

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

О. С. Софинская

## **ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ**

Учебно-методический комплекс  
для студентов специальности 1-70 04 03  
«Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Новополоцк  
ПГУ  
2014

УДК 628.11(075.8)  
ББК 38.774я73  
С68

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией  
инженерно-технологического факультета  
в качестве учебно-методического комплекса  
(протокол № 5 от 15 марта 2012 г.)

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

д-р техн. наук, проф. кафедры водоснабжения  
и водоотведения БНТУ, Ю. П. СЕДЛУХО;  
канд. техн. наук, доц. кафедры трубопроводного транспорта,  
водоснабжения и гидравлики УО «ПГУ» В. Д. ЮЩЕНКО

**Софинская, О. С.**

С68 Водозаборные сооружения : учеб.-метод. комплекс для студентов  
специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана  
водных ресурсов» / О. С. Софинская. – Новополоцк : ПГУ, 2014. – 264 с.

ISBN 978-985-531-447-0.

Приведены темы изучаемого курса, их объем в часах лекционных и практических занятий. Изложены основные сведения о природных источниках водоснабжения, а также теоретические и практические основы проектирования и расчета водозаборных сооружений. Представлены задания для практических занятий и курсового проектирования и рекомендации по их выполнению.

Предназначен для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов». Может быть полезен преподавателям и студентам вузов строительных специальностей.

**УДК 628.11(075.8)**  
**ББК 38.774я73**

**ISBN 978-985-531-447-0**

© Софинская О. С., 2014  
© УО «ПГУ», 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	7
М-0. ВВЕДЕНИЕ В КУРС .....	8
М-1. ИСТОЧНИКИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ .....	10
УЭ-0. Введение в модуль .....	10
УЭ-1. Природные источники воды .....	11
1.1. Общие сведения .....	11
1.2. Поверхностные источники воды .....	12
1.2.1. Общая характеристика поверхностных вод .....	13
1.2.2. Условия питания рек .....	13
1.2.3. Периоды колебания стока .....	14
1.2.4. Наносы .....	15
1.2.5. Деформация русла реки .....	16
1.2.6. Ледовый режим .....	17
1.3. Подземные источники воды .....	18
1.3.1. Общая характеристика подземных вод .....	18
1.3.2. Характеристики водоносных пластов .....	19
1.3.3. Классификация запасов подземных вод .....	22
УЭ-2. Выбор источника водоснабжения .....	24
2.1. Требования к источнику водоснабжения .....	24
2.1.1. Гигиенические требования к источнику водоснабжения .....	25
2.1.2. Зоны санитарной охраны .....	26
2.1.3. Оценка источника водоснабжения .....	26
УЭ-Р. Обобщение по модулю .....	28
УЭ-К. Итоговый контроль по модулю .....	29
М-2. ЗАБОР ВОДЫ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	30
УЭ-0. Введение в модуль .....	31
УЭ-1. Типы и схемы сооружений для забора подземных вод .....	31
1.1. Условия залегания подземных вод .....	32
1.1.1. Происхождение подземных вод .....	32
1.1.2. Классификация подземных источников .....	33
1.2. Типы сооружений для захвата подземных вод .....	36
1.2.1. Вертикальный водозабор .....	37
1.2.2. Горизонтальный водозабор .....	37
1.2.3. Лучевой водозабор .....	39
1.2.4. Комбинированные водозаборы .....	39
1.2.5. Каптажи .....	39
УЭ-2. Вертикальные водозаборы .....	40
2.1. Скважинные водозаборы .....	40
2.1.1. Характеристики движения подземных вод .....	40
2.1.2. Геолого-технический разрез скважины .....	41
2.1.3. Конструкции водозаборных скважин .....	41
2.1.4. Способы бурения скважин .....	45
2.1.4.1. Роторный способ бурения .....	45
2.1.4.2. Ударно-канатный способ бурения .....	48
<b>Практическое занятие 1</b> .....	51
2.1.5. Обустройство водозаборных скважин .....	52
2.1.5.1. Водоприемная часть .....	52
<b>Практическое занятие 2</b> .....	57

