65	1,6	65	18	7,4	1	1ПЭДВ1-93	1,0	2840	380	2,8	29
ЭЦВ4-1,6-85	1,6	85	21	8,1	1	То же	1,0	2840	380	2,8	30
ЭЦВ4-1,6-130	1,6	130	31	22	1	1ПЭДВ1,6-93	1,6	2840	380	4,2	42
ЭЦВ4-4-30	4,0	30	7	7	1	ПЭДВО,7-93	0,7	2820	220	5,3	25
1ЭЦВ4-4-45	4,0	45	10	7	1	1ПЭДВ1,6-93	1,0	2840	380	2,8	29
1ЭЦВ4-4-70	4,0	70	15	8,5	1	1ПЭДВ1,6-93	1,6	2840	380	4,2	33
ЭЦВ5-4-125	4,0	125	22	15	1	ПЭДВ2,8-114	2,8	2850	380	7,8	75
ЭЦВ5-6,3-80	6,3	80	14	15	1	То же	2,8	2850	380	7,8	75
ЭЦВ5-4-90	4,0	90	10	30	1	ПЭДВ2,8-140	2,8	2850	380	7,0	85
ЭЦВ6-4-130	4,0	130	15	42	1	ПЭДВ2,8-140	2,8	2850	380	7,0	97
ЭЦВ6-4-190	4,0	190	22	52	1	1ПЭДВ4,5-140	4,5	2850	380	10,7	112
2ЭЦВ6-6,3-85	6,3	85	10	30	1	ПЭДВ2,8-140	2,8	2850	380	7,0	85
1ЭЦВ6-6,3-125	6,3	125	15	42	1	1ПЭДВ4,5-140	4,5	2850	380	10,7	102
3ЭЦВ6-6,3-60	6,3	60	8	24	1	ПЭДВ2-140	2,0	2850	380	5,2	75
3ЭЦВ6-6,3-85	6,3	85	12	29	1	ПЭДВ2,8-140	2,8	2850	380	7,0	85
3ЭЦВ6-6,3-125	6,3	125	18	36	1	4ПЭДВ4,5-140	4,5	2850	380	10,7	97
1ЭЦВ6-10-50	10	50	6	25	1	1ПЭДВ2,8-140	2,8	2850	380	7,0	73
ЭЦВ6-10-80	10	80	9	29	1	1ПЭДВ4,5-140	4,5	2850	380	10,7	95
1ЭЦВ6-10-80	10	80	9	25	1	ПЭДВ4,5-140	4,5	2850	380	10,7	82
ЭЦВ6-10-110	10	110	12	34	1	ПЭДВ5,5-140	5,5	2850	380	12,7	98
1ЭЦВ6-10-140	10	140	15	44	1	3ПЭДВ8-140	8,0	2850	380	18,3	116
1ЭЦВ6-10-185	10	185	21	54	1	То же	8,0	2850	380	18,3	121
ЭЦВ6-10-235	10	235	27	66	1	ПЭДВ11-140	11,0	2850	380	24,8	130
3ЭЦВ6-16-50	16	50	6	28	1	ПЭДВ4,5-140	4,5	2850	380	10,7	84
3ЭЦВ6-16-75	16	75	9	34	1	ПЭДВ5,5-140	5,5	2850	380	12,7	99
3ЭЦВ8-16-140	16	140	12	65	1	ПЭДВ11-180	11	2850	380	24,2	170
1ЭЦВ8-25-100	25	100	7	38	1	4ПЭДВ11-180	11	2850	380	24,2	145
ЭЦВ8-25-150	25	150	10	63	1	1ПЭДВ16-180	16	2850	380	35,6	202
ЭЦВ8-25-195	25	195	13	69	1	3ПЭДВ22-180	22	2900	380	48,5	246
1ЭЦВ8-25-300	25	300	19	268	1	ПЭДВ32-180	32	2900	380	69,7	390
ЭЦВ8-40-65	40	65	5	95	1	ПЭДВ11-180	11	2850	380	24,2	207
ЭЦВ8-40-165	40	165	12	172	1	ПЭДВ32-180	32	2900	380	69,7	360
ЭЦВ10-63-40Г	63	40	2	84	1	ПЭДВ11-180Г	11	2850	380	24,2	220
1ЭЦВ10-63-65	63	65	3	86	1	ПЭДВ22-219	22	2900	380	47,2	271
ЭЦВ10-63-110	63	110	5	148	1	ПЭДВ32-230	32	2900	380	66,7	348
1ЭЦВ10-63-110	63	110	5	100	1	ПЭДВ32-219	32	2900	380	66	310
1ЭЦВ10-63-150	63	150	7	130	1	ПЭДВ45-219	45	2900	380	92	406

Продолжение таблицы 8.11											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ЭЦВ10-63-270	63	270	11	345	1	ПЭДВ65-230	65	2900	380	132	727
ЭЦВ10-120-40Г	120	40	2	77	1	ПЭДВ22-219Г	22	2900	380	47,2	256
1ЭЦВ10-120-60	120	60	3	116	1	ПЭДВ32-219	32	2900	380	66,7	328
ЭЦВ10-160-35Г	160	35	2	100	1	ПЭДВ22-219Г	22	2900	380	47,2	290
ЭЦВ10-160-65	160	65	4	138	1	ПЭДВ45-230	45	2900	380	92	408
ЭЦВ12-160-65	160	65	2	110	1	АДП-273-45/2	45	2920	380	93,3	400
ЭЦВ12-160-100	160	100	3	170	1	ПЭДВ65-270	65	2920	380	130	470
ЭЦВ12-160-140	160	140	4	192	1	1ПЭДВ90-270	90	2920	660	180	605
ЭЦВ12-210-25	210	25	1	60	2	ПЭДВ22-230	22	2900	380	47,2	250
ЭЦВ12-210-55	210	55	2	105	2	1ПЭДВ45-270	45	2920	380	93,3	395
2ЭЦВ12-210-85	210	85	3	181	2	ПЭДВ65-230	65	2920	380	132	563
ЭЦВ12-210-45	210	145	5	288	2	5ПЭДВ125-270	125	2920	660	260	800
ЭЦВ12-255-30Г	255	30	1	68	6	2ПЭДВ32-219	32	2900	380	66,7	291
ЭЦВ12-375-30	375	30	1	70	6	2ПЭДВ45-230	45	2920	380	92	360
1ЭЦВ14-120-540К	120	540	16	893	1	1ПЭДВ250-320М	250	2920	380	66	1993
ЭЦВ14-210-300К	210	300	6	700	2	1ПЭДВ250-320К	250	2920	380	66	1800
ЭЦВ16-375-175К	375	175	3	585	6	То же	250	2920	380	66	1680
ЭЦВ16-3000-1000	125	1000	16	1300	16	ПЭДВ500-375	126	2970	380	126	14500
АТН-8-1-16	30	65				А02-61-4		13	1450	220/380	
АТН-8-1-22	30	90				А02-62-4		17	1450	220/380	

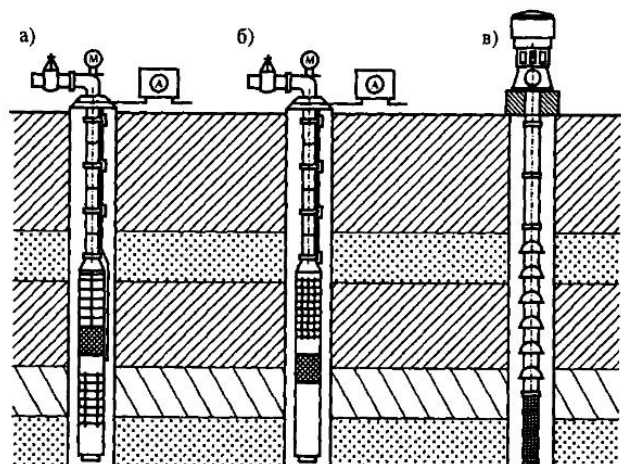


Рис. 8.15. Схемы размещения насосов в скважинах: а) электронасос ЭПН; б) погружной центробежный насос ЭЦНВ; в) глубинный артезианский насос АТН

В таблице 8.12 приведены основные расходно-характеристики скважинных насосов, поставляемых зарубежными фирмами на отечественный рынок

Количество ступеней подъема воды зависит от глубины залегания ее статического уровня в скважине. Марку эксплуатационного насоса устанавливают по расчетной производительности скважины и требуемому напору.

Характеристики скважинных насосов иностранного производства

Страна производитель	Марка насоса	Расход Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность электродвигателя, кВт
Дания, GRUNDFOS	SP 1A	0,6-0,9	300-150	0,37-1,5
	SP 2A	0,8-2,8	500-200	0,37-3,7
	SP 3 A	2,0-4,5	300-100	0,37-3,7
	SP 5A	2,8-6,9	450-260	0,37-7,5
	SP 8 A	4,0-10,0	600-320	0,75-18,5
	SP 14 A	7,1-18,0	85-45	1,5-3,7
	SP 16	8,0-19,0	480-300	1,1-22,0
	SP 27	17,0-36,0	450-210	1,5-22,0
	SP 45	23,0-60,0	400-175	2,2- 37,0
	SP 75	39,0-100,0	350-175	5,5-75,0
	SP 120	80,0-175,0	250-140	7,5-110,0
	SP 210	150,0-299,0	300-140	18,5-185,0
Германия, KSB	Etachrom NC	259,2	106	-
	Etachrom BC	252,0	108	-
	Etaline			
	Hya-Drive	248,4-900	65	-
	Etanorm	658,8	102	-
	Etabloc	550,8	95	-
	Etaseco	252,0	100	-
	Movichrom N,			
	Movichrom NB	64,8	250	-
	S 100 B	16,0	300	-
	UPA	0,72-2500	10-610	-
Италия, SEA-LAND, SUMOTO	Wellstar	648,0	350	-
	B, FB	2592,0	300	-
	ONKM 100	2,3	55	0,75
	ONKM 150	2,5	85	1,1
	F 3-16	2,4	75	0,55
	F 3-22	2,4	100	0,75
	F 3-32	2,4	150	1,1

Потери напора в водоподъемных трубах насоса ориентировочно принимают равными 3-5 м. После подбора типа насоса проверяют возможность его установки под динамический уровень воды в скважине. Если подобранный насос невозможно установить на 2-3 м ниже динамического уровня из-за малого расстояния между динамическим уровнем и верхом надфильтровой трубы (особенно в маломощных безнапорных водоносных пластах), то следует увеличить число скважин на единицу и пересчитать значения $Q_{ч.с.}$, S_p , H_n .

Одним из перспективных путей повышения санитарно-гигиенической безопасности эксплуатации скважин, снижения расходов электроэнергии, сокращения расходов на монтаж и демонтаж водоподъемного оборудования, дополнительного использования вакууметрической высоты всасывания погружных насосов является использование в качестве водоподъемных колонн обсадных труб, оборудованных беструбными подвесками погружных насосов (рис. 8.16).

Обязательными узлами всех конструкций беструбных подвесок являются устройства разделения и герметизации зон всасывания и нагнетания и оборудование, позволяющее устанавливать насос на требуемой глубине.

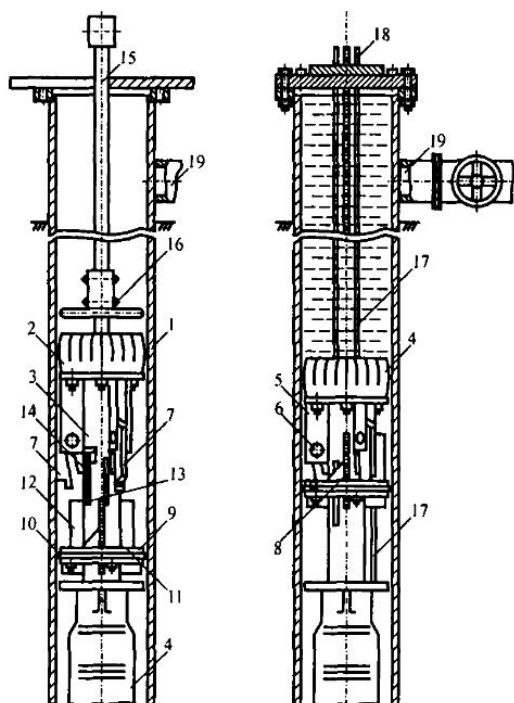


Рис. 8.16. Схема оборудования скважины погружным насосом с беструбной подвеской:

а) монтажное положение, б) рабочее положение; 1 - резиновая манжета; 2, 9 и 10 - фланцы; 3 - труба; 4 - погружной насос; 5 - направляющее ребро; 6 - палец; 7 - клин; 8 - стопорное кольцо; 11 - резиновая диафрагма; 12 - ребро; 13 и 14 - ограничители; 15 - штанга; 16 - монтажная головка; 17 - электрокабель; 18 - оголовок; 19 - отводная труба

Основными требованиями, предъявляемыми к устройствам беструбной подвески погружных насосов являются надежное обеспечение разделения зон всасывания и нагнетания, перенос восприятия осевых нагрузок и реактивных моментов работающего насоса на обсадные трубы, обеспечение свободного перемещения погружного насоса с устройством при их монтаже и демонтаже, устойчивость к пескованию и препятствие к чрезмерному нагреву электродвигателя.

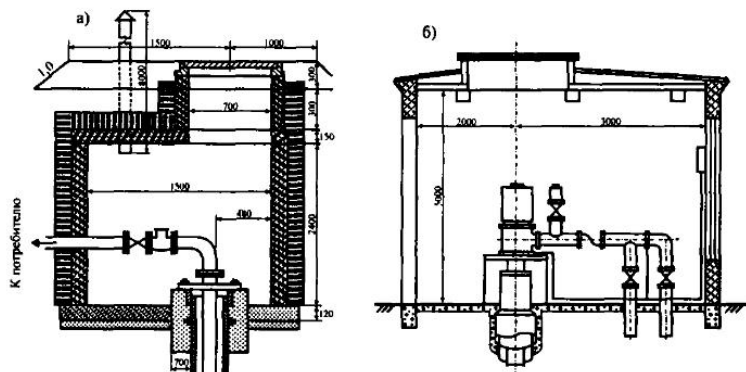
С учетом вакууметрической высоты всасывания насоса ($\Delta h_{\text{доп}}$) глубине установки погружного насоса с беструбной подвеской определяется по формуле:

$$L_n = (Z_1 - Z_2 - S) + \Delta h_{\text{доп}}, \quad (8.31)$$

где Z_1 и Z_2 - соответственно отметки устья водозаборной скважины и статического уровня воды в ней, м; S - допустимое понижение уровня воды в скважине, м. Установка дополнительного верхнего пакера в обсадной трубе позволяет исключить необходимость строительства наземных павильонов и их обслуживание.

На рис. 8.17 представлены монтажные схемы размещения в подземном оголовке погружного электронасоса, в наземном павильоне - артезианского насоса типа АТН.

Рис. 8.17. Монтажно-конструктивные схемы устройства насосных станций подземных водозаборов: а) в подземном оголовке (насосы типа ЭЦВН, ЭПН); б) в наземном павильоне (насосы типа АТН с выносным электродвигателем)



При незначительных удельных дебитах отдельных скважин, не обеспечивающих потребности в воде, подземный водозабор сооружают из группы скважин. Их стараются располагать нормально к направлению грунтового потока с обеспечением самотечного поступления поднятой из скважин воды по общему водоводу в водоприемный сборный колодец.

8.6. Технология сооружения скважин на воду

Бурение скважин на воду производится специализированными объединениями или строительными организациями в соответствии с действующими техническими нормами и правилами их проектирования и сооружения. Способ бурения определяют в зависимости от глубины залегания водоносного пласта, принятого в эксплуатацию, гидрогеологических и местных условий. В маловодных и безводных районах с ограниченными возможностями подвоза воды при наличии рыхлых, валунно-галечниковых, полускальных и песчаных грунтов при глубинах скважин до 50-500 м экономически выгоднее использовать ударно-канатный способ бурения.

При таком способе бурения породу забоя разрушают ударами бурового снаряда, вес которого достигает 1,5 т (рис. 8.18, а). Разрушения грунта достигают многократным подъемом и сбрасыванием с высоты 0,5-1,0 м снаряда на забой с помощью бурового агрегата. Число ударов снаряда за минуту достигает 40-50. Разбуренную породу удаляют из забоя с помощью специальных желонок (полых труб с клапанами или без них), которые опускают многократно в скважину, поднимая из нее предварительно ударную штангу и долото. Тип долот (зубильное, крестовое, двутавровое, округляющее) и тип желонки (с плоским клапаном, поршневая с ножом) подбирают в зависимости от твердости и вида породы. Этот способ позволяет опробовать все встречающиеся по разрезу водоносные горизонты, не требует воды и специального глинистого или иного бурового раствора. Им можно бурить скважины с начальным диаметром до 600-2000 мм. Однако скорость такого бурения невелика, зависит от твердости разбуриваемых пород, веса бурового снаряда, высоты его падения на забой, диаметра скважины, числа ударов в единицу времени и обычно колеблется в пределах от 1,6-5 м/ч.