2.1.5.2.	Эксплуатационная колонна труб .....	58
2.1.5.3.	Оголовки трубчатого колодца .....	58
2.1.6.	Гидрогеологический расчет водозаборных скважин .....	59
2.1.6.1.	Гидравлический расчет одиночной скважины .....	62
2.1.6.2.	Гидравлический расчет взаимодействующих скважин .....	63
	<b>Практическое занятие 3</b> .....	65
2.1.7.	Оборудование скважин .....	66
2.1.7.1.	Выбор водоподъемного оборудования .....	67
2.1.7.2.	Схемы оборудования скважин .....	68
2.1.8.	Сборные водоводы .....	69
2.1.8.1.	Напорные сборные водоводы .....	71
2.1.8.2.	Самотечные сборные водоводы .....	72
2.1.9.	Комплексные расчеты водозаборов подземных вод .....	74
2.1.10.	Зоны санитарной охраны водозаборов подземных вод .....	74
	<b>Практическое занятие 4</b> .....	77
2.2.	Шахтные колодцы .....	77
2.2.1.	Схема шахтного колодца .....	78
2.2.2.	Конструкция шахтного колодца из сборных железобетонных колец .....	79
2.2.3.	Устройство шахтных колодцев .....	79
2.2.4.	Водоприемная часть шахтных колодцев .....	82
2.2.5.	Расчет шахтных колодцев .....	83
	<b>Практическое занятие 5</b> .....	84
УЭ-3.	Горизонтальные и лучевые водозаборы .....	85
3.1.	Водозаборные сооружения горизонтального типа .....	85
3.1.1.	Типы и конструкции горизонтальных водозаборов .....	86
3.1.1.1.	Каменно-щебеночный водозабор .....	86
3.1.1.2.	Трубчатый водозабор .....	87
3.1.1.3.	Водосборные галереи .....	88
3.1.1.4.	Водосборные штольни .....	89
3.1.1.5.	Комбинированный горизонтальный водозабор со скважинами .....	90
3.1.2.	Конструирование горизонтальных водозаборов .....	91
3.1.3.	Расчет горизонтальных водозаборов .....	93
	<b>Практическое занятие 6</b> .....	97
3.2.	Лучевые водозаборы .....	98
3.2.1.	Типы лучевых водозаборов .....	98
3.2.2.	Конструирование лучевых водозаборов .....	99
3.2.3.	Расчет лучевых водозаборов .....	105
	<b>Практическое занятие 7</b> .....	107
УЭ-4.	Каптажи .....	107
4.1.	Каптаж источников (родников) .....	107
4.1.1.	Конструкции каптажа .....	108
4.1.2.	Расчет каптажа .....	112
УЭ-5.	Искусственное пополнение запасов подземных вод .....	113
5.1.	Водозаборы в системах искусственного пополнения подземных вод .....	113
5.1.1.	Типы инфильтрационных сооружений .....	114
5.1.1.1.	Открытые инфильтрационные сооружения .....	115
5.1.1.2.	Закрытые инфильтрационные сооружения .....	117
5.2.	Проектирование и расчет водозаборов в системах искусственного пополнения подземных вод .....	119
УЭ-R.	Обобщение по модулю .....	123
УЭ-K.	Итоговый контроль по модулю .....	124

М -3.	ТЕХНОЛОГИЯ ЗАБОРА ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	125
УЭ-0.	Введение в модуль .....	126
УЭ-1.	Водозаборные сооружения из поверхностных источников .....	126
1.1.	Основные определения и классификация водозаборов .....	127
1.1.1.	Классификация водозаборов .....	127
1.1.2.	Требования, предъявляемые к водозаборам .....	128
1.1.3.	Природные условия забора воды .....	129
1.2.	Выбор типа и места поверхностных водозаборов .....	130
1.2.1.	Выбор места расположения водозабора .....	130
1.2.2.	Выбор типа водоприемников .....	133
1.2.3.	Водозаборные сооружения берегового типа .....	135
1.2.4.	Водозаборные сооружения руслового типа .....	137
1.2.5.	Водозаборы островного типа .....	137
1.2.6.	Комбинированные водозаборы .....	138
УЭ-2.	Технологическое оборудование водозаборов .....	140
2.1.	Оборудование водоприемных окон и сеточных отверстий .....	140
2.1.1.	Сородерживающие решетки .....	140
2.1.2.	Водоочистные сетки .....	142
2.1.2.1.	Плоские сетки .....	142
2.1.2.2.	Вращающиеся сетки .....	143
2.1.2.3.	Схемы установок вращающихся сеток .....	143
2.2.	Основное и вспомогательное оборудование водозаборов .....	145
2.2.1.	Насосное оборудование .....	145
2.2.2.	Промывные устройства .....	146
2.2.3.	Грузоподъемное оборудование .....	147
2.2.4.	Гидроэлеваторы .....	147
	<b>Практическое занятие 8</b> .....	148
2.3.	Водоприемники .....	149
2.3.1.	Классификация водоприемников .....	149
2.3.2.	Конструктивные особенности водоприемников .....	150
2.3.3.	Затопленные водоприемники .....	151
2.3.4.	Затопляемые оголовки .....	158
2.3.5.	Незатопляемые водоприемники .....	158
2.4.	Промывка самотечных линий и водоприемных отверстий .....	160
	<b>Практическое занятие 9</b> .....	163
УЭ-3.	Проектирование водозаборов берегового и руслового типа .....	163
3.1.	Береговые водоприемные колодцы .....	164
3.1.1.	Устройство водоприемного колодца .....	164
3.1.2.	Определение размеров приемной и всасывающих камер .....	168
3.2.	Самотечные и сифонные водоводы .....	169
3.3.	Гидравлический расчет водозаборов .....	171
3.3.1.	Расчетный расход водозабора .....	171
3.3.2.	Определение площади водоприемных окон .....	172
	<b>Практическое занятие 10</b> .....	172
3.3.2.1.	Определение потерь напора в решетках .....	173
3.3.2.2.	Определение глубины источника в месте расположения водоприемника .....	174
	<b>Практическое занятие 11</b> .....	174
3.3.3.	Определение площади сеточных отверстий .....	175
3.3.4.	Расчет самотечных и сифонных линий .....	175
3.3.5.	Определение уровней воды и отметки дна в водоприемном колодце .....	177

	<b>Практическое занятие 12</b> .....	179
3.3.6.	Определение отметки оси насоса .....	179
3.4.	Устойчивость водозаборных сооружений .....	180
3.4.1.	Статическая устойчивость водоприемных оголовков .....	180
3.4.2.	Расчет берегового колодца на всплытие .....	182
3.4.3.	Расчет самотечных линий на всплытие .....	182
	<b>Практическое занятие 13</b> .....	183
УЭ-4.	Мероприятия по рыбозащите, борьбе с наносами и шугой .....	184
4.1.	Рыбозащитные устройства водозаборов .....	185
4.1.1.	Основные виды рыбозащитных устройств .....	187
4.1.1.1.	Механические препятствия .....	187
4.1.1.2.	Гидравлические мероприятия по рыбоотведению .....	191
4.1.1.3.	Физиологические рыбозаградители .....	191
4.2.	Борьба с шуголедовыми явлениями .....	193
4.2.1.	Мероприятия по борьбе с шугой .....	194
4.2.2.	Водоприемные ковши .....	196
4.2.2.1.	Типы ковшей .....	197
4.2.2.2.	Гидравлика и расчет ковшей .....	200
	<b>Практическое занятие 14</b> .....	203
4.3.	Мероприятия по борьбе с наносами .....	203
УЭ-5.	Забор воды в специфических условиях .....	207
5.1.	Водохранилищные водозаборные сооружения .....	207
5.1.1.	Особенности забора воды из водохранилищ .....	207
5.1.2.	Выбор места забора воды из водохранилища .....	208
5.1.3.	Выбор типа водохранилищных водоприемников .....	209
5.1.3.1.	Схема комплексного регулирования малых рек .....	210
5.1.3.2.	Водозаборы с пойменными водохранилищами .....	211
5.1.4.	Борьба с биообрастаниями на водозаборах .....	212
5.2.	Водозаборы на озерах .....	213
5.2.1.	Особенности забора воды на озерах .....	213
5.2.2.	Типы водозаборных устройств .....	213
5.3.	Забор воды из горных рек .....	213
5.4.	Забор воды в условиях мерзлоты .....	217
5.4.1.	Особенности забора воды в условиях мерзлоты .....	217
5.4.2.	Выбор источника .....	217
5.4.3.	Типы сооружений для забора воды в условиях мерзлоты .....	217
5.5.	Особенности забора воды из рек с малой глубиной .....	219
5.6.	Морские водозаборные сооружения .....	222
5.6.1.	Особенности забора морской воды .....	222
5.6.2.	Схемы морских водозаборных сооружений .....	223
5.7.	Специальные водозаборы .....	227
5.8.	Зоны санитарной охраны поверхностных источников водоснабжения .....	230
УЭ-Р.	Обобщение по модулю .....	231
УЭ-К.	Итоговый контроль по модулю .....	232
М-Р.	<b>ОБОБЩЕНИЕ ПО КУРСУ</b> .....	233
М-К.	<b>ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПО КУРСУ</b> .....	234
	Методические указания к курсовому проектированию .....	235
	Литература .....	252
	Приложение .....	253

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебно-методический комплекс «Водозаборные сооружения», разработанный на основании Рабочей программы, рассчитан на седьмой семестр (9 для заочной формы обучения) и составляет нагрузку 86 часов, в том числе 52 часа лекций и 34 часа практических занятий.