В табл. 8.13 приведены основные технические характеристики наиболее часто применяемых отечественных и некоторых зарубежных установок для ударно-канатного бурения.

Буровая установка БУГ-100М, разработанная в Гидропроекте, позволяет осуществлять ударное бурение в сочетании с вращением обсадной колонны. Вышка башенного типа позволяет использовать одно- и трехструнную талевую оснастку, поднимается и опускается с помощью лебедки станка.

На некоторых установках ударно-канатного типа зарубежного производства в качестве породоразрушающего инструмента используются грейфер и специальные желонки (Супер ЭДФ-55 Беното, Франция) или долота и грейферы (20ТН и 50ТН, Япония). Последние типы установок, изготавливаемые японской фирмой "Като", приспособлены для ударно-канатного и роторного бурения с прямой и обратной промывкой.

Для сооружения скважин большой глубины (0,2 км и более) в благоприятных гидрогеологических условиях при наличии поблизости воды и качественного состава глины и других промывочных растворов (или при экономически обоснованной доставке их из других районов) используют роторный способ бурения. Суть его состоит в разрушении пород инструментом, который вращается вокруг оси с одновременным созданием

вертикальной нагрузки за счет веса бурового снаряда. Разбуренная порода непрерывно выносится из скважины восходящим потоком рабочего глинистого или иного раствора, который подается по бурильным трубам грязевым насосом (рис. 8.18, б).

Рис. 8.18. Схема ударно-канатного (а) и роторного (б) бурения: 1 - буровой снаряд; 2 - скважина; 3 - канат; 4 - мачта с талевыми блоками; 5 - система ударно-подъемного механизма; 6 - лоток циркуляционной системы; 7 - отстойник глинистого промывного раствора; 8 - кондуктор; 9 - ротор; 10 - вертлюг-сальник; 11 - грязевой насос

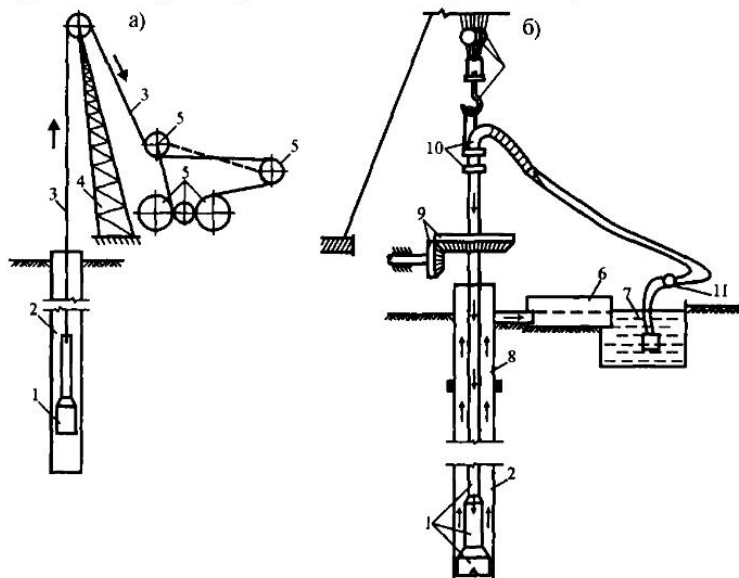


Таблица 8.13

Технические характеристики установок для ударно-канатного бурения

№	Показатели	Отечественного производства			Зарубежного производства	
		УГБ-ЗУК	УГБ-4УК	БУГ-100М	Супер ЭДФ-55 Беното (Франция)	20ТН (Япония)
1.	Глубина бурения максимальная, м	300	500	100	100	30
2.	Диаметр скважины максимальный, мм	600	900	500	1200	2000
3.	Тип двигателя	электрический		дизельный	дизельный	дизельный
		АО-73-6	АО-93-08	Д-37		
4.	Мощность двигателя, кВт	20	40	29	137	48
5.	Грузоподъемность барабанов	1,3-2,0	2,0-3,0		1,0-2,5	
6.	Высота мачты, м	12,25	16,0	11,35		
7.	Грузоподъемность мачты, т	12,0	16,0	10,0		
8.	Масса установки (станка), т	(7,6)	(16,3)	11,0	32	31
9.	Габаритные размеры станка в рабочем положении, м	5,8×2,3×12,75	10,0×2,64×16,3		8,7×3,65×13,5	7,86×3,7×14,5
10.	Способ транспортировки бурового агрегата	двухосный прицеп	колесный прицеп	подкатные оси ПО-6	колесный прицеп	

С увеличением глубины скважины буровой снаряд, поддерживаемый с помощью канатов и лебедки, опускается и постепенно наращивается новыми бурильными трубами. Преимуществом этого способа является его значительно большая скорость бурения по сравнению с ударно-канатным. Однако при таком способе происходит частичная кольятация водоносных пластов глинистым раствором, что приводит к сокращению их водоотдачи.

Технические характеристики установок роторного бурения приведены в табл. 8.14. Функции породоразрушающих инструментов выполняют лопастные долота режуще-скалывающего и режуще-истирающего типа (используемые для разбуривания мягких и средней твердости пород) и шарошечные долота с двумя или тремя шарошками, дробящие и скалывающие твердые и абразивные породы.

Таблица 8.14

Технические характеристики установок роторного бурения

№	Показатели	Марки установок				
		1БА-15В	1БА-15В-ОП	УРБ-2А2	УРБ-3АМ-ОП	1БА-15К
1.	Глубина бурения, м	500	200	300	150	500
2.	Диаметр скважины максимальный, мм	490	1200	200	1200	39
3.	Мощность двигателя установки, кВт	77,2	77,2	54	39,7	79
4.	Производительность бурового насоса, л/мин	360	360 (1000)	300	390	360
5.	Высота мачты (вышки), м	18	16	16	13,5	16
6.	Грузоподъемность мачты, т	12	12	10	12	12,5
7.	Масса установки, т	13,6	14,7	10,1	13,6	14,0
8.	Способ транспортировки	шасси автомобиля				

Технология бурения включает в себя процессы забуривания устья скважин при малой частоте вращения бурового снаряда и расходе промывочной жидкости до 1,5 л/с; монтаж направляющей трубы к ее центру; непосредственно проходку ствола скважины до забоя с соблюдением оптимальных осевых нагрузок на породоразрушающий инструмент, частоты вращения бурового снаряда, расходов промывочных жидкостей под необходимым напором; выполнение спуско-подъемных операций и крепление стенок скважины.

При роторном способе бурения с прямой промывкой глинистыми растворами удельный дебит скважин снижается из-за частичного заполнения порового пространства прифильтровой зоны раствором. При сооружении скважин большого диаметра таким способом сложно достичь требуемых режимов бурения и вскрытия водоносных пластов. В связи с этим все более широкое применение находит бурение с обратной промывкой. Схемы такого бурения с использованием центробежных вакуум-насосов и эрлифтов показаны на рис. 8.19.

Преимуществом способа бурения с обратной промывкой является увеличение в 10-15 раз скорости бурения в аналогичных геологических и гидрогеологических условиях по сравнению с прямой промывкой, возможность сооружения скважин с конечным диаметром до 1,5 м, предотвращение глинизации водоносных горизонтов в результате замены глинистого раствора на обычную воду.

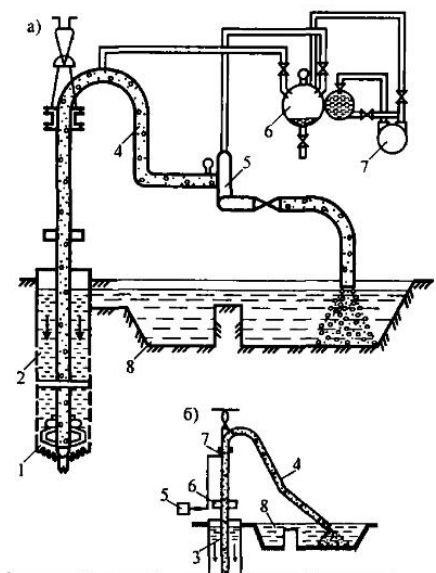


Рис. 8.19. Схема роторного бурения с обратной промывкой. а) с использованием вакуум насосов; б) с использованием эрлифта; 1-долото; 2-бурильная труба; 3-воздушная труба; 4-сливной рукав; 5-вакуумный насос; 6-вакуумный бак; 7-центробежный насос; 8-отстойник

При таком способе бурения вода из отстойника поступает самотеком по кольцевому пространству, образуемому бурильной колонной и стенками скважины, в забой, захватывает разбуренную породу и через отверстия в долоте транспортирует ее в шламовое отделение отстойника на поверхности земли. Подъем разбуренной породы на поверхность осуществляется за счет создания вакуума в рабочей трубе или с помощью эрлифта (рис. 8.19).

Для сооружения скважин с обратной промывкой используют переоборудованные станки для роторного бурения УРБ-3АМ-ОП, 1БА-15В-ОП (табл. 8.11), а также специальные установки для геологического, ударно-канатного и шнекового бурения УШБМ-16-ОП, УГБ-3УК-ОП. Из зарубежных установок для бурения с обратной промывкой наиболее известными являются немецкие установки SW-200, L-2,10, PS-150; K2/S-100, K6/S-250, румынская FA-12.

Для сооружения скважин диаметром 60-400 мм в мягких породах на глубину до 50-80 м в отдельных случаях применяют шнековое бурение (рис. 8.20).

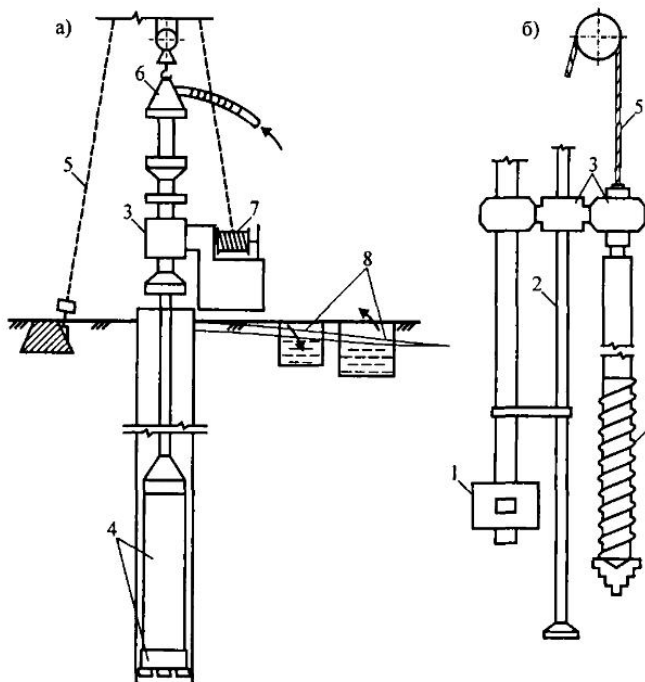


Рис. 8.20. Схемы колонкового (а) и шнекового (б) бурения: 1 – привод; 2 – фрагмент мачты; 3 – вращатель; 4 – буровой снаряд; 5 – канат; 6 – вертлюг-сальник; 7 – лебедка; 8 – элементы приготовления, транспортировки и отстоя глинистого раствора

При таком способе бурения порода разрушается с помощью лопастных, шарошечных и колонковых долот, а транспортируется на поверхность шнеком. Наибольшее распространение получила установка для шнекового (гидрогеологического бурения) УГБ-1ВС, позволяющая сооружать скважины глубиной до 50 м с начальным диаметром до 250 мм (табл. 8.15).

Таблица 8.15

Технические характеристики установок для колонкового и шнекового бурения

№ п/п	Показатели	Установки колонкового бурения		Установки шнекового бурения		
		ЗИФ 650А	ЗИФ 1200А	УГБ-1ВС	УШБ-16	УШБМ-16-ОП
1.	Глубина бурения, м	650	1200	50	80	100
2.	Диаметр скважины максимальный, мм	200	250	250	150	1200
3.	Мощность двигателя, кВт	28	40	38	77	77
4.	Категория твердости разбуриваемых пород	IV-X	IV-X	I-IV	I-IV	I-IV
5.	Грузоподъемность, т	3,0	4,5		15	15
6.	Высота мачты (вышки), м	12	12	8	11	11
7.	Масса установки (агрегата бурового), т	(4,4)	(6,64)	(5,1)	7,9	11
8.	Угол бурения	90-75	90-95	90	90	90

Для сооружения скважин на воду в скальных породах с диаметром до 300 мм и глубиной до 500 м, а также в тех случаях, когда необходимо получить данные для определения геологического разреза при разведывательном бурении, применяют колонковый способ бурения.

Отличительной особенностью буровых инструментов для колонкового бурения является конструкция специальных алмазных, твердосплавных, дробовых колонок, разрушающих при вращении бурового снаряда породу по кольцевой канавке и оставляющих при этом неразрушенный столбик породы (кern), входящий по мере заглубления бурового снаряда и колонковую трубу (рис. 8.20, а). Kern подрывают специальным инструментом – kernоврателем и извлекают на поверхность земли вместе с буровым снарядом.

В процессе бурения стенки скважин закрепляют колонной стальных, а при небольших глубинах (до 50 м) – чугунных или асбестоцементных труб. На рис. 8.21 изображены характерные конструкции скважин при заборе воды из песчаных и меловых трещиноватых пород, сооруженных роторным и ударно-канатным способами бурения.

В практике бурения скважин роторным или колонковым способами затрубное пространство (зазор между стенками скважины и обсадными трубами) цементируют. Существуют несколько способов цементирования. Наиболее распространенным является способ с двумя пробками (рис. 8.22).

После промывки и установки нижней пробки проводят закачку необходимого объема цементного раствора и устанавливают верхнюю пробку. Затем осуществляют продавливание цементного раствора в затрубное пространство. После того как верхняя пробка дойдет до конца «стоп», давление на манометре резко повышается, что служит окончанием цементации. В качестве продавочной жидкости обычно используют глини-

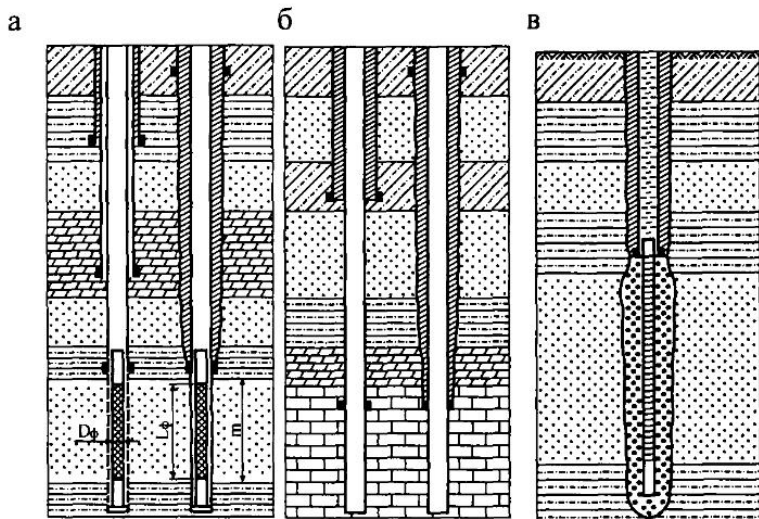


Рис. 8.21. Конструкции скважин ударно-канатного и роторного бурения, оборудованных фильтрами (а, в) и бесфильтровых (б)

стый раствор. При цементировании учитывают количество закачиваемой прокачиваемой жидкости, чтобы до прокачки оставшихся 0,5-1,0 м³ перейти на работу с одним насосом и избежать гидравлического удара в системе труб.

Перед цементированием для улучшения сцепления цементного камня со стенками скважины ее целесообразно промыть водой.

После окончания цементировании колонну оставляют в покое на 24 часа, после чего испытывают на герметичность.

Объем цементного раствора $V_{ц.р.}$, необходимый для цементировании скважины, определяют по формуле

$$V_{ц.р.} = \frac{K h p (D^2 - d_n^2)}{4} + \frac{p d_s^2 h_0}{4}, \quad (8.32)$$

где K – коэффициент, учитывающий увеличение объема цементного раствора за счет наличия трещин, каверн и увеличения диаметра скважины при бурении, $K = 1,2-2,5$; h – интервал цементировании (высота подъема цементного раствора), см; D – диаметр бурения, см; d_n , d_s – соответственно наружный и внутренний диаметры обсадных труб, см; h_0 – высота цементного стакана в обсадных трубах, см.

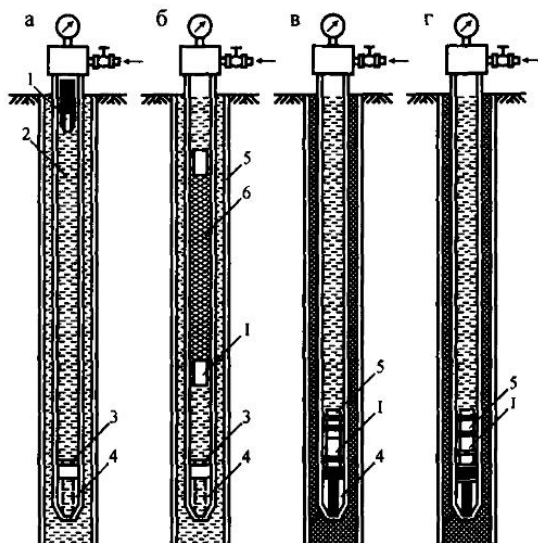


Рис. 8.22. Схема цементировании с двумя пробками: а – скважина заполнена промывочной жидкостью 2, в колонну введена нижняя пробка 1, начинается закачка цементного раствора в колонну; б – после закачки требуемого объема цементного раствора 6 устанавливается верхняя пробка 5, цементный раствор продавливается до стоп-кольца 3; в – цементный раствор выдавлен в затрубное пространство; г – обсадные трубы 4 опущены на забой

Важным показателем в процессе является скорость подъема цементного раствора. Необходимо создать турбулентный режим движения раствора в затрубном пространстве, при котором будет происходить наиболее полное вытеснение глинистого раствора.

Для кондукторов и промежуточных обсадных колонн скорость цементного раствора должна быть не менее 1,5 м/с, а для эксплуатационных колонн – не менее 1,8-2,0 м/с. При возникновении опасных поглощений цементного раствора скорости восходящего раствора снижают.

Производительность растворного агрегата $Q_{ч.н.}$ должна удовлетворять условию:

$$Q_{ч.н.} = 0,785(D^2 - d_n^2)v, \quad (8.32)$$

где v – скорость подачи цементного раствора в затрубном пространстве, равная 1,5-2,0 м/с.

Если требуемая производительность цементирующего агрегата выше паспортной, то подбирают более мощный агрегат или применяют несколько агрегатов. Для глубоких скважин рекомендуется иметь один цементирующий агрегат в запасе.

Количество подаваемой жидкости V_{np} обычно подсчитывают по формуле:

$$V_{np} = \frac{d_s^2 H_1 k}{2}, \quad \text{м}^3, \quad (8.33)$$

где k – коэффициент запаса, равный 1,03-1,05; H_1 – глубина установки кольца «стоп», м.

Давление P , развиваемое насосом перед посадкой верхней пробки на «стоп», определяют по формуле:

$$P_{max} = P_1 + P_2, \quad (8.33)$$

где P_1 – давление, необходимое для преодоления разности плотностей жидкости в затрубном зазоре и трубах, МПа; P_2 – давление, необходимое для преодоления сопротивления, МПа.

$$P_1 = 0,1[(\gamma_1 - \gamma_2)L + (\gamma_1 - \gamma_2)h - (\gamma_1 - \gamma_2)h_0], \quad (8.34)$$

где γ_1 – плотность промывочной жидкости в затрубном пространстве, г/см³; γ_2 – плотность продажной жидкости, г/см³; L – глубина скважины, см.

Продолжительность цементирования должна удовлетворять условию:

$$T_y \leq 0,75T_{схв}, \quad (8.35)$$

где $T_{схв}$ – время схватывания цементного раствора ($T_{схв} = 90$ мин.).

Технические характеристики наиболее распространенных цементирующих агрегатов приведены в табл. 8.16.

Технические характеристики цементировочных агрегатов

Показатели	ЦА $\frac{1,4}{150}$	ЦА-300М	ЦА-320М	3ЦА-400
Емкость зазерного бака, м ³	3	3	6,4	6,9
Подача цементировочного насоса, м ³ /мин:				
- максимальная	1,1	0,8	1,37	1,98
- минимальная	0,26	0,11	0,138	0,264
Максимальное давление, МПа	15	30	40	40
Тип водяного насоса	1В	1В	1В	1В
Мощность, кВт	9,57	9,57	9,57	9,57
Максимальное давление, МПа	1,5	1,5	1,5	1,5

При ударно-канатном бурении кольцевое пространство между обсадными (эксплуатационными) трубами и стенкой скважины тампонируют цементным раствором с помощью заливных трубок и задавливанием башмаков труб в слой глины, способной к набуханию.

После окончательной установки эксплуатационной колонны труб в водоносный пласт опускают скважинный фильтр на колонне бурильных труб.

В водоносный горизонт, сложенный легкоразмываемыми породами (например, мелкие пески без примеси галечника), фильтр можно вымывать (рис. 8.23, а). Глубина вымыва обычно не превышает 20 м. Если сведений о мощности и механическом составе водоносного горизонта нет, сначала бурят скважину малого диаметра и уточняют интервал установки фильтра. Затем в скважину опускают фильтровую колонну с гидравлическим насадком, который имеет обратный клапан и втулку с левой резьбой для соединения с бурильными трубами. Для достижения необходимого эффекта гидравлического вымыва фильтра скорость выхода струи из сопла насадка должна быть не менее 40 м/с.

В скважины роторного бурения в условиях, когда водоносный горизонт сложен чистыми песками, фильтр можно устанавливать с помощью эрлифта (рис. 8.23, б). Фильтровую колонну диаметром на 75-100 мм меньше диаметра эксплуатационной опускают в скважину и крепят хомутами. Спускаемая с филь-

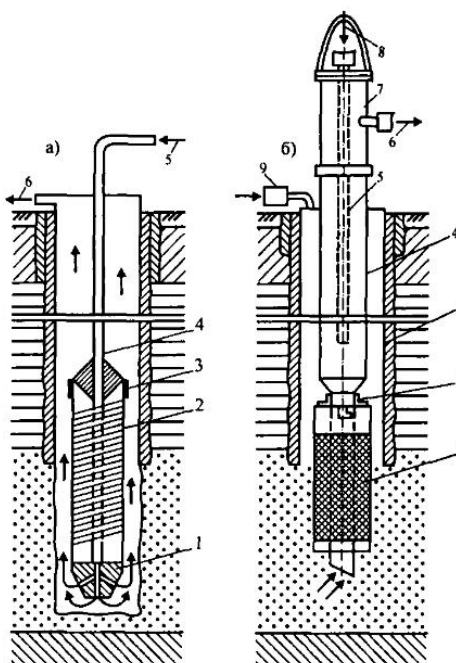


Рис. 8.23. Схемы установки фильтра:

- а – гидравлический вымыв (1 – конический насадок; 2 – фильтровая колонна; 3 – сальник; 4 – бурильные трубы; 5 – подача воды от насоса; 6 – пульпа); б – с помощью эрлифта (1 – фильтр; 2 – Т-образный ключ; 3, 4, 5 – колонны труб соответственно эксплуатационная, водоподъемная, воздухоподводящая; 6 – слив; 7 – оголовок; 8, 9 – подача воздуха от компрессора и воды от насоса)

тром колонна служит одновременно водоподъемной для эрлифта. Нижний конец водоподъемной трубы должен выходить наружу из отстойника на 10-15 см. Его срезают под углом 60° . В колонну водоподъемных труб опускают воздухопроводные диаметром 32 мм. Собранный эрлифтную колонну подвешивают на крюке буровой установки. При установке фильтра в скважину от промывочного насоса подают воду и одновременно в работу включают эрлифт. Скорость посадки фильтра составляет 4-6 м/ч.

В скважинах роторного бурения перед сдачей их в эксплуатацию производят разглинизацию водоносного пласта, которая бывает *прямой* и *обратной* - промывной водой и спецрастворами. Для этого чистую воду подают в зафильтровое пространство через отстойник или рабочую поверхность фильтра. Для увеличения скорости выхода воды в зафильтровое пространство рекомендуют применять гидравлические ерши специальной конструкции. В.Г. Ильным и И.Н. Бандырским был предложен и внедрен способ разглинизации водоносного пласта путем создания вращательного движения вымываемого потока с помощью направленной винтовой полости из листового металла или винипласта, смонтированной непосредственно на поверхности фильтра. Такие полости позволяют при одних и тех же расходах воды преобразовать ее поступательное движение во вращательное, увеличивая при этом вращательную скорость воды до 1,5...2,0 м/с.

Для разглинизации мелкозернистых водоносных пластов используют всасывание глинистой корки через водопримную поверхность фильтра при откачках. Практический интерес представляет предварительное покрытие рабочей поверхности фильтра перед опусканием его в пласт тонким защитным слоем эпоксидного клея, который легко растворяется технической разбавленной серной кислотой после окончания бурения.

После установки фильтра в скважину производят предварительные (строительные), опытные и эксплуатационные откачки.

Предварительные откачки осуществляют с целью очистки скважин от песка, ила, глины, окалины. Их осуществляют желонкой или эрлифтом (рис. 8.24). Для определения возможности получения из скважины расчетного расхода воды и оценки водоотдачи водоносного пласта при различных понижениях уровней воды в процессе работы насосов производят опытные и опытно-экспериментальные откачки. Их выполняют, как правило, не менее чем при двух понижениях уровня воды в соответствии с расчетным дебитом. Общая продолжительность откачек составляет не менее 1-2 суток на каждое понижение уровня воды после установления постоянного динамического уровня и полного осветления воды. Продол-

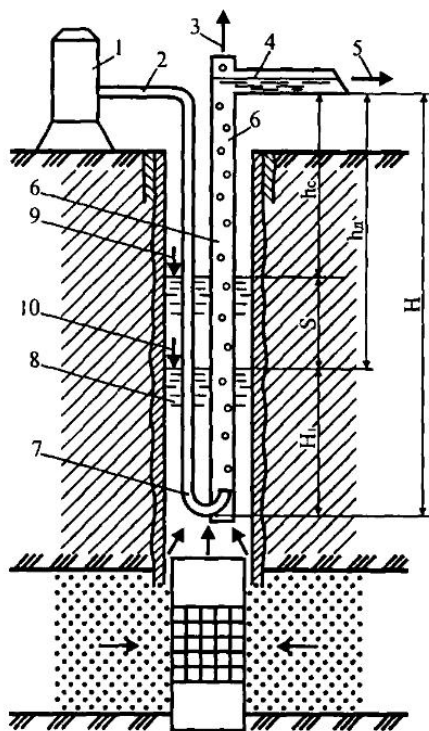


Рис. 8.24. Схема пробной откачки эрлифтом: 1 – компрессор; 2, 4, 6, 8 – трубы соответственно воздухопроводная, для отвода воды, водоподъемная, обсадные; 3 – воздух; 5 – вода; 6 – водоподъемная труба; 7 – смеситель; 9, 10 – динамический и статический уровни

жительность пробных (строительных) и опытных откачек по сравнению с продолжительностью срока постоянной эксплуатации скважин незначительна. Поэтому для этих целей допускается применять водоподъемники с небольшим коэффициентом полезного действия.

Для работы эрлифта (рис. 8.16) необходимо, чтобы

$$\gamma_{cp} H = H - h_d, \quad (8.36)$$

где γ_{cp} – средняя плотность воздушно-водяной эмульсии, т/м³; H – глубина погружения смесителя эрлифта, измеренная от уровня излива, м; h_d – глубина динамического уровня воды в скважине от уровня излива, м.

Дебит при откачке регулируют изменением количества подаваемого в скважину воздуха или глубины погружения смесителя эрлифта. Глубина погружения смесителя зависит от динамического уровня воды:

$$H = K \cdot h_d, \quad (8.37)$$

где K – коэффициент погружения смесителя, принимают в пределах 1,53.

Объем воздуха, необходимый для подъема 1 м³ воды равен:

$$V_o = \frac{K}{C \lg[h_d(K-1) + 10/10]}, \quad \text{м}^3, \quad (8.38)$$

где C – опытный коэффициент, принимают в зависимости от коэффициента погружения в пределах 8-14.

Полный расход, м³/мин, воздуха для откачки расчетного расхода воды определяют по формуле:

$$W = QV_o/60, \quad (8.39)$$

где Q – расчетный расход воды, м³/ч.

Пусковое давление, МПа, компрессора находят по формуле:

$$P_o = 0,001(Kh_d - h_c + 2), \quad (8.40)$$

Достоинства эрлифта: не имеет движущихся деталей, надежен в работе, может откачивать воду с большим содержанием песка и шлама, обладает высокой производительностью при малых диаметрах скважины. Недостатки: низкий коэффициент полезного действия и необходимость создания высокого столба воды в скважине.

Насосы для постоянной эксплуатации скважин, наоборот, должны иметь высокий коэффициент полезного действия, достаточный гарантированный срок службы и легко демонтироваться для осмотра, ремонта и замены.

8.7. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ШАХТНЫХ КОЛОДЦЕВ

Шахтные колодцы являются одним из наиболее простых и распространенных водозаборных сооружений в сельскохозяйственном водоснабжении небольших населенных пунктов и отдельно расположенных объектов. Конструктивно они представляют собой вертикальную шахтную выработку прямоугольного или круглого сечения с диаметром до 1,5 м и глубиной до 30-50 м (рис. 8.25). Нижняя часть колодца, расположенная в зоне водоносного пласта, оборудуется фильтром. Прием воды из водоносного пласта осуществляется через днище и боковые стенки. Под и над уровнем воды располагаются водоподъемные устройства (ленточные водоподъемники, бытовые насосы) и другое необходимое для эксплуатации и осмотра оборудование. Шахтные колодцы располагают поближе к водопотребителям, на незатапливаемых участках, не ближе чем в 30 м от возможных источников загрязнения. Для предотвращения обвалов и загрязнений колодца его боковые стенки укрепляют бетонными или сборными железобетонными элементами, реже бутом, кирпичом и деревом. Надземная часть колодца - оголовок, - по санитарным условиям расположенная на высоте не менее 0,8 м над поверхностью земли, должна перекрываться крышкой или иметь навес. Вокруг оголовка устраивают глинистый замок из уплотненной глины, который предотвращает попадание в колодец поверхностного стока. Поверхность земли вокруг оголовка цементируется или асфальтируется с уклоном до 0,025 от колодца.

Расчет шахтных колодцев заключается в определении возможного притока воды к ним при заданных (принятых) параметрах колодцев и гидрогеологических данных о водоносных горизонтах или в определении диаметра и их количества по заданному расходу.

Для колодцев круглого сечения дебит шахтного колодца определяют по формуле:

$$Q = \frac{\pi \cdot K_{\phi} \cdot (2H - S)}{\ln \frac{1.65}{r} + \xi_{\kappa}}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (8.41)$$

где K_{ϕ} - коэффициент фильтрации, м/сут; S - понижение уровня воды при откачке, м; $r = D/2$ - внутренний радиус колодца, м; R - радиус влияния колодца, м; H - мощность водоносного пласта, м; ξ_{κ} - дополнительное сопротивление, учитывающее несовершенство колодца по степени вскрытия пласта.

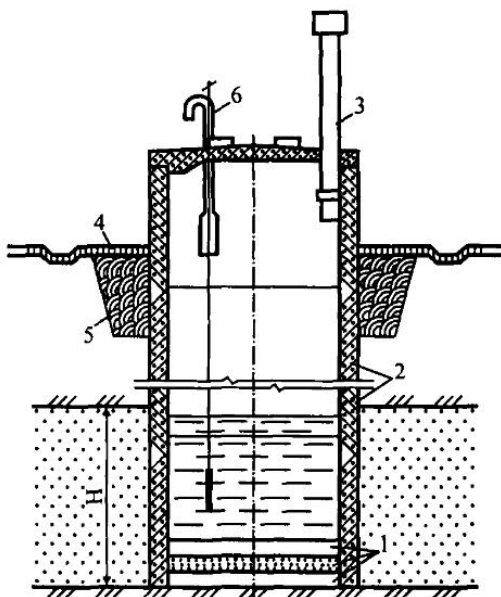


Рис. 8.25. Конструкция шахтного колодца: 1 - обратный гравийный фильтр; 2 - железобетонные кольца; 3 - вентиляционный стояк; 4 - отмостка; 5 - глинистый замок; 6 - ручной поршневой водоподъемник

Радиус влияния при установившемся движении подземных вод определяется по формуле (8.13).

При неустановившемся движении подземных вод в условиях недостаточного водопитания пласта гидростатическое давление в нем уменьшается, в результате чего радиус влияния увеличивается, а удельный дебит уменьшается. В этом случае радиус влияния можно определить по формуле:

$$R = 1,5 \sqrt{a \cdot t} \text{ , м,} \quad (8.42)$$

где t – срок эксплуатации колодца, сут., a – коэффициент пьезопроводимости, м²/сут, характеризующий скорость перераспределения подземных вод при откачке.

$$a = \frac{K_{\phi} \cdot H}{\mu_n} \text{ , м}^2/\text{сут,} \quad (8.43)$$

где μ_n – показатель упругой водоотдачи напорного пласта, равный $(2-5) \cdot 10^{-6}$ для скальных трещиноватых пород и $20^{-6}-10^{-4}$ – для песков и рыхлых песчаников.