Для изучения дисциплины учебно-методический комплекс разбит на 3 модуля:

М-1 – источники водоснабжения;

М-2 – забор воды из подземных источников;

М-3 – технология забора воды из поверхностных источников.

Каждый модуль в свою очередь разбит на учебные элементы (УЭ), в которые входят лекции и практические занятия. Количество УЭ в каждом модуле разное.

После каждого УЭ предлагаются вопросы для самоконтроля студентов, а в конце каждого модуля – обобщение знаний по модулю в форме основных вопросов, позволяющих студентам более направленно изучать материал и подготовиться к проверке знаний, которая будет проводиться в форме тестирования.

Результаты тестирования считаются положительными при правильном ответе на 50 и более процентов вопросов. Количество начисляемых баллов будет зависеть от принятой системы оценки знаний и содержания тестов. С принятой системой оценки знаний студенты будут ознакомлены в начале семестра перед изучением данного курса.

Для контроля успеваемости студентов по курсу предлагается ввести рейтинг по дисциплине, учитывающий работу студентов в текущем семестре.

Текущая работа студентов будет оцениваться по итогам выходного тестирования по каждому модулю, а также работе студентов в течение всего семестра. При этом учитывается отношение студентов к работе, умение работать самостоятельно, умение пользоваться нормативно-технической литературой, участие в научно-исследовательских работах, аккуратность.

За несвоевременное выполнение учебного графика предусматривается введение штрафных баллов, которые будут вычитаться из суммы полученных баллов.

На основании общих результатов рейтинга может быть выставлена экзаменационная оценка.

## **М-0. ВВЕДЕНИЕ В КУРС**

«Водозаборные сооружения» – курс, направленный на изучение условий забора воды из природных источников, типов и конструкций водозаборов, особенностей проектирования и методик расчета этих водозаборов с учетом современных требований нормативно-технических документов.

Водозабор является первым звеном сложной системы водоснабжения, обеспечивающим питание всех водопотребителей. Занимая головное положение в системе, водозабор имеет определяющую роль в ее функционировании. Современный водозабор для водоснабжения крупного города представляет собой сложный комплекс инженерных сооружений, оснащенных энергетическим и механическим оборудованием, системой автоматического и телемеханического управления. Такой водозабор должен работать бесперебойно при любых условиях забора воды, существенно изменяющихся в зависимости от сезонов года.

Судоходство, лесосплавы, шугоход и ледоход, резкие колебания уровней воды, а также непредвиденные обстоятельства нарушают работу водозаборов. Даже небольшие нарушения режима работы водозабора влекут за собой крупные осложнения в водоснабжении; аварии же могут принести материальный ущерб, многократно превышающий стоимость самих водозаборных сооружений. Поэтому строительство и эксплуатация водозаборов обязательно должны сочетаться со всеми другими видами водопользования.

Бурный рост коммунального водопотребления во второй половине прошлого столетия благодаря массовому жилищному строительству и коренному улучшению благоустройства городов повлек расширение масштабов строительства водопроводов в целом и как составного их звена – водозаборных сооружений. Очевидно, и в дальнейшем исходя из ожидаемого роста водопотребления, будет происходить интенсивное развитие водозаборов. С ростом водопотребления менялись не только масштабы отбора воды из природных источников, не только возрастало число водозаборов, но (что особенно существенно) изменялся их тип, совершенствовалась технология.

С укрупнением водозаборов возрастают требования к надежности их работы, ибо многократно увеличивается возможный материальный ущерб при аварийных ситуациях, а это требует в свою очередь более глубокого изучения гидрологических и иных условий забора воды, усовершенствования конструкций и технологии водозаборов. Результаты теоре-

тических разработок в этой области широко внедряются при проектировании водозаборов.

Массовое строительство водозаборов большой производительности стало возможным благодаря не только новым технологическим средствам, но и выпуску мощного насосно-энергетического оборудования, запорной и регулирующей арматуры, средств управления и автоматики.

Для изучения курса предлагается следующая структурная схема:



М-0. Введение в курс.

М-1. Источники водоснабжения.

М-2. Забор воды из подземных источников.

М-3. Технология забор воды из поверхностных источников.

М-Р. Обобщение.

М-К. Итоговый контроль по курсу.

## М-1. ИСТОЧНИКИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Место и значение модуля «Источники водоснабжения» в структуре изучения курса – усвоение знаний основных характеристик природных источников помогут сделать обоснованный выбор типа и места расположения водозаборного узла, что позволит обеспечить бесперебойное снабжение потребителей водой во всех условиях, включая чрезвычайные.

Цель модуля:

- изучить характеристики поверхностных источников воды;
- ознакомиться с режимами колебания поверхностного стока;
- изучить характеристики подземных источников воды;
- знать особенности определения запасов подземных вод;
- ознакомиться с характеристиками водоносных пластов;
- ознакомиться с требованиями по выбору источника водоснабжения.

### Структура модуля



Схема иллюстрирует структуру модуля и его УЭ в том порядке, в котором их рекомендуется изучать.

Названия учебных элементов:

УЭ-0. Введение в модуль.

УЭ-1. Природные источники воды.

УЭ-2. Выбор источника водоснабжения.

УЭ-R. Обобщение.

УЭ-K. Итоговый контроль по модулю.

### УЭ-0. ВВЕДЕНИЕ В МОДУЛЬ

*Ключевая проблема* – что такое природные источники, и какие основные характеристики этих источников необходимы для решения задач обеспечения потребителей водой.

*Ведущая идея* – для грамотного выбора источника водоснабжения проведение ряд изысканий:

- топографические и гидрологические – для поверхностных источников;

- гидрогеологические – для подземных вод;
- химико-санитарные – для всех источников.

*Основные понятия* – условия питания рек, модуль стока, колебание стока, межень, паводок, ледостав, водоносный пласт, эксплуатационные запасы подземных вод.

Проработайте основные понятия модуля по мере знакомства с материалом.

## **УЭ-1. ПРИРОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВОДЫ**

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-1:**

1. Общие сведения.
2. Поверхностные источники воды:
  - общая характеристика поверхностных вод;
  - условия питания рек;
  - периоды колебания стока;
  - наносы;
  - деформация русла реки;
  - ледовый режим.
3. Подземные источники воды:
  - общая характеристика подземных вод;
  - характеристики водоносных пластов;
  - классификация запасов подземных вод.

### **1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

По последним данным ученых, объем Мирового океана составляет 1338 млн км<sup>3</sup>, т. е. 96,5% всей воды на Земле. Общая площадь океанов и морей в 2,5 раза превышает территорию суши, покрывая почти три четверти поверхности земного шара слоем толщиной около 4 тыс. м. На долю ледниковых покровов Арктики и Антарктики приходится 24 млн км<sup>3</sup>, что составляет 69% всех земных пресных вод. В руслах всех рек мира при среднем уровне воды одновременно содержится 2120 км<sup>3</sup>; за год они выносят в океан 45 тыс. км<sup>3</sup> воды. В озерных водоемах сосредоточено 176,4 тыс. км<sup>3</sup>, в атмосфере в виде водяного пара – 12 900 км<sup>3</sup>. Объем подземных вод равен 23,4 млн км<sup>3</sup>. Вода есть и в живых организмах, ее ориентировочный объем – 1120 км<sup>3</sup>.

Приведенные данные характеризуют общие запасы воды на Земле. Однако воды, пригодные для всех видов пользования, составляют ничтожную часть общих запасов.

Практически все используемые для целей водоснабжения природные источники воды могут быть отнесены к двум основным группам:

а) поверхностные источники – реки (в естественном состоянии или зарегулированные) и озера;

б) подземные источники – грунтовые и артезианские воды и родники.

Важнейшую роль среди них играют реки вследствие быстрой возобновляемости их вод. Распределены они по земному шару неравномерно.

Подсчитано, что пары атмосферы обновляются в среднем каждые 10 сут, речные воды в руслах рек – каждые 11 сут, почвенная влага – ежегодно.

В возобновлении запасов пресных вод наибольшее значение имеют атмосферные осадки. В среднем на поверхность Земли выпадает их метровый слой. При этом на сушу выпадает только четвертая часть всех осадков, остальные – на Мировой океан.

Общее количество пресных подземных вод, заключенных в земной коре, подсчитать трудно, однако исследователями установлено, что их на земном шаре гораздо больше, чем поверхностных. К естественным запасам подземных вод обычно относят объем свободной, химически не связанной, воды, движущейся главным образом под влиянием силы тяжести в порах и трещинах горных пород. В земной коре, до глубины 2000 м, всего 23,4 млн км<sup>3</sup> соленых и пресных подземных вод. Пресные воды, как правило, залегают до глубины 150 – 200 м, ниже они переходят в солоноватые воды и рассолы. По расчетам гидрогеологов, до глубины 200 м объем пресных подземных вод составляет от 10,5 до 12 млн. км<sup>3</sup>, что более чем в 100 раз превышает объем пресных поверхностных вод.