Значение ξ_k характеризует несовершенство колодца, в который вода поступает через дно. Эти значения определяются по табл. 8.17.

Если прием воды осуществляется через дно и стенки, значение ξ_k определяется по графику (рис. 8.24).

При $R/H < 10$ дебит шахтного колодца, забирающего воду только через дно, определяют по формуле Форхгеймера:

$$Q = 4 \cdot K_{\phi} \cdot r \cdot S, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (8.44)$$

Общую величину водоприемной площади шахтного колодца устанавливают расчетом в зависимости от расхода и допускаемой скорости фильтрации. При этом расчетную высоту водоприемной части колодца вычисляют по формуле:

Таблица 8.17

Значение функции ξ_k

$\pi \cdot r_0 / m$	Значения ξ_k при $\pi \cdot \ell / m$		
	0,134	0,942	1,57
0,314	8,586	7,204	7,009
0,942	2,597	1,65	1,48
1,57	1,337	0,755	0,62
3,14	0,447	0,231	0,165
9,42	0,054	0,027	0,018
15,7	0,02	0,01	0,007

$$l = l_0 - S/2, \text{ м,} \quad (8.45)$$

где $l_0 = H - T$ – реальная высота водоприемной части, м; T – расстояние от дна колодца до подстилающего водоупора, м.

Если водопр прием осуществляется только через дно, то диаметр водопр приемной части определяют по формуле:

$$D_{к.д.} = 1,13 \sqrt{4 K_{\phi} r_k S / v_o}, \text{ м}, \quad (8.46)$$

где $4K_{\phi}r_kS$ – приток воды через плоское дно колодца с диаметром r_k при понижении уровня воды S при откачке; $v_o = 0,6K_{\phi} (1-\rho)(\gamma_{zp} - 1)$ – выходная скорость фильтрации по Н.А. Карамбирову при горизонтальной поверхности песка с плотностью γ_n и коэффициентом фильтрации K_{ϕ} ; ρ – скважность водопр приемной поверхности.

При приеме воды из водоносного пласта только боковой поверхностью внешний диаметр колодца определяют по формуле:

$$D_{к.б.} = \frac{Q_{max}}{\pi (H_{max} - S) P v_o}, \text{ м}, \quad (8.47)$$

где Q_{max} – максимальный дебит колодца при максимальном уровне воды в нем H_{max} , понижении уровня при откачке S и скважности водопр приемной поверхности P .

Скорость притока вод через боковую поверхность может быть определена по эмпирической формуле С.К. Абрамова (8.18).

Толщину стенок колодца определяют по эмпирической зависимости, предложенной А.А. Суриным:

$$\delta = a \cdot D + b, \text{ м}, \quad (8.48)$$

где a – коэффициент, величина которого зависит от материала стенок колодца (для кирпича $a = 1$, для бетона – 8, для железобетона – 4); D – внутренний диаметр колодца, м; b – постоянная величина, равная 0,18 м для каменных колодцев, 0,1 м – для бетонных и кирпичных и 0,5-0,1 м – для железобетонных.

Производительность одного колодца не всегда достаточна для удовлетворения потребности в воде. Поэтому вместо одного колодца устраивают несколько, образующих одну целостную группу.

Общая схема группового колодца представлена на рис. 8.27.

Расчет группы колодцев заключается в определении их числа, производительности и расстояния между ними.

Взаимодействие двух или нескольких колодцев в грунтовом потоке определяется положением зон питания и влияния. Возможны три основные схемы размещения колодцев.

Первая схема (рис. 8.28). Колодцы находятся друг от друга на расстоянии, равном или большем двух радиусов влияния ($2R$). Дебит каждого колодца не зависит от дебита и глубины откачки других колодцев и может быть определен по формулам дебита одиночного колодца.

Вторая схема (рис. 8.29). Колодцы находятся друг от друга на расстоянии двух радиусов питания ($2R_{nut}$). Если глубина откачки будет принята такой же, как и в первой схеме размещения, то дебит каждого колодца значительно не изменится. Поэтому и в этом случае возможно без большой погрешности вести расчеты по формулам одиночного колодца.

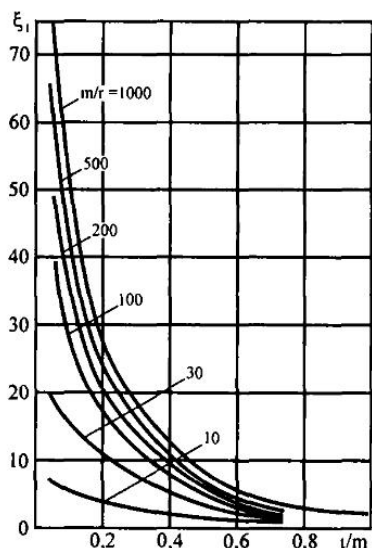


Рис. 8.26. График функции ξ_1 для расчета несовершенных водозаборных скважин с фильтрами, примыкающими к кровле или подошве пласта

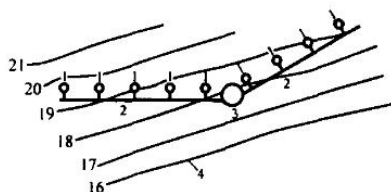


Рис. 8.27. Общая схема группового колодца: 1 – водозаборные колодцы; 2 – сборный водовод; 3 – сборный колодец; 4 – гидронизогипсы

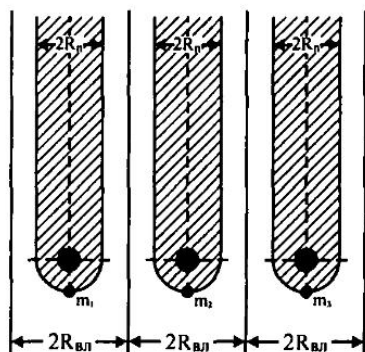


Рис. 8.28. Размещение колодцев на расстоянии $2R$ влияния

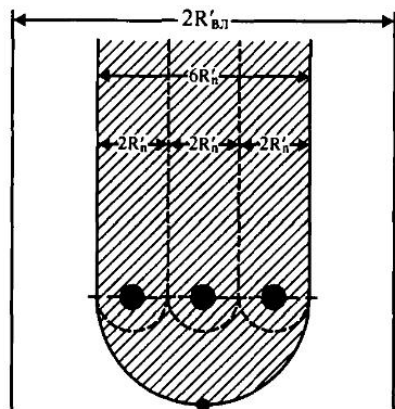


Рис. 8.29. Размещение колодцев на расстоянии $2R$ питания

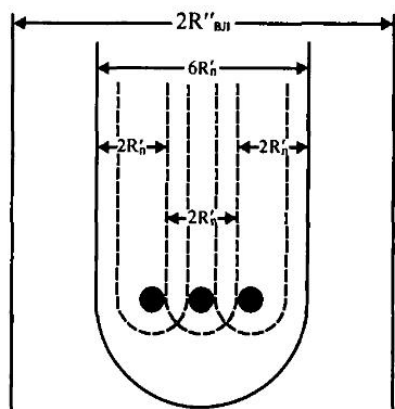


Рис. 8.30. Размещение колодцев на расстоянии менее $2R$ питания

Третья схема (рис. 8.30). Расстояние между колодцами – менее $2R$ питания. Зоны питания, соответствующие дебитам колодцев, определенным для первого и второго случаев размещения колодцев, перекрывают в плане друг друга.

Если сохранить в колодцах приблизительно такую же глубину понижения уровня воды при откачке, какая была принята в первом и втором случаях размещения колодцев, то суммарный дебит всех колодцев уменьшится.

Как бы не размещались колодцы, они должны добыть из водоносного пласта требуемый Q м³/сут., а для этого необходимо перехватить грунтовый поток на полосе шириной:

$$L = \frac{Q}{H \cdot K_{\Phi} \cdot i}, \text{ м,} \quad (8.49)$$

где i – гидравлический уклон.

Расчет группового водозабора из шахтных колодцев с сифонным сборным водоводом выполняется в следующем порядке:

1. Задаются расстояния между колодцами. При этом учитывают опыт аналогичных установок в водоносных пластах, близких по своим показателям к данному. Для предварительного подсчета рекомендуется принимать примерные расстояния между колодцами по табл. 8.18.

Таблица 8.18

Расстояния между колодцами, м

Грунт водоносного пласта	Мощность водоносного пласта, м		
	6	10-15	Более 15
Суглинки	50-60	40-50	30-40
Чистые пески средне- и крупнозернистые	40-50	40-30	20-30
Галечники	40-20	30-15	10-20

2. Задаются числом колодцев.

Если мощность водоносного пласта достаточно велика и если возможно и выгодно в данных местных условиях значительно понижать уровень воды в колодцах, т.е. работать при больших глубинах откачки, то для ориентировочного подсчета можно принимать число колодцев равным:

$$n_1 \approx Q/q, \quad (8.50)$$

где q – дебит одиночного колодца.

Число запасных колодцев назначается после окончания расчета и уточнения числа рабочих колодцев.

3. Проверяется величина слоя воды H_{cl} у колодца, находящегося в центре группы колодцев, уравнением

$$H_{cl} = \sqrt{H^2 - \frac{Q \left[\lg R - \frac{1}{n} \cdot (x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots \cdot x_n) \right]}{1,36 \cdot K_{\Phi}}}, \quad (8.51)$$

где H – мощность водоносного пласта, м; Q – необходимый дебит всей группы колодцев, м³/сек; n – число колодцев; R – радиус влияния всей установки, т.е. расстояние от ее центра до границы понижения, м; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – расстояния от центров колодцев 1, 2, 3... n до точки, в которой определяется H_{cl} .

Величина H_{cl} центрального колодца должна быть не менее $0,3H$.

Аналогично центральному колодцу определяется величина слоя воды у каждого колодца группового водозабора.

Проверяют захватную способность каждого колодца притока воды к нему по неравенству:

$$\varepsilon = 2\pi \cdot r \cdot h_i \cdot K_{\phi} \cdot I_{np} \geq Q/n, \quad \text{м}^3/\text{сут}, \quad (8.52)$$

где $h_i = H_{cl} - b$; b – не снабженная водоприемными отверстиями часть колодца, измеряемая по высоте, м; r – радиус колодца, м; H_{cl} – слой воды у данного колодца, м; I_{np} – предельный уклон.

Проверочные расчеты продолжают до получения желаемых результатов.

После окончательного установления дебитов и величин слоев воды у внешнего периметра отдельных колодцев приступают к проектированию конструкции водоприемной части колодца, стволов и оголовков.

Водоприемная поверхность колодца в зависимости от глубины и других гидрогеологических условий залегания грунтовых вод может оборудоваться в стенах, на дне колодца или одновременно и там, и там. При поступлении воды в колодец через дно его оборудуют обратным гравийно-песчаным фильтром с несколькими слоями фильтрующего материала или пористой железобетонной плитой. При поступлении воды через стены колодца в них устраивают специальные окна, заполняемые гравием, пористыми фильтрующими блоками, гидрозатворными фильтрующими элементами (рис. 8.31).

Фильтры шахтных колодцев, как и фильтры водозаборных скважин, должны соответствовать следующим характеристикам:

- обеспечение подачи воды потребителю без песка или других механических примесей;
- незначительное сопротивление;
- механическая прочность фильтрующих элементов;
- стойкость против коррозии;
- индустриальность и экономичность изготовления.

Эти факторы в существенной мере зависят от способа изготовления перфорации каркаса. Западногерманской фирмой НОЛЬД и Ко для забора воды из мелкозернистых песчаных водоносных горизонтов разработаны фильтры с диаметром до 1,5 м с рильсановым покрытием и гравийно-клеевой обсыпкой. При заборе воды из мелкозернистых и илистых песков рационально использовать водоприемные фильтры с пенополистирольной обсыпкой, разработанные на кафедре водоснабжения Украинского института инженеров водного хозяйства, и фильтры из пористого бетона ФПБ-НИ-МИ, разработанные в Новочеркасском инженерно-мелиоративном институте. Входной канал пенополистирольных фильтров устраивают во время изготовления опорных бетонных колец для закрепления ствола шахты. Для засыпки использу-

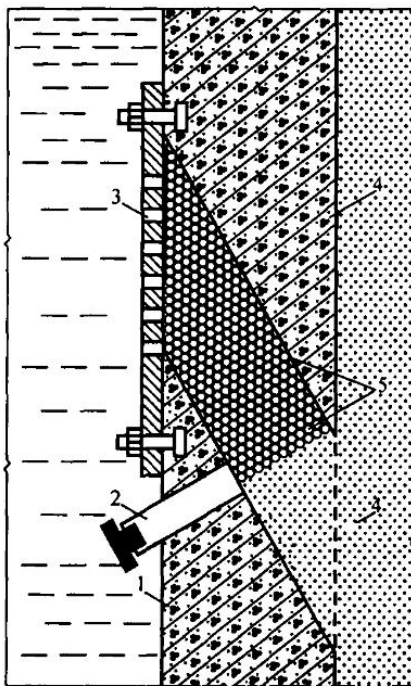


Рис. 8.31. Фильтры шахтных колодцев с пенополистирольной обсыпкой: 1 – стенка колодца; 2 – патрубок для закачки и выпуска пенополистирольной обсыпки; 3 – водоприемные окна; 4 – водоносная порода; 5 – пенополистирольная обсыпка

ют полувспененные гранулы полистирола плотностью 0,2-0,8 т/м³ и диаметром, превышающим 50%-ный диаметр частиц водоносной породы в 8-15 раз. С внешней стороны колодца входной канал перекрывают перфорированным пластмассовым листом со щелями шириной, равной 0,8 диаметра гранул.

При мощности водоносного пласта менее 1,5 м водоприемную часть колодца углубляют с целью увеличения запаса воды в нем. Для увеличения дебита колодца при поступлении воды в него через дно из безнапорных пластов сотрудниками ЮжНИИГиМа было предложено нижнюю часть колодца оборудовать специальным металлическим козырьком, позволяющим увеличить водоприемную поверхность дна почти в 2,5...3,0 раза.

Типовые проекты шахтных колодцев из сборных железобетонных колец с внутренним диаметром до 1,0 м и толщиной стенки 0,08 м предназначены для забора воды на глубине до 30 м.

При сооружении неглубоких колодцев для облегчения трудоемких земляных работ используют экскаваторы и грейферы. Когда проходка колодцев осуществляется в песчаных, супесчаных и глинистых грунтах при наличии на месте сооружения в достаточном количестве подземной воды, для механизации сооружения колодцев иногда используют эрлифты и эжекторы. Перспективным является метод сооружения шахтных колодцев роторным способом бурения с обратной промывкой забоя с помощью буровых установок УРБ-3АМ. Таким образом, бурение с помощью эрлифта позволяет сооружать колодцы диаметром 500-1200 мм.

Наиболее распространенными средствами при механизации сооружений шахтных железобетонных колодцев в настоящее время являются копатели КШК-30А и КШК-40, запроектированные и испытанные ГСКБ Главзсредводстроя. В КШК-40 исключаются ручные работы по разгрузке грунта из рабочего органа, подтаскиванию железобетонных колец к обсадке ими ствола шахты, техническая характеристика которой приведена и табл. 8.19.

Таблица 8.19

Техническая характеристика КШК-40

№ п/п	Наименование параметров	Единица измерения	Значения параметров
1.	Диаметр выработки	м	0,75-1,3
2.	Максимальная глубина колодца	м	40
3.	Средняя производительность (скорость проходки)	м/ч	1,6-1,8
4.	Мощность двигателя	кВт	29,4
5.	Грузоподъемность лебедок	т	2,0-3,0
6.	Масса агрегата	т	13,42
7.	Габаритные размеры	м	12×7,74×1,0

Самоходный копатель КШК-40 смонтирован на прицепе ММЗ-768 и транспортируется к месту эксплуатации тракторами К-700 или Т-150. По сравнению с КШК-30А при работе на нем трудозатраты снижаются в 3 раза, а производительность возрастает в 2,5 раза.

При сдаче колодцев и эксплуатацию составляют акт и заполняют паспорт, где указывают дебит, глубину залегания воды и колодца, геологический разрез, динамические

уровни при откачках с разной производительностью. В процессе эксплуатации колодцев проводят их профилактические осмотры и текущие ремонты. Наиболее ответственными операциями при ремонтах являются чистка колодцев, ликвидация обвалов и боковых трещин в стенках шахты, ремонт боковых или донного фильтров. Очистку колодцев от наносов (при некачественной работе фильтров или внезапных обвалах) производят с помощью эрлифтов, а при небольших глубинах - вручную, с помощью простейших подъемных механизмов.

Модернизированная установка ОШК-30А позволяет производить очистку шахтных колодцев глубиной до 40 м (табл. 8.20).

К достоинствам очистителя относятся простота и удобство обслуживания, надежность, возможность откачки воды с повышенным содержанием примесей. Он смонтирован на шасси автомобиля ЗИЛ-131А с источником электроэнергии - синхронным генератором ЕСС-5-62-4М101, приводимым в действие от двигателя автомобиля.

Сотрудниками Казгипроводхоза разработана методика восстановления шахтных колодцев путем разбуривания части заплывшего ствола установкой ударно-канатного бурения и монтажа в разбуренной части гравийного фильтра с каркасом из перфорированных труб большого диаметра.

Предотвращению аварий и долговечной эксплуатации колодцев способствует правильный подбор водоподъемного оборудования. При выборе типа водоподъемника определяющее значение имеет глубина залегания динамического уровня воды от поверхности земли и водоотдача водоносного пласта, определяющая удельный дебит. В качестве водоподъемников используют эрлифты, поршневые, вихревые и центробежные насосы, простейшие монтажные водоподъемники. При водоснабжении пастбищ и отдельно расположенных, удаленных от населенных пунктов, ферм или временных строительных площадок, там, где возможно, стремятся использовать природные, экологически чистые источники энергии (в первую очередь, энергию ветра и солнца), а также механические приводы. В комплекте с такими источниками энергии для водоподъема используют спирально-цепные, ленточные, шнуровые, ветровые водоподъемники.

Таблица 8.20

Техническая характеристика очистителя шахтных колодцев ОШК-30А

№ п/п	Показатели	Единица измерения	Величина
1.	Производительность при удалении донных наносов	пог. м/ч	0,3-0,36
2.	То же, что при откачке воды	м ³ /ч	3-4
3.	Глубина очищаемых колодцев	м	40
4.	Скорость опускания и подъема рабочих органов:		
	- ускорения	м/с	0,28
	- замедления	м/с	0,04
5.	Механизм, заглубляющий вибробадью в наносы		электрохимический вибратор ИВ-24
6.	Габаритные размеры	м	7,4×2,47×3,4
7.	Масса	т	9,2
8.	Обслуживающий персонал	чел.	2

При централизованном водоснабжении сельских населенных пунктов приводами водоподъемных устройств обычно служат электродвигатели и двигатели внутреннего

сгорания. Применение электронасосов позволяет подавать воду как в резервуары-накопители, так и непосредственно в водонапорную башню, пневмоустановку или в водопроводную сеть. На рис. 8.32 представлены наиболее типичные схемы водоподъема из шахтных колодцев различными водоподъемниками, а в табл. 8.21 - основные характеристики водоподъемников.

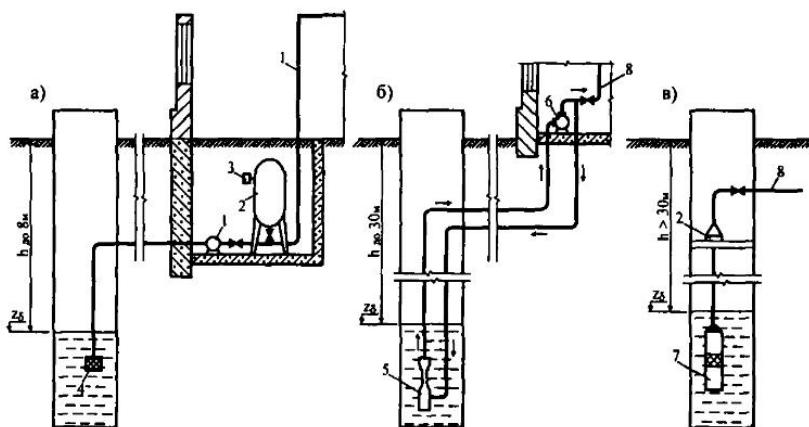


Рис. 8.32. Схемы водоподъема из шахтных колодцев:

а) центробежным насосом; б) эрлифтом; в) погружным насосом: 1, 6 – центробежный насос; 2 – пневмобак; 3 – реле давления; 4 – приемный клапан; 5 – эрлифт; 7 – погружной электронасос; 8 – нагнетательные водоводы

Таблица 8.21

Основные характеристики водоподъемных установок для забора воды из шахтных колодцев

№	Тип водоподъемника	Марка	Производительность, м ³ /ч	Полный напор, м	Мощность, кВт	Высота всасывания, м	Вес, кг
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Центробежные консольные насосы	1/2К-6,	6-14	14-20	1,7	6	26,8
		2К-6,	10-30	34-24	1,7	7-6,3	26,8
		3К-6а	20-65	45-30	14	7,5-5,3	26,8
2.	Маломощные центробежные бытовые насосы с вертикальным валом	Кама-3,	1,5	20	0,35	4-6	7
		БЦН-3/7, «Родничок»	3,0	17	0,5-1,0	4-6	11,05
3.	Вихревые насосы	1В-0,9 М	1-35	9-88	1,5-22		
		3В-2,7					
		ВК-1/16	1,1-3,6	39-14	1,5		
		ВКС-2/26	2,7-8	59-24	4		
		ВКС-5/24	8,5-18,4	67-20	10		
		ВКС-10/45	18-40	93-29	17		
4.	Погружные центробежные насосы	ЭЦВ5-4-125	4	129	4,5		
		ЭЦВ6-10-50	10	49	4,5		
5.	Эрлифты		2-30	10-50			
6.	Ручник поршневые насосы	РН-1, РН-2,	0,72	30		7-6	16
		РН-4	2,1	30		7-6	36
		БКФ	2,3-3,9	30		6-7	27

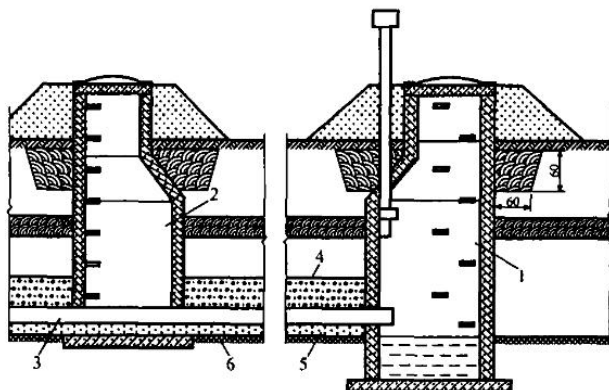
Как и в случае со скважинами, при недостаточном дебите одного шахтного колодца и проектировании централизованной системы водоснабжения в районе залегания грунтовых вод предусматривают сооружение группы шахтных колодцев с общим водопроводом, по которому вода поступает в водонапорную башню или резервуар.

8.8. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВОДОЗАБОРОВ

Горизонтальные водозаборные сооружения (рис. 8.33) рационально устраивать в тех случаях, когда необходимо забирать воду из маломощных по высоте, но широких подземных водоносных горизонтов, залегающих на глубинах 5-7 м от поверхности земли. По конструкции они делятся на траншейные, трубчатые и галерейные.

Рис. 8.33. Конструкция горизонтального водозабора трубчатого типа:

1 – сборный водоприемный колодец; 2 – смотровой колодец; 3 – водосборный трубопровод; 4 – дренажная гравийная обсыпка; 5 – щебеночное основание; 6 – водопор



В сельскохозяйственном водоснабжении наиболее рациональными и экономичными при определенных условиях залегания подземных водоносных пород являются трубчатые водозборы с одно- или двусторонним притоком воды. Такие водозборы состоят из дырчатых керамических, асбестоцементных, бетонных или железобетонных труб диаметром 150-200 мм, фильтрующая поверхность которых обсыпана несколькими слоями гравия и песка. На расстоянии 50 м друг от друга устраивают смотровые колодцы. Все фильтрующие трубы соединены с общим водоприемным колодцем. Траншеи для сборных фильтрующих труб и фильтрующей обсыпки обычно разрабатывают драглайном. Размещают горизонтальные водозборы перпендикулярно движению грунтового потока.

Водосборные галереи применяют при глубинах залегания грунтовых вод 6-8 м. Сооружают их открытым способом с круглым, прямоугольным или овалональным сечением. Галереи оборудуют сборными железобетонными элементами и дополнительным гравийно-песчаным фильтром (когда водоносные породы состоят из песков или мелко-го гравия).

При сооружении горизонтальных водозаборов необходимо предусматривать защиту от проникновения в водоприемные трубы или галереи загрязненных поверхностных вод и частиц грунта. Обычно стараются размещать основание водоприемной части на водоупоре, подстилающем эксплуатируемый водоносный пласт.

Общий дебит горизонтального водозабора, заложенного на водоупоре, может быть ориентировочно определен по формуле

$$Q_{з.в.} = (0,6 - 1,5) l \cdot H \cdot i \cdot K_{\phi}, \quad (8.53)$$

где l – длина водозаборных труб (галерей), м; H – мощность водоносного пласта, м; i – уклон зеркала грунтового потока; K_{ϕ} – коэффициент фильтрации грунта, м/сут.

Расчет горизонтального водозабора заключается в определении необходимой длины дырчатой трубы, траншеи или галереи, их размеров и дебита водозабора. Возможны четыре расчетных схемы горизонтального водозабора (рис. 8.34).

По первой схеме (рис. 8.34, а) совершенный горизонтальный водозабор расположен параллельно речному потоку при одностороннем притоке воды, основным расчетным уравнением является уравнение Дюпюи в виде:

$$Q_{г.в.} = L K_{\phi} \frac{H^2 - h^2}{2 R}, \quad \text{м}^3/\text{сут}, \quad (8.54)$$

где h – высота слоя воды в водозаборной трубе; R – радиус влияния водозабора или расстояние от центра трубы до уреза воды в реке (R_1).

В случае двустороннего притока воды к совершенному горизонтальному водозабору (рис. 8.28, б) общий дебит водозабора равен:

$$Q_{г.в.} = L K_{\phi} \left(\frac{H_1^2 - h^2}{2 R_1} + \frac{H_2^2 - h^2}{2 R} \right), \quad \text{м}^3/\text{сут}, \quad (8.55)$$

где H_1 – высота слоя воды над дренажной в реке, м; H_2 – мощность водоносного пласта подземного потока к реке, м.

При двустороннем притоке воды к несовершенному горизонтальному водозабору (рис. 8.34, в) общий дебит равен притоку воды со стороны реки Q_p , со стороны подземного потока Q_n и фильтрационного расхода через дно водозаборной трубы, который может быть разделен на две части – фильтрационный расход со стороны реки $Q_{м.р.}$ и со стороны подземного потока $Q_{м.н.}$:

$$Q_{з.в.} = Q_p + Q_n + Q_{м.р.} + Q_{м.н.}, \quad \text{м}^3/\text{сут}, \quad (8.56)$$

Величины Q_p и Q_n могут быть определены по формуле (8.53). Величины $Q_{м.р.}$ и $Q_{м.н.}$ определяются по уравнениям напорного движения:

$$Q_{м.р.} = L \cdot K_{\phi} (H_1 - h) q_1, \quad \text{м}^3/\text{сут}, \quad (8.57)$$

$$Q_{м.н.} = L \cdot K_{\phi} (H_2 - h) q_2, \quad \text{м}^3/\text{сут}, \quad (8.58)$$

где q_1 и q_2 – приведенные расходы соответственно со стороны реки и со стороны берега.

Величины q_1 и q_2 определяются по графикам Р.Р. Чугаева (рис. 8.33).

Значения α определяются из формул:

- для речной стороны:

$$\alpha_p = \frac{R_1}{R_1 + D/2}, \quad (8.59)$$

- для пойменной стороны:

$$\alpha_n = \frac{R}{R + D/2}, \quad (8.60)$$

где D – диаметр водозаборной трубы или ширина галереи, м.

Значения β определяют из формул:

$$\beta_p = \frac{R_1}{T}, \quad (8.61)$$

$$\beta_n = \frac{R}{T}, \quad (8.62)$$

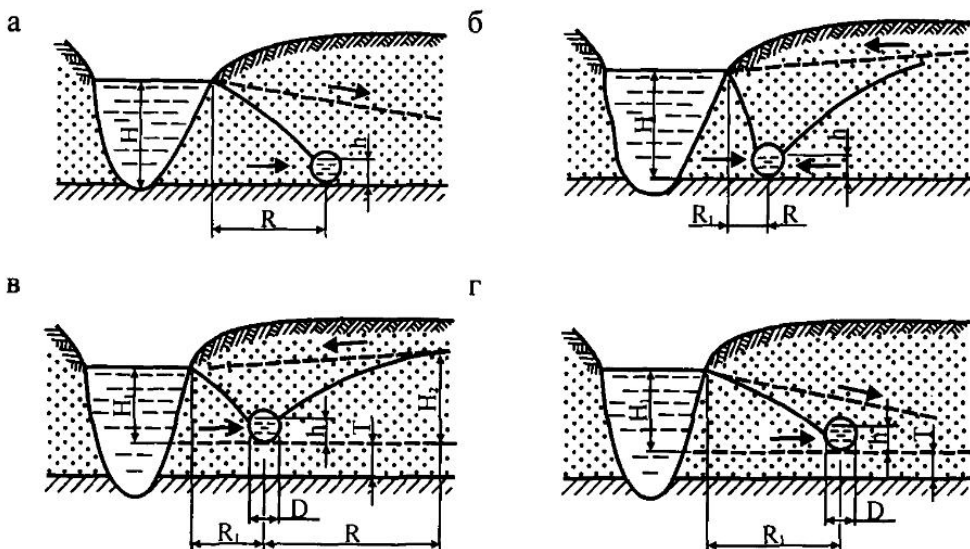


Рис. 8.34. Расчетные схемы притока воды к горизонтальным водосборам:

а – односторонний приток воды к совершенному горизонтальному водосбору; *б* – двусторонний приток воды к совершенному горизонтальному водосбору; *в* – двусторонний приток воды к несовершенному горизонтальному водосбору; *г* – односторонний приток воды к несовершенному горизонтальному водосбору

При одностороннем притоке воды к несовершенному горизонтальному колодезю (рис. 8.34, *г*) общий дебит водозабора определяется как частный случай расчета двустороннего притока по тем же зависимостям с учетом конкретных условий движения подрусловых или подземных вод к водозабору.

Количество водоприемных отверстий и сопротивление гравийной обсыпки должны быть рассчитаны таким образом, чтобы не происходило в процессе эксплуатации подпора грунтовых вод в пласте, так как это может повлечь за собой изменения направления движения части потока, что приведет к уменьшению водозахватной способности водозабора в целом. Обычно диаметр отверстий в трубах принимают равным 0,5-1,0 см.

Дренажные трубы должны быть смонтированы таким образом, чтобы была возможность их прочистить из смотровых колодцев.



Рис. 8.35. Графики определения величин приведенных расходов q_1 (а) и q_2 (б)

Их суммарную площадь определяют по известной формуле:

$$\sum \omega_o = \frac{q_{max}}{\mu \sqrt{2gh}} \quad , \quad \text{м}^2 \quad (8.63)$$

где q_{max} – максимальный приток воды на 1 п.м водоприемной части, м³/сут.; h – средний напор над водоприемными отверстиями, м.

С целью предупреждения выноса из водоносного пласта частиц грунта выходная скорость фильтрации (фактическая) не должна превышать естественной водоотдачи водоносного пласта:

$$\frac{q_{max}}{\sum \omega_o} \leq 65 \sqrt[3]{K_\phi} \quad , \quad (8.64)$$

Скорость движения воды в водосборных трубах назначают в пределах 0,5-0,8 м/с, исходя из необходимости предотвращения заиливания труб и вымывания грунта вокруг них вследствие неплотностей и нарушения структуры гравийной обсыпки.

8.9. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛУЧЕВЫХ ВОДОЗАБОРОВ

Лучевые водозаборы представляют собой сооружения, состоящие из шахтных колодцев, системы горизонтальных скважин, выходящих из него радиально в виде лучей, и наземного павильона (рис. 8.36).

Вода из маломощных водоносных пластов поступает через горизонтальные или наклонные скважины в шахту, а оттуда насосами подается водопотребителям.

В зависимости от условий питания и размещения на местности различают подрусовые, береговые и водораздельные лучевые водозаборы, применяемые для получения воды из маломощных пластов с высотой до 10 м, залегающих на глубинах 15-20 м от поверхности земли. В процессе их сооружения строят вертикальную шахту диаметром до 6-10 м, с помощью мощных домкратов производят внутри нее проходку горизонтальных скважин методом продавливания, осуществляют опытные откачки из каждого луча и водозабора в целом. По сравнению со скважинами и шахтными колодцами лучевые водозаборы имеют следующие преимущества.