## **1.2. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВОДЫ**

К открытым поверхностным источникам воды относятся океаны, моря, озера, реки, болота и водохранилища.

Вода морей и океанов не может быть использована в качестве источника водоснабжения без предварительной специальной дорогостоящей обработки, поскольку в 1 т воды содержится до 35 кг различных солей. Поэтому для целей водоснабжения населенных мест используют другие источники – реки, озера и водохранилища.

### **1.2.1. Общая характеристика поверхностных вод**

В зависимости от климатических и погодных условий в той или иной местности водность рек и озер из года в год меняется. Меняется она и в пределах года: в весенний период повышается, а летом и зимой значительно падает. В периоды весенних паводков вода имеет высокую цветность, низкую щелочность, содержит большое количество взвешенных веществ, различных ядохимикатов, бактерий, приобретает привкусы и запахи. При цветении водоемов в летний период вода приобретает самую неожиданную окраску и очень своеобразные запахи – рыбный, травяной, плесневый, огуречный и даже фиалковый. Речная вода, как правило, содержит небольшое количество минеральных солей и отличается относительно небольшой жесткостью. Все физико-химические свойства речной воды, ее бактериальный и биологический состав зависят от распространенных по водосборной площади веществ и загрязнений.

Используемые для водоснабжения озёра также характеризуются высокой цветностью и окисляемостью вод, наличием планктона в теплые периоды года, низкой минерализацией и малой жесткостью. Вода озер содержит повышенное количество биогенных веществ, способствующих массовому развитию фитопланктона и летнему цветению.

Искусственные водоемы (водохранилища) также являются источниками водоснабжения. В мире построены водохранилища с полезным суммарным объемом около 2300 км<sup>3</sup>. Водохранилища – это водоемы с замедленным водообменом, поэтому для них характерно постепенное ухудшение качества воды.

Запасы пресных вод содержатся также в болотах. Они являются не только хранилищами пресной воды, питающими ручьи и пруды, но и выполняют важную функцию естественного фильтра при очистке загрязненных вод. Болота играют огромную роль в природном равновесии – во время весенних разливов они накапливают влагу и отдают ее в засушливые периоды года.

### **1.2.2. Условия питания рек**

Вода в реки может поступать из разных источников, и тип питания рек определяется климатом. Дождевое питание характерно для рек экваториальной, тропических и муссонных областей, там, где выпадает большое количество осадков, например Амазонка, Конго. Эти реки полноводны круглый год. Ледниковое питание получают реки, начинающиеся в высоких покрытых ледниками горах, например Амударья. Реки умеренного климата с холодными снежными зимами имеют снеговое питание. К таким

рекам можно отнести Печору. В тропических широтах, где атмосферных осадков выпадает мало, реки имеют подземное питание, т. е. пополняются подземными водами, благодаря которым реки не пересыхают летом и не иссыкают подо льдом. Большинство рек имеет несколько источников питания. Такой тип питания называют смешанным, к ним относятся реки Енисей и Лена.

### **1.2.3. Периоды колебания стока**

Режимом реки называют характер ее поведения во времени: распределение и изменение величины расхода воды по сезонам года, колебание уровня, изменение температуры воды, образование ледяного покрова и т.д. В режиме выделяется несколько периодов.

*Половодье* – ежегодно повторяющееся в определенный сезон года увеличение количества воды в реке и сильный подъем ее уровня в результате таяния снега, выпадения дождя в течение длительного периода времени. На большинстве рек Европейской части половодья бывают весной при таянии снега. На реках Средней Азии половодья бывают летом, они связаны с таянием ледников в горах. Летние половодья характерны также для рек Юго-Восточной Азии, где летом бывают сильные дожди.

*Паводок* – внезапный кратковременный подъем уровня воды в реке, вызванный выпадением обильных осадков, усиленным таянием снега или ледника в период оттепели.

Паводки и половодья часто сопровождаются *наводнениями*, которые затапливают широкие полосы земель вдоль русел, где часто располагаются города и сёла, железные и автомобильные дороги. Существует несколько причин наводнений. На реках севера Евразии и Северной Америки весной наводнения бывают вызваны заторами льда, когда, сгрудившись, гигантские льдины образуют естественные плотины, мешающие движению воды. На реках, впадающих в море, уровень воды может подниматься вследствие сильных штормовых ветров, которые дуют с моря и нагоняют воду в устье реки. Подъем уровня воды при этом вызывает наводнение. От таких наводнений страдают многие приморские города, расположенные в устьях рек, например, Санкт-Петербург.