Захват и подъем воды осуществляется в одном месте. Все оборудование, контрольно-измерительная арматура и станции управления насосами располагаются в одном сооружении.

Возможность получения существенных дебитов достигается за счет большого числа горизонтальных скважин, длина которых зависит от мощности водоносного пласта.

Увеличение поверхности фильтрации приводит к снижению скорости поступления воды в горизонтальные скважины, а это, в свою очередь, снижает потери напора и исключает возможность заливания шахты колодца мелкозернистым песком.

С помощью лучевых водозаборов можно получить очищенную грунтом воду, профильтровавшуюся через дно и берега поверхностных водоемов (рек, озер, искусственных водоемов).

Основными недостатками лучевых водозаборов являются: значительная трудоемкость сооружения шахт и горизонтальных скважин и возможные временные перерывы в подаче воды при авариях, так как одно сооружение выполняет функции водозабора, резервуара чистой воды и насосной станции.

Снижения стоимости строительства лучевых водозаборов можно достичь путем уменьшения диаметра шахт до 1,5-2,0 м. За рубежом они получили название малых лучевых водозаборов системы Г. Фалли (Австрия) и Г. Фельмана (Швейцария) (табл. 8.22).

Шахты таких водозаборов представляют собой железобетонные колодцы, в нижней части которых закреплены стальные ножи. Вынимают грунт из шахты грейдером или экскаватором. При глубинах более 10-20 м применяют телескопическую конструкцию шахты. Когда есть возможность одновременно забирать воду из нижерасположенного водоносного горизонта, дополнительно из дна колодца пробуривают вертикальную скважину. Участок шахты, по периметру которого располагают патрубки для вдавливания горизонтальных скважин, укрепляют на высоте 2-3 м дополнительной арматурой. Сооружение горизонтальных лучей осуществляется путем вдавливания специальными

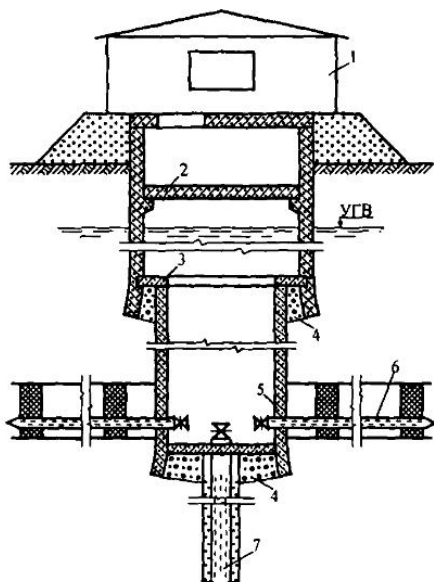


Рис. 8.36. Конструкция лучевого водозабора: 1 – наземный павильон управления; 2 – перекрытие; 3 – железобетонная плита; 4 – бетонное днище; 5 – задвижка; 6 – скважина горизонтального бурения; 7 – вертикальная скважина, оборудованная обсыпным фильтром

домкратами значительной мощности толстостенной фильтровой трубы, которая заканчивается башмаком и стальным ножом. С фильтровой трубой с помощью специальных манжетов соединена шламовая труба, через которую в шахту в процессе бурения поступает смесь воды, песка и гравия. Из шахты эта смесь откачивается на поверхность земли грязевым насосом. Длина лучей обычно достигает 8-25 м. В режиме эксплуатации шахта после пробно-эксплуатационных откачек и дезинфекции служит резервуаром чистой воды. Там же располагают центробежные горизонтальные или вертикальные насосы. Водоподъем осуществляется по таким же схемам, как при заборе воды насосами из шахтных колодцев и скважин. В условиях безнапорных водоносных пластов при отдельных контурах питания целесообразно применять шахтные колодцы, оснащенные короткими лучами, оборудованными сетчатыми или керамическими фильтрами. Длина таких лучей не превышает 2 м. Сооружают их из тонкостенных стальных труб с помощью рычажных приспособлений. Число таких фильтрующих лучей в шахте достигает 12...14.

Таблица 8.22

Основные характеристики малых лучевых водозаборов

Тип лучевых водозаборов	Диаметр шахты, м		Диаметр фильтровой трубы, мм		Скважность фильтровой трубы, %	Тип перфорации
	внутренний	внешний	внутренний	внешний		
Системы Г. Фалли	2,0	2,4	120	130	15-20	Щелевая насечно-вытяжная
Системы Г. Фельмана	1,5-1,6	2,0-2,1	142	148	25-32	

Применение водозаборов с короткими лучами позволяет использовать не только гравийные, но и средне- и мелкозернистые водоносные горизонты.

В зарубежной практике находят применение комбинированные скважинно-лучевые водозаборы. Суть таких сооружений состоит в том, что рядом с глубокой скважиной сооружают шахту меньшей глубины. При достижении динамического уровня воды в вышележащем горизонте (в шахте) сооружают горизонтальную фильтрующую галерею между шахтой и скважиной. Соединяют галерею со скважиной таким образом, чтобы обеспечить по возможности большее поступление воды в скважину. При наличии стойких пород оборудование галереи фильтрующими элементами необязательно. Сооружение галереи позволяет увеличить дебит скважины почти вдвое.

Расчет лучевых водозаборов заключается в определении размеров водосборного колодца-шахты (или скважины), а также количества, длины и диаметров водозаборных лучей.

Для приближенных расчетов обычно используют формулу Абвезера:

$$Q = \alpha \cdot E \cdot l \cdot S \cdot K_{\phi}, \text{ м}^3/\text{сут} \quad (8.66)$$

где α - коэффициент, учитывающий условия размещения луча в водоносном пласте (его принимают в пределах 1-1,25); E - коэффициент, учитывающий гранулометрический со-

став водоносной породы и ее пористость (принимают в пределах от 1 до 2,6); l – длина луча, м.

Для более достоверных расчетов в настоящее время используют методику и расчетные зависимости, предложенные Г.А. Разумовым. В соответствии с этой методикой расчетные формулы даются для трех типов лучевых водозаборов (рис. 8.37).

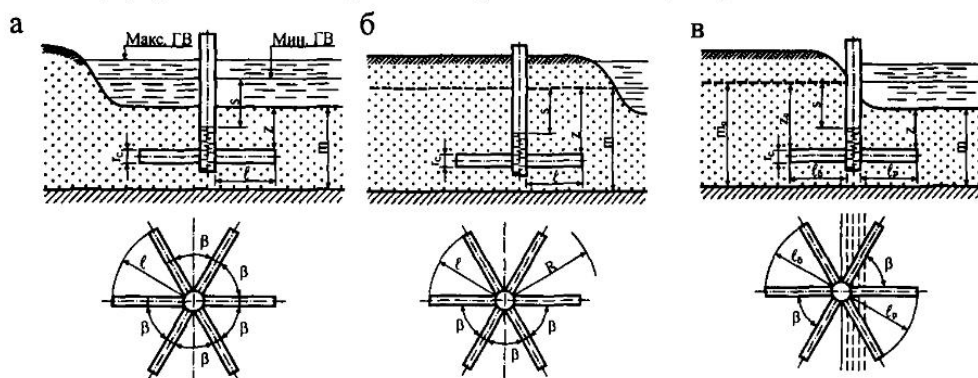


Рис. 8.37. Расчетные схемы лучевых водозаборов:

а – со скважинами-лучами под дном реки или водоема; б – со скважинами-лучами, расположенными на берегу реки или водоема; в – то же, расположенными частично под дном реки или водоема и частично на берегу

Производительность водозабора первого типа, у которого лучи-скважины расположены под дном водоема по углом β друг к другу, определяется по формуле:

$$Q = \frac{2\pi K_{\phi} l S}{\ln U_1 - \frac{i-1}{2} \ln U_{\beta}} \quad , \quad \text{м}^3/\text{сут}, \quad (8.67)$$

где i – количество лучей.

$$U_1 = \frac{3mzl}{r(m-z)(l + \sqrt{l^2 + 16m^2})} \quad , \quad (8.68)$$

$$U_{\beta} = 1 + \frac{16m^2}{l^2 \sin^2 \beta} \quad , \quad (8.69)$$

где r – радиус фильтра скважины; m – мощность водоносного пласта; z – глубина заложения луча-скважины относительно дна водоема; S – понижение уровня воды в вертикальной скважине.

Производительность водозабора второго типа, у которого лучи-скважины расположены на берегу водоема или на некотором удалении от него, определяется по формуле:

$$Q = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \pi \cdot K_{\phi} \cdot l \cdot S \cdot C}{F(U)}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (8.70)$$

$$F(U) = \ln \left(\frac{0,74 \cdot l}{r} \sqrt{\frac{2R-l}{2R+l}} + 2\mu \ln U \right), \quad (8.71)$$

где R – радиус влияния водозабора, принимаемый равным двойному расстоянию от водозборной скважины до уреза воды; C – коэффициент, учитывающий снижение дебита водозабора вследствие взаимного влияния его лучей (принимается в пределах 0,5-0,8); μ и β – коэффициенты, определяемые по графикам (рис. 8.38).

Производительность водозабора третьего типа, т.е. с лучами-скважинами, расположенными под водоемом по берегу, определяется по формуле (см. рис. 8.37):

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot K_{\phi} \cdot S \left[\frac{l_p \cdot i_p}{\ln U_1 + \frac{i_p - 1}{2} \cdot \ln U_{\beta}} + \frac{\gamma \cdot l_b \cdot i_b \cdot C}{F(U)} \right], \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (8.72)$$

где l_p и l_b – длины русловых и береговых лучей-скважин; i_p и i_b – число русловых и береговых лучей-скважин.

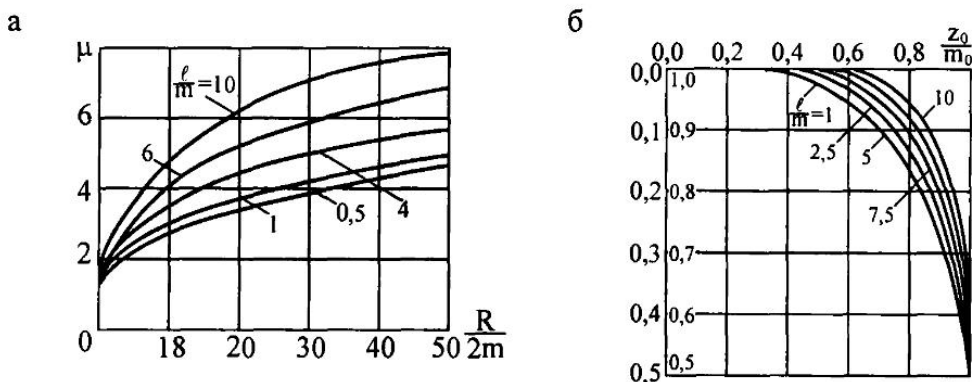


Рис. 8.38. Графики для определения коэффициентов μ (а) и β (б)

В соответствии с методикой, разработанной во ВНИИ ВОДГЕО, дебит лучевого водозабора определяют по формуле:

$$Q_{л.в.} = 1,6 \cdot \pi \cdot K_{\phi} \cdot H_n \cdot S \left(\frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_n} \right), \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (8.73)$$

где H_n – мощность безнапорного пласта; S – понижение уровня воды в сборном колодце при откачке; R_b и R_n – соответственно фильтрационное сопротивление береговых и подрусловых скважин, зависящее от гидрогеологических характеристик водоносного пласта и конструктивных особенностей горизонтальных или наклонных лучей. При конст-

рукции водозаборов, в которых имеются лишь береговые или подрусовые скважины, значение $1/R_n$ или $1/R_g$ принимают равным нулю.

8.10. Каптаж родниковых вод

Под каптажом родниковых вод понимают оборудование естественного места выхода подземных вод на поверхность земли с целью использования их для небольших объемов водоснабжения. При этом осуществляют две основные операции:

- расчищают место выхода родника и устраняют препятствия, которые мешают выходу воды на поверхность;
- оборудуют этот выход специальными колодцами или водоприемными камерами, предохраняющими родник от загрязнений с поверхности земли и из атмосферы.

Конструкция каптажных сооружений должна обеспечивать наиболее благоприятный гидравлический режим поступления воды из водоисточника в приемный колодец, сохранять родник от истощения, занления и подпора, быть простой и прочной, не ухудшать качества воды.

Различают каптажи восходящих и нисходящих родников. Образование первых обусловлено наличием в кровле напорного водоносного пласта трещин, по которым вода поднимается на поверхность земли. При этом нередко выход перекрывают 2-3-метровые слои наносных грунтов. Эти слои удаляют, расчищают место выхода воды и засыпают его отмытым гравием или щебнем с целью предотвращения загрязнения родника. После этого сооружают железобетонную камеру и оборудуют ее промывной и водоотводящей трубой, вентиляционным стояком (рис. 8.39).

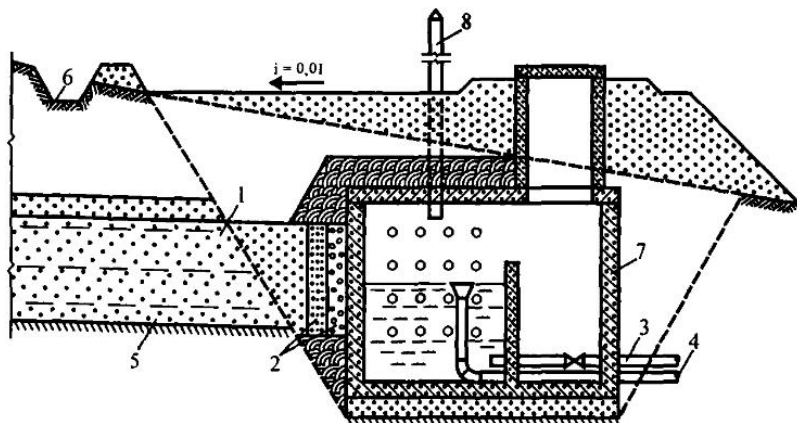


Рис. 8.39. Конструкция каптажной камеры нисходящего родника:

- 1 – водонасыщенный горизонт; 2 – обратный гравийно-песчаный фильтр; 3 – водозаборная труба; 4 – переливная труба; 5 – водопор; 6 – дренажная канава; 7 – железобетонная каптажная камера, 8 – вентстояк

Нисходящие родники образуются на склонах балок и долин в местах выклинивания на поверхность земли водонасыщенных горизонтов. В зависимости от условий выхода родников на поверхность земли их каптаж может осуществляться по следующим схемам:

1. Если родник представляет собой ручеек, вытекающий из трещин скальных грунтов, то каптажная камера пристраивается непосредственно к скале и оборудуется переливной, водозаборной и спускной трубами.

2. При образовании водоносным пластом на склонах гор или балок нескольких небольших родников, расположенных примерно на одинаковом уровне. Для них после расчистки мест выхода устраивают общую горизонтальную (в виде коллектора) каптажную камеру, укрепляя ее на случай возможных оползневых процессов, ливневых потоков, смыва верхних пластов земли и других нежелательных явлений. Камеру оборудуют, как и в первом случае, всеми необходимыми трубами и смотровыми люками-лазами.

3. Наконец, в случаях, когда водоносный пласт размещен под мощными делювиальными наносами, а отдельные небольшие родники размещены на различных по высоте уровнях, каптажные камеры галереи устраивают для наиболее мощных родников, соединяя их с общим резервуаром чистой воды. Могут применяться и комбинированные камеры, и галереи, принимающие воду от 2-3 родников одновременно.

Каптажные бетонные, железобетонные (реже бутовые) камеры с наружной стороны грунтуют праймером и покрывают битумом. Перед водоприемной поверхностью устраивают обратный песчано-гравийный фильтр, предотвращающий вынос водоносной породы в водоприемную камеру.

Вода из каптированных родников самотеком собирается в общий резервуар чистой воды, обеззараживается, если это необходимо, а оттуда насосами подается в сеть или водонапорную башню. Следует отметить, что для небольших объектов водопотребления при наличии стабильных родниковых водоисточников это самый дешевый, экологически чистый подземный водозабор, обеспечивающий в большинстве случаев воду с хорошими вкусовыми качествами.

Производительность источника обычно оценивают на основании наблюдений за его дебитом и сопоставления этого дебита с факторами, влияющими на его изменения. Особенно важно при анализе изменения дебита источников учитывать гидрогеологические условия выхода и изменение этих условий при каптаже.

Изменение величины питания водоносного горизонта небольшого распространения довольно быстро – через несколько дней, а иногда и через несколько часов – сказывается на расходе источников.

Важнейшими характеристиками дебита источника являются: норма расхода, минимальный и максимальный расходы, коэффициент неравномерности и модульный коэффициент для минимального расхода. Эти характеристики изменяются в зависимости от срока наблюдений. Минимальный расход вводится обычно при оценке полезной отдачи источника как расчетный. Однако следует учитывать, что максимальное потребление может совпасть с минимальным расходом источника.

По данным о дебите при различных понижениях строят кривую дебита или составляют уравнение дебита. При прямолинейной зависимости дебита Q от понижения S можно применять уравнение:

$$Q = q S, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (8.74)$$

8.11. РАСЧЕТ СБОРНЫХ СИФОННЫХ И НАПОРНЫХ ВОДОВОДОВ

Сборные водоводы предназначены для транспортирования воды от подземных водозаборных сооружений до сборных емкостей или непосредственно до внутриплощадочных сетей водоснабжения. По гидравлическому режиму работы сборные водоводы разделяют на сифонные, напорные, самотечно-напорные и самотечные.

Схемы сборных водоводов в плане бывают преимущественно тупиковыми или кольцевыми. Выбор схемы сборного водовода производится с учетом взаимного расположения водозаборов и сборной емкости, а также с учетом экономических соображений.

Сифонные сборные водоводы обычно применяются на водозаборах с уровнями подземных вод, залегающими на глубинах до 5-8 м. Движение воды от водозаборных сооружений до сборной емкости в сифонных сборных водоводах обеспечивается за счет разницы уровней, на которые воздействует атмосферное давление в начальной и конечной точках сифона. Схема продольного профиля сифонного сборного водовода приведена на рис. 8.40. Расчет сифонного сборного водовода сводится к определению по соответствующим расчетным таблицам и формулам потерь напора на входе, по длине, в фасонных частях и арматуре. Для уменьшения потерь напора принимают скорость движения воды в сифоне не более 0,5...0,7 м/с. По результатам расчета на продольном профиле водовода вычерчивают пьезометрическую линию и проверяют, не превосходит ли вакуум в наиболее высоких точках сифона допустимого, равного 7-8 м.

Величина вакуума в любом сечении сифона определяется по формуле (см. рис. 8.38):

$$h_{\text{вак}} = \Delta z + \frac{v_n^2}{2g} + \sum h_w, \text{ м} \quad (8.75)$$

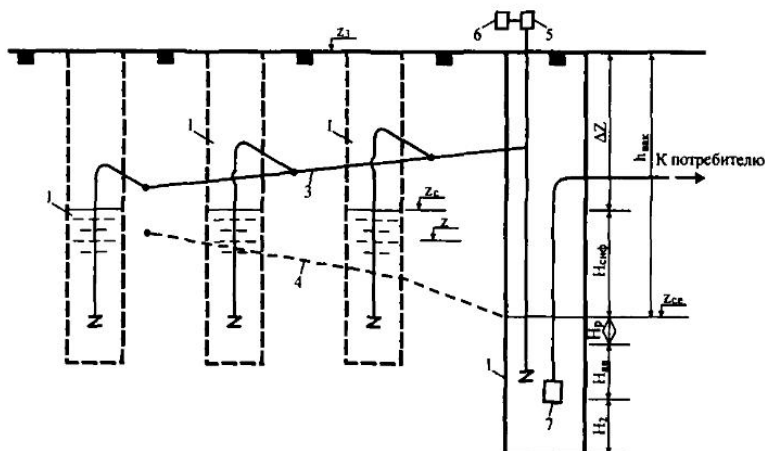
где Δz – высота расположения центра сечения над уровнем воды в сборной емкости или в наиболее удаленном водозаборе, м; v_n – скорость движения воды в сечении, м/с; g – ускорение силы тяжести, м/с²; $\sum h_w$ – сумма потерь напора по длине сифона и в местных сопротивлениях, м.

Разность уровней воды в сборной емкости и в наиболее удаленном водозаборе определяет действующий напор в сифоне:

$$H_{\text{сиф}} = \frac{v_n^2}{2g} + \sum h_w, \text{ м.} \quad (8.76)$$

Рис. 8.40. Схема продольного профиля сифонного сборного водовода:

- 1 – скважины;
- 2 – сборная емкость;
- 3 – сифонный сборный водовод;
- 4 – пьезометрическая линия;
- 5 – вакуумный котел;
- 6 – вакуум-насос;
- 7 – насос;
- 8 – напорный водовод



Отметка верхнего уровня воды в сборной емкости определяется как разность:

$$z_{c.e.} = z_3 - h_{\text{вак}}, \quad \text{м}, \quad (8.77)$$

где $h_{\text{вак}}$ – величина вакуума в месте расположения наиболее высокой точки сифона, м.

Сифонный сборный водовод прокладывается с уклоном в сторону сборной емкости, равным 0,001.

Для обеспечения устойчивой работы сифонного сборного водовода назначается минимально возможное понижение уровня воды в сборной емкости: $H_{\text{ав}} = 11,5$ м из условия, что расчетная продолжительность работы насоса при аварии в сифоне t должна быть не менее 10 минут. Если сборная емкость представляет собой в плане круглый колодец, то диаметр этого колодца определяется по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{60 q t}{0,785 H_{\text{ав}}}}, \quad \text{м}, \quad (8.78)$$

где q – максимальная подача насоса, м³/с.

Дно сборной емкости должно быть ниже приемного клапана насоса на расстоянии не менее H_2 0,5 м. Таким образом, глубина сборной емкости равна:

$$H_{c.e.} = (z_3 - z_{c.e.}) + H_p + H_{\text{ав}} + H_2, \quad \text{м}. \quad (8.79)$$

Для удаления воздуха из сифонного сборного водовода применяются различные устройства. Наиболее надежным является устройство в наиболее высокой точке сифонного сборного водовода вакуумного котла, к которому подключен вакуум-насос. Общее количество выделяющегося воздуха или других газов, которые необходимо удалить из водовода, рекомендуется принимать в пределах 0,3...0,4 л/с на каждые 1000 м³ воды. Из этих соображений, а также с учетом того, что продолжительность начальной зарядки сифонной системы не превышает 30 мин, подбирается производительность вакуум-насоса.

Напорные сборные водоводы обычно применяют при относительно глубоком залегании подземных вод, когда каждое водозаборное сооружение оборудуется насосом. Гидравлический расчет такого водозабора сводится к определению потерь напора по длине водовода с учетом местных сопротивлений и к построению линии пьезометрических напоров. После выполнения гидравлического расчета, учитывая, что в водозаборах могут быть установлены насосы разных марок, необходимо проанализировать насколько правильно подобраны марки насосов и смогут ли они обеспечить стабильную работу группового водозабора. Для этого выполняются поверочные комплексные расчеты. Основной задачей такого расчета является определение истинных значений расходов водозаборов, понижений в них уровней воды, а также расходов и потерь напора в сборных водоводах и параметров работы водоподъемного оборудования.

При отборе воды из скважины напор насоса H затрачивается на преодоление геометрической высоты подъема воды z_p , понижение уровня S и потерь напора в водоводе Δh от скважины до конечной точки подачи воды (рис. 8.41).

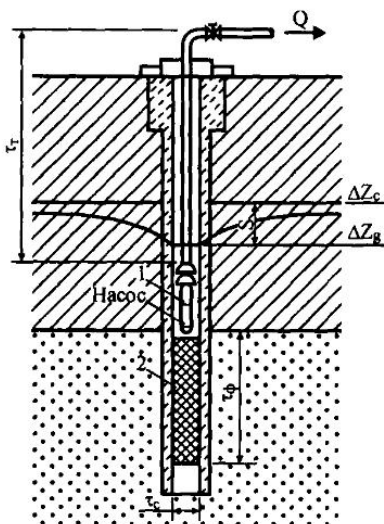


Рис. 8.41. Схема подачи воды от скважины: 1 – насос; 2 – фильтр

в соответствии с его рабочей характеристикой $Q - H$, которая в диапазоне оптимальных значений КПД аппроксимируется уравнением:

Насос, установленный в скважине, развивает напор, равный:

$$H = (\nabla P - \nabla_{c.z.}) + S + \Delta h_v, \text{ м}, \quad (8.80)$$

где ∇P – отметка уровня воды в резервуаре;

$\nabla_{c.z.}$ – отметка статического уровня подземных вод;

S – понижение уровня в скважине;

Δh_v – потери напора в водоводе от скважины до резервуара, включая потери напора в водоподъемных трубах.

Разность отметок $(\nabla P - \nabla_{c.z.})$ – это геометрическая высота подъема воды из скважины. Если эти отметки не изменяются, то $(\nabla P - \nabla_{c.z.}) = \text{const}$. При этом, насос развивает напор в соответствии с его рабочей характеристикой $Q - H$, которая в диапазоне оптимальных значений КПД аппроксимируется уравнением:

$$H = A - B \cdot Q^2, \text{ м}, \quad (8.81)$$

где A и B – параметры характеристики $Q - H$ насоса.

Применительно к одиночной скважине уравнение (8.74) может быть решено графически (рис. 8.42).

Для этого координаты $Q - H$ располагают таким образом, чтобы точка $H = 0$ находилась на отметке $\nabla_{c.z.}$. Тогда кривая 1 определит характеристику скважины $Q - S$.

Задаваясь гидравлическими сопротивлениями, строят характеристику водовода $Q - \Delta h_v$ (кривая 2). При сложении характеристик $Q - S$ и $Q - \Delta h_v$ получается совмещенная характеристика скважины, водовода и резервуара (кривая 3), представляющая собой график зависимости полной высоты подъема воды от производительности скважины. Пересечение характеристики насоса $Q - H_n$ с кривой 3 дает рабочую точку A насоса с координатами Q_p – действительная производительность насоса и H_p – напор, развиваемый насосом при подаче Q_p . Одновременно определяются также величины S_p в скважине и Δh_v – в водоводе.

При изменении какой-либо из составляющих происходит смещение рабочей точки насоса по характеристике $Q - H_n$ (например, при кольматации фильтра скважин). Время, T_s , в течение которого не происходит нарушения условия $Q_p \geq Q_m$ называется периодом устойчивой работы скважины.

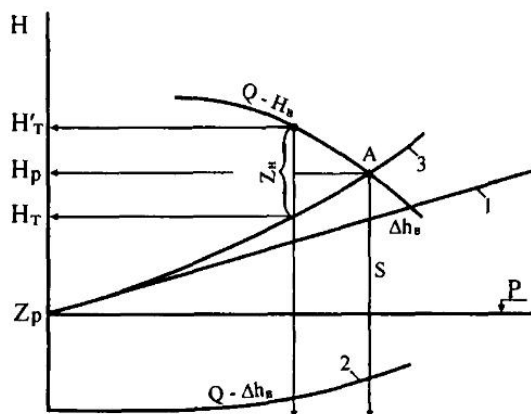


Рис. 8.42. Графоаналитический метод расчета системы «скважина-насос-водовод-резервуар»

Если ряд скважин работает на один сборный водовод (рис. 8.41), напор, требуемый для подачи воды в количестве Q_n из любой n -ой скважины на заданную отметку составляет:

$$H_n = z + S_n + \Delta H_n, \text{ м}, \quad (8.75)$$

где S_n — понижение уровня воды в любой скважине, определяемое с учетом действия остальных скважин; ΔH_n — потери напора от n -ой скважины до точки сбора воды.

В скважинах могут быть установлены насосы разных марок, поэтому исходная система уравнений Q_n для расчета N неизвестных величин имеет вид:

$$B_n \cdot Q_n^2 + S_n + \Delta H_n - (A_n - z) = \Delta h_n, \quad (8.82)$$

для $n = 1, 2, 3, \dots, N$, где Δh_n — невязки потерь напора.

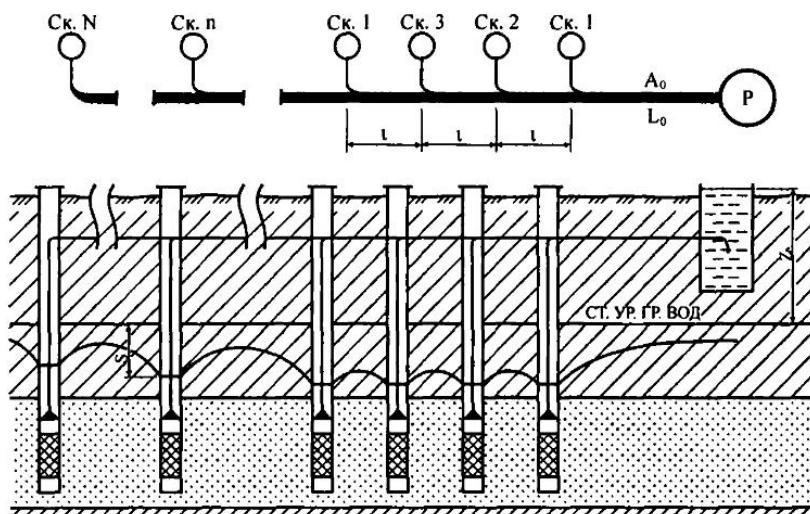


Рис. 8.43. Схема подсоединения скважин к сборному водоводу

Нелинейная система уравнений решается методом последовательных приближений. В качестве первого приближения можно принять

$$Q_n = \frac{Q}{N}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (8.83)$$

где Q — проектная производительность водозабора.

Подставив значение Q_n в уравнение (8.76) проверяется условие:

$$|\Delta h_n| \leq \epsilon, \quad (8.84)$$

где ϵ - предельная (заданная) величина невязки потерь напора.

В зависимости от величины $|\Delta h_n|$ для каждого n -ого уравнения определяется величина поправочного расхода ΔQ_n , которая принимается со знаком «+» или «-», соответствующим знаку невязки Δh_n .

Система уравнений (8.76) считается решенной, когда в процессе последовательных приближений найдены такие значения Q_n , при которых выполняется условие (8.84).

После этого для каждой скважины вычисляются величины S_n и определяются величины напоров насосов по формуле (8.75).

Для каждой скважины по результатам поверочного расчета проверяются условия:

$$S_n \leq S_{дон}, \quad (8.85)$$

$$Q_{\min} \leq Q_n \leq Q_{\max}, \quad (8.86)$$

где $Q_{\min}$ и $Q_{\max}$ - соответственно минимальный и максимальный расходы скважинных насосов.

В тех скважинах, где эти условия не выполняются, необходимо произвести замену насосов, либо отрегулировать их работу на требуемые режимы эксплуатации.

8.12. Эксплуатация подземных водозаборов

После завершения строительства комплекса сооружений для забора воды из подземных водоисточников их сдача в эксплуатацию, как и других сооружений сельскохозяйственных систем водоснабжения, сопровождается представлением строительно-монтажной организацией проектной и исполнительной технической документации по всем видам сооружений в соответствии с требованиями СНиП III-3.76-82.

По водозаборным сооружениям (скважинам, шахтным колодцам, лучевым и горизонтальным водозаборам) дополнительно представляются их паспорт, гидрогеологические параметры пройденных при бурении водоносных горизонтов, проект конструкции сооружения, способов бурения, данные результатов строительных и опытных откачек. К паспорту скважин прилагают акты приемки всех основных этапов работ (заложение скважины, установку фильтра, цементацию затрубного пространства), результаты химических и бактериологических анализов воды с заключением органов санитарно-эпидемиологической службы.

Как правило прием водозаборных сооружений не допускается без оборудования их зоной санитарной охраны, герметическим оголовком или павильоном насосной станции, системой автоматического контроля и работой электронасосов, резервуарами для приема поднятой из горизонтов воды.

Все отклонения от проекта согласовываются с проектной организацией. Они должны быть обоснованы и не влиять на надежную работу водозабора. При отсутствии согласования объект не принимают в эксплуатацию. После сдачи объекта в эксплуатацию вся техническая документация передается организации-водопользователю.

Водопользователи, эксплуатирующие подземные водозаборы, руководствуются правилами, устанавливаемыми исполнительными органами администрации районов. При этом они обязаны экономно расходовать воду, рационально регулировать режим работы водозабора, своевременно проводить плановые, профилактические и капитальные ремонты, устранять аварии, принимать меры по предотвращению возможных загрязнений водоисточников, не допускать нанесения ущерба природохозяйственным объектам, вести строгий учет расхода воды и электроэнергии. Использование подземных вод питьевого качества только для нужд питьевого коммунального водоснабжения.

В состав технического обслуживания подземных водозаборов включают работы по контролю за дебитом, статическими и динамическими уровнями воды в скважинах и водозаборных колодцах, по исправности и герметичности оголовков, определения энергетических параметров водоподъемников (сопротивление электрообмоток, нагрузок электродвигателя, напоров насоса и др.).

Контроль за эксплуатацией станций управления насосами производят в соответствии с технологическими картами и инструкциями по их эксплуатации.

В течение расчетного срока эксплуатации водозаборов производят текущие (плановые, направленные на предохранение элементов сооружений и оборудования от преждевременного повреждения и износа) и капитальные ремонты.

Определение межремонтного периода скважин в системах сельскохозяйственного водоснабжения основано на наблюдении за изменением удельного дебита скважины и показателя общего сопротивления фильтра и прифильтровой зоны.