*Межень* – самый низкий уровень воды в реке, обусловленный очень жаркой или морозной погодой.

Основными характеристиками каждой из перечисленных фаз в режиме реки являются ее продолжительность, величина характерных уровней и расходов, даты наступления и окончания фазы. Наряду со средними

значениями этих характеристик часто бывает необходимо знать и их возможные колебания за многолетний период.

#### **1.2.4. Наносы**

Речными наносами называются твердые минеральные частицы, переносимые потоком и формирующие русловые и пойменные отложения.

Речные наносы в зависимости от характера движения в потоке обычно подразделяют на взвешенные и влекомые (донные). Такое подразделение наносов носит условный характер, так как в зависимости от крупности наносов и скоростей течения потока те или иные твердые частицы могут находиться то во взвешенном состоянии, то перемещаться по дну потока.

Донные наносы – это наиболее крупные частицы, которые перемещаются без отрыва от дна или с отрывом на короткое время (полувзвешенные). Такие наносы являются рельефообразующими и в значительной степени формируют русло потока.

Крупность донных наносов изменяется по сезонам года, возрастая при паводках и уменьшаясь в межень. При больших скоростях течения донные наносы движутся большими массами. Размеры донных наносов постепенно уменьшаются по длине рек с уменьшением скоростей вниз по течению.

Доля донных наносов особо велика в горных реках и при больших скоростях составляет основную часть твердого стока реки. Количество донных наносов в равнинных реках мало. Они транспортируют преимущественно взвешенные наносы.

Взвешенные наносы – совокупность наиболее мелких частиц грунта, долгое время находящихся во взвешенном состоянии и перемещающихся со скоростью, близкой к скорости течения. Наибольшая концентрация этих частиц наблюдается в придонном слое. Степень насыщения воды частицами наносов определяется мутностью воды,  $\text{кг/м}^3$ . Этот показатель зависит от энергии потока и значительно изменяется как по длине реки, так и по ширине, и по вертикали.

В горных районах, чаще на небольших реках или временных потоках с малыми площадями водосборов, возникают кратковременные паводки, несущие огромные скопления наносов. Эти скопления твердого материала придают потоку характер грязевого, грязекаменного или водно-каменного. Потоки эти называются селями. Движение селевых потоков носит пульсирующий заторный характер. Затопы возникают на отдельных участках русла. При прорыве затора по реке проносится селевой поток, насыщенный наносами и обладающий большой разрушительной силой. Затопы по-

вторяются. Таким образом, селя представляет собой поток, проходящий по реке в виде последовательных валов или волн. Продолжительность селей различна – от нескольких минут до нескольких часов. Во время прохождения селей происходят интенсивные процессы размыва русла и отложения наносов. Сель относится к опасным явлениям природы.

При строительстве водозаборных сооружений на реках следует тщательно изучить процессы формирования и миграции наносов в естественных условиях, чтобы избежать нежелательных последствий строительства и предусмотреть мероприятия по их снижению в проектных решениях.

### **1.2.5. Деформация русла реки**

Для решения вопросов, связанных со строительством и эксплуатацией водозаборных сооружений, большое значение имеет изучение процессов, происходящих в результате взаимодействия речного потока и русла реки.

Под воздействием водного потока русло рек и подвержено постоянным изменениям (деформациям). К основным факторам, определяющим характер русловых деформаций и формы речного русла, относятся:

- уклоны реки и скорости течения;
- характер грунтов, слагающих русло и пойму реки;
- рельеф речного бассейна, его почвенно-грунтовые и растительные условия, влияющие на объем поступления наносов;
- водный режим реки, в частности интенсивность весеннего половодья и дождевых паводков;
- характер ледовых явлений;
- наличие на реке гидротехнических и сплавных сооружений.

Воздействие потока на речное русло проявляется в трех процессах: размыве русла (эрозии), переносе частиц грунта, образовавшихся в процессе размыва, и отложении этих частиц (аккумуляции). Все три процесса происходят одновременно на всем протяжении реки. Однако в зависимости от соотношения между скоростями течения и размерами частиц грунта, слагающих речное русло, на одних участках реки наблюдается преобладание размыва русла над отложением наносов, а на других, наоборот, накапливается больше грунта, чем размывается.

Процесс размыва преобладает в верхнем течении реки, а отложения – в нижнем течении.