Продолжительность такого периода зависит от конструкции фильтров, способа водоотбора и гидрогеологических характеристик водоносных пород и составляет обычно по данным эксплуатации от 3-4 лет для скважин, оборудованных пористо-керамическими фильтрами, до 7-12 лет – для скважин, оборудованных фильтрами с гравийной обсыпкой вокруг каркасов с большой скважностью. Основной работой по восстановлению дебита скважин на воду, оборудованных фильтрами, является удаление кольматирующих отложений с поверхности фильтра и прифильтровой зоны.

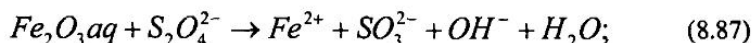
В состав текущего ремонта подземных водозаборных сооружений входят: реагентная или гидроимпульсная обработка прифильтровых зон и фильтров; ликвидация песчаных пробок; устранение герметичности стыков в водоподъемных трубах, напорных водоводах, монтажных вставках; замена пришедших в негодность участков труб; устранение повреждений сальников, изоляций обмоток электродвигателя насосов; ремонт и замена вышедших из строя элементов станций управления насосами.

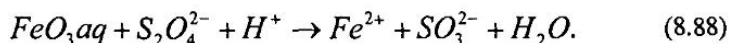
Реагентные методы восстановления скважин обеспечивают растворение кольматанта растворами-нейтрализаторами, представленными неорганическими кислотами и их солями с высокой степенью диссоциации в водном растворе, или растворами-восстановителями. В качестве первых наиболее доступными и реагентными являются соляная кислота с концентрацией от 8-10 до 25-30%. Перед закачкой кислоты в пласт в нее иногда доставляют реагенты с положительной теплотой растворения:

$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; KNO_3 ; NH_4Cl и другие, способствующие снижению скорости реакции между карбонатными породами и кислотой и тем самым увеличивающие дальность проникновения кислоты в зону кольматации водоносного пласта.

Для растворения соединений железа в прифильтровой зоне рекомендуют использовать сильный восстановительный реагент – порошкообразный дитионит натрия – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$.

При его растворении в одном щелочном и кислом растворе механизм процесса восстановления трехвалентного железа описывается реакциями:





В случаях, когда конструктивные элементы скважин неустойчивы в кислотах, ВНИИ ВОДГЕО рекомендует применять комплексобразующие порошкообразные реагенты – триполифосфат натрия $Na_5P_3O_{10}$ и гексаметафосфат натрия $Na_2(Na_4(PO_3)_6)$ с оптимальной концентрацией растворов в пределах 5-8%. Отличительной особенностью полифосфатов является стабилизирующее воздействие водных растворов солей и предотвращение вторичного осаждения последних.

Капитальный ремонт предусматривает проходку скважины с целью ее углубления и перехода на эксплуатацию нижележащего водоносного горизонта, восстановление дебита скважины путем кислотной или физической обработки, замену фильтров, замену насосов или капитальный ремонт, разработку, чистку и частичную замену узлов и блоков станций управления.

Следует особо подчеркнуть, что эксплуатация водоносных горизонтов насосами, не соответствующими, особенно превышающими по своим гидравлическим характеристикам гидрогеологические параметры водоносного пласта, приводит, с одной стороны, к нарушению гидравлических режимов притока воды в прифильтровую зону и может вызвать либо ее разрушение, либо ускоренную кольматацию, а с другой – к быстрому износу фильтров и электродвигателей и перерасходу электроэнергии.

Вторым важным моментом при эксплуатации действующих подземных водозаборов в сельской местности является обязательное тщательно взвешенное выполнение правил использования территории в первом, втором и третьем поясах зоны санитарной охраны. Имеется в виду предупреждение на этой территории проведения сельхозработ и мелиоративных мероприятий, размещения складов химудобрений, орошения сточными водами, строительства водоемов, возведения животноводческих построек (ферм, выгульных площадок) и других работ, которые могут привести к нарушению гидрологических структур водоносных эксплуатируемых пластов и загрязнению подземных вод с поверхности.

И третьим условием качественной и экономичной эксплуатации скважин является постоянное повышение технической грамотности эксплуатационного персонала (электриков, дежурных машинистов насосных станций, механиков), постоянный контроль (сдача техминимумов, переподготовки рабочих мест) за его профессиональной и правовой подготовкой, включая правила техники безопасности и регламент работ в аварийных ситуациях.

Вопрос о необходимости ремонта или ликвидации подземных водозаборов решает ся водопользователем с представителями геологического контроля и местной санитарно-эпидемиологической службы.

К основным причинам нарушения нормальной эксплуатации подземного водозабора относятся:

- повреждение или зарастание (забивка) фильтрующей водоприемной поверхности;
- несоблюдение правил крепления скважин обсадными трубами, а шахтных колодцев – железобетонными кольцами, недоведение обсадных конструкций до водоупора;
- отсутствие должной затрубной или межтрубной цементации;
- неправильный монтаж оголовка скважины, частые остановки водоподъемников, несоответствие производительности насоса и мощности его электродвигателя, с одной стороны, и естественной водоотдачи водоносного горизонта – с другой;
- коррозия фильтров и труб под воздействием агрессивных вод и блуждающих электропоток.

Неисправные скважины, шахтные колодцы, лучевые и горизонтальные водозаборы ремонтируют специальные и буровые бригады, возглавляемые лицами, отвечающими за

ремонт и эксплуатацию скважин. В сельской местности такие работы производятся службами ПО «Сельхозводоснабжение» и другими специальными и техническими бригадами по обслуживанию и эксплуатации сельхозводопроводов.

Для ремонтных работ используют помимо тех же инструментов, установок и оборудования, что при бурении скважин, ловильный инструмент (метчик, печать, звон); металлические ерши, щетки; специальные приспособления для кислотной обработки скважин, проведения пневмо- и гидровзрывных работ и др.

Для технического обслуживания подземных водозаборных сооружений, ввиду отсутствия до настоящего времени серийно изготавливаемых специальных ремонтных агрегатов, использовались самоходные и передвижные буровые установки типа УГБ-50а, УРБ-3АМ, СБУМ-150-3ИВ, 1-БА-15 В; КШК-30а и КШК-40, ОШК-30 и др.

Находят также применение легкие переносные краны, установленные на кузовах автомобилей, и облегченные установки, включающие цельносварные наклонные мачты и лебедки от буровых агрегатов типа УРБ-2, 5А и УРБ-2А.

ЦНИИКИВР совместно с ВНИИВОДГЕО, НПО «Агроприбор», ВНИИГС и другими организациями в рамках выполнения межотраслевой целевой научно-технической программы «Скважина» разработан агрегат технического обслуживания скважин (АТОС), предназначенный для ремонта и обслуживания водозаборных скважин глубиной до 250 м (см. табл. 8.23).

Имея специальное стандартное оборудование для реагентной обработки скважин, газодинамической импульсной, электрогидравлической и пневмоимпульсной обработки, такой агрегат позволяет существенно повысить техническую оснащенность ремонтных организаций.

Интенсификации процессов эксплуатации водозаборных скважин добиваются путем сооружения в определенных гидрогеологических условиях бесфильтровых скважин, скважин большого диаметра с обратной промывкой, двухколонных скважин с одним фильтром, парных скважин в одном павильоне.

Таблица 8.23

Технические характеристики АТОС

№ п/п	Показатели	Ед. изм.	Величины
1.	Базовое шасси		Автомобиль КАМАЗ 5320 Прицеп ГКБ-8350
2.	Грузоподъемность автомобиля	кг	8000
3.	Грузоподъемность прицепа	кг	8000
4.	Грузоподъемное устройство		Трубчатое, складное с откинутыми опорами, неповоротное
5.	Грузоподъемность подъемного механизма	ткгс	5000
6.	Вылет крюка от оси мачты	мм	3000
7.	Высота от оси верхнего ролика	мм	12000
8.	Привод установки мачты в вертикальное положение		Гидравлический
9.	Компрессор		Поршневой, четырехцилиндровый
10.	Производительность эрлифтной откачки	м ³ /ч	60
11.	Диаметр водоподъемного трубопровода	мм	100 (76)
12.	Диаметр воздушного трубопровода	мм	32

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1979. – 231 с.
2. Алексеев В.С., Гребенников В.Т. Восстановление дебита водозаборных скважин. – М.: Агропромиздат, 1987. – 239 с.
3. Барышников Н.Б. Антропогенное воздействие на русловые процессы. – Л.: Издательство ЛГМИ, 1990. – 140 с.
4. Браславский И.И., Семенюк В.Д., Когановский А.М., Киевский М.И., Евстратов В.Н. Проектирование бессточных схем промышленного водоснабжения. Киев: Будівельник, 1977. – 204 с.
5. Белан А.Е., Хоружий П.Д. Проектирование и расчет устройств водоснабжения. – Киев: Будівельник, 1981. – 312 с.
6. Вдовин Ю.И. Водоснабжение на Севере. – Л.: Стройиздат, 1987. – 168 с.
7. Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 365 с.
8. Водный Кодекс Российской Федерации. – Российская газета, 23.10.1995 г.
9. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников / А.С.Образовский, Н.В.Ереснов, В.Н.Ереснов и др. / – М.: Стройиздат, 1976. – 368 с.
10. Водоподготовка: Процессы и аппараты: Учебн. пособие для вузов / А.А. Громогласов, А.С. Копылов, А.П. Пильщиков / Под ред. О.И. Мартыновой. – М.: Энергоиздат, 1990. – 272 с.
11. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий: Справочник проектировщика / Под ред. И.А. Назарова. – М.: Стройиздат, 1976. – 248 с.
12. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений / Под ред. М.Г. Журбы. Вологда – Москва: ВоГТУ, 2001. – 718 с.
13. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
14. Горшков И.В. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 432 с.
15. ГОСТ 27.002-83. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 30 с.
16. Гуринович А.Д. Питьевое водоснабжение из подземных источников. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 304 с.
17. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 527 с.
18. Железняков Г.В. Пропускная способность русел, каналов и рек. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 302 с.
19. Журба М.Г. Сельскохозяйственное водоснабжение. – Кишинев: Universitas, 1991. – 284 с.
20. Журба М.Г., Вдовин Ю.И. Водозаборно-очистные сооружения. – М.: Астрель, 2003. – 412 с.
21. Закон РФ «Об охране окружающей природной среды». – М.: Республика, 1992. – 64 с.
22. Закон РФ «Об экологической экспертизе» № 174-ФЗ от 23.11.95 г.
23. Закон РФ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», № 116 – ФЗ от 07.08.2000 г. и 21.07.97 г.
24. Ильин Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования. – М.: Стройиздат, 1985. – 240 с.
25. Ильин В.Г., Сафонов Н.А. Буровое дело. – М.: Колос, 1972. – 208 с.
26. Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод месторождениям питьевых и технических вод. – М.: Госкомэкология, 1988. – 29 с.
27. Курганов А.М. Водозаборные сооружения систем коммунального водоснабжения: Учеб. пособие. – М.: СПб.: АСВ, 1998. – 246 с.
28. Методика выбора показателей для оценки надежности сложных технических систем. – М.: Издательство стандартов, 1977. – 44 с.
29. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / Под ред. А.В. Караушева. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 286 с.
30. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных процессов и их отбору для финансирования. – М., 1994.
31. Методические указания по расчетам внутригодового распределения стока при строительном проектировании. – Л.: Гидрометеоздат, 1972. – 380 с.
32. Никаноров А.М., Хоружая Т.А. Экология. – М.: Приор, 1999. – 304 с.
33. Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1995. – 688 с.
34. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений: Справочник монтажника / Под ред. А.С.Москвитина. – М.: Стройиздат, 1979. – 430 с.
35. Оводов В.С. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение. – М.: Колос, 1984. – 480 с.
36. Пособие к СНиПу 11-01-95 по разработке раздела документации «Охрана окружающей среды». – М.: ГП «Центринвестпроект», 2000. – 235 с.

37. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 444 с.
38. Проектирование сооружений для забора поверхностных вод / ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1990. – 256 с.
39. Проектирование сооружений для забора подземных вод / ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1989. – 272 с.
40. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. – М.: Наука, 1977. – 640 с.
41. Плотников Н.А., Алексеев В.С. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод. – М.: Стройиздат, 1990. – 256 с.
42. Проектирование водозаборов подземных вод / Под ред. Ф.М. Бочерева. – М.: Стройиздат, 1976. – 291 с.
43. Порядки А.Ф. Водозаборы в системах централизованного водоснабжения. – М.: Издательство НУМЦ Госкомэкологии России, 1999. – 337 с.
44. Разумов Г.А. Проектирование и строительство горизонтальных водозаборов и дренажей. – М.: Стройиздат, 1988. – 241 с.
45. Рекомендации по инженерному оборудованию сельских населенных пунктов. Ч.2. Водоснабжение / ЦНИИЭП Инженерного оборудования. – М.: Стройиздат, 1984. – 80 с.
46. Самохин А.А., Соловьева Н.Н., Догановский А.М. Практикум по гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 296 с.
47. Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.1.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2001. – 112 с.
48. Соколов Л.И. Ресурсосберегающие технологии в системах водного хозяйства промышленных предприятий. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 1997. – 272 с.
49. Соколов Л.И., Зотикова Д.И., Дубский Н.Н. Пособие по выбору площадок (трасс) под новое строительство (реконструкцию) объектов и сооружений. – Вологда: ВГТУ, 1996. – 56 с.
50. Справочник по бурению и оборудованию скважин на воду / Под ред. В.В.Дубровского. – М.: Недра, 1972. – 512 с.
51. Старинский В.П., Михайлик Л.Г. Водозаборные и очистные сооружения коммунальных водопроводов. – Минск: Высшая школа, 1989. – 292 с.
52. Смагин В.Н., Небольсина К.А., Беляков В.М. Курсовое и дипломное проектирование по сельскохозяйственному водоснабжению. – М.: Агропромиздат, 1990. – 336 с.
53. Строительные нормы и правила: СНиП 11-01-95. Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений. – Введ. 30.06.1995 г. – М.: Минстрой России, 1995.
54. Строительные нормы и правила: СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 1985. – 35 с.
55. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.01-85*. Внутренний водопровод и канализация зданий. – Введ. 01.07.86. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 56 с.
56. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.02.84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения / Госстрой России. – Введ. 01.01.85г. – М.: ГУП ЦПП, 1988. – 128 с.
57. Строительные правила: СП 11-101-95. Порядок разработки, согласования, утверждения и состав обоснований инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений. – Введ. 30.06.95г. – М.: Минстрой России, 1995.
58. Тугай А.М. Расчет и конструирование водозаборных узлов. – Киев: Будивельник, 1978. – 160 с.
59. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности / СЭВ, ВНИИ водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии. – Изд. 2-е перераб. – М.: Стройиздат, 1982. – 528 с.
60. Хохлов Н.В. Управление риском. – М.: Юнити-Дана, 1999. – 239 с.
61. Экологическая оценка и экологическая экспертиза / Черп О.М., Виниченко В.Н., Хотулева М.В. и др. – М.: Социально-экологический союз, 2000. – 232 с.

Об авторах



Журба Михаил Григорьевич, доктор технических наук, профессор, действительный член Академии проблем водохозяйственных наук и Академии жилищно-коммунального хозяйства, заведующий лабораторией очистки природных вод и инженерных сооружений водоподготовки Государственного научного центра РФ комплексного научно-исследовательского и конструкторско-технологического института водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии НИИ ВОДГЕО. Основное научное направление работы – теоретическое обоснование и разработка технологий подготовки питьевых вод в условиях повышенных антропогенных нагрузок на водоисточники. Является автором 12 книг, из них 7 монографий, 235 научных статей и брошюр, имеет 67 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Является руководителем научной школы в области очистки воды фильтрованием через плавающие полимерные загрузки. Эксперт Федерального реестра научно-технической сферы при Министерстве промышленности, науки и технологий Российской Федерации.



Соколов Леонид Иванович, доктор технических наук, профессор, действительный член Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, член-корреспондент Жилищно-коммунальной Академии, первый проректор Вологодского государственного технического университета (ВоГТУ), заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения ВоГТУ. Автор более 200 научных и методических трудов, 15 изобретений и патентов. Область научных интересов: проблемы водной экологии, ресурсосберегающие технологии. Автор учебно-исследовательской игры «Экополис» и ряда деловых эколого-экономических игр.



Говорова Жанна Михайловна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории очистки природных вод и инженерных сооружений водоподготовки ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО. Автор 53 печатных работ, в том числе 7 авторских свидетельств и патентов РФ на изобретение, монографии, двух брошюр трех книг и учебных пособий. Имеется опыт педагогической работы в сфере Высшей школы (руководство дипломным и курсовым проектированием и т.д.). Область научных интересов: проблемы водоснабжения (водоочистные комплексы и технологии), канализации и охраны водных ресурсов.