Русловая эрозия бывает боковой и глубинной. Результатом глубинной эрозии является углубление русла реки.

Все разновидности деформаций речного русла можно разделить на две категории: периодические и постоянные.

*Периодические деформации* ежегодно чередуются в определенной последовательности и изменяют форму русла на отдельных участках реки то в одном, то в другом направлении. Они не влекут за собой, как правило, длительных устойчивых изменений русла. Характерным примером таких деформаций является периодическое отложение наносов на перекатах во время подъема половодья и их последующее углубление при спаде уровней.

*Постоянные деформации* вызывают необратимые изменения формы русла в одном и том же направлении в течение длительного периода времени. К таким деформациям относятся, например, размывы вогнутых берегов рек и отложение наносов на выпуклых берегах, вызывающие перемещения извилин русла по течению реки.

### **1.2.6. Ледовый режим**

С наступлением морозов при малых скоростях движения воды, поверхностный слой вод охлаждается и образуется ледяной покров. Продолжительность замерзания зависит от интенсивности похолодания и скорости течения. На малых реках она составляет 3 – 7 дней, а на больших – 8 – 15 дней. В течение зимы толщина льда постепенно увеличивается, достигая 0,6 – 1,0 м на реках центральных и северных районов европейской части СНГ и 1,0 – 1,5 м – на реках Сибири. При больших скоростях движения воды образование ледяного покрова затруднено. В этом случае ледовому покрову предшествует осенний ледоход, сопровождающийся образованием донного (глубинного) льда. Он образуется в результате переохлаждения воды. При быстром течении переохлажденная вода находится в состоянии турбулентного движения, что приводит к интенсивному теплообмену между поверхностными и придонными слоями. При соприкосновении переохлажденного слоя воды с твердой поверхностью дна реки образуется донный лед, который может достигать толщины 1,5 м.

Весной в результате таяния снегов начинается вскрытие рек, за которым следует ледоход. Последний длится от 1 – 3 дней на малых реках до 8 – 10 дней – на больших. Характер вскрытия рек весеннего ледохода зависит, прежде всего, от географического положения реки. На реках, текущих с севера на юг, от ледяного покрова сначала освобождается нижнее течение, что обеспечивает беспрепятственное продвижение льда с вышерасположенных участков. Поэтому ледоход на этих реках проходит сравнительно спокойно. На реках, текущих в северном направлении, условия ледохо-

да очень тяжелые. Позднее вскрытие нижних участков этих рек препятствует ледоходу, и на вышерасположенных участках образуются ледяные заторы, вызывающие значительные подъемы уровней воды, приводящие нередко к наводнениям.

### **1.3. ПОДЗЕМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВОДЫ**

Воды, находящиеся в верхней части земной коры, носят название *подземных вод*. Закономерности распространения подземных вод зависят от многих геологических и физико-географических особенностей территории. Большую роль в водоснабжении играют подземные пресные воды. Миллионы буровых скважин и колодцев снабжают водой население всех пяти частей света. В Дании, Бельгии и Финляндии из подземных ресурсов берут 90% воды, в Голландии, Марокко – 70% и т. д. В некоторых районах земного шара подземные воды сильно истощены. В Калифорнии за 20 лет уровень подземных вод понизился на 30 м.

Подземные воды образуются преимущественно путем инфильтрации. Атмосферные осадки, речные и другие воды под действием силы тяжести просачиваются по крупным порам и трещинам пород. На глубине они встречают водоупорные слои. Вода задерживается и заполняет пустоты пород. Так создаются водоносные горизонты. Количество воды, инфильтрующейся с поверхности, определяется действием многих факторов: характером рельефа, составом и фильтрующей способностью пород, климатом, растительным покровом, деятельностью человека и т. д.

#### **1.3.1. Общая характеристика подземных вод**

Подземные воды – природные растворы, содержащие свыше 60 химических элементов (в наибольших количествах – К, Na, Ca, Mg, Fe, Cl, S, C, Si, N, O, H), а также микроорганизмы (окисляющие и восстанавливающие различные вещества). Как правило, подземные воды насыщены газами (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> и др.).

Один из показателей природной обстановки формирования подземных вод – состав растворенных и свободно выделяющихся газов. Для верхних водоносных горизонтов с окислительной обстановкой характерно присутствие кислорода, азота, для нижних частей разреза, где преобладает восстановительная среда, типичны газы биохимического происхождения (сероводород, метан).

Многие качественные и количественные показатели параметров подземных вод (уровня, напора, расходов, химического и газового составов,

температуры и др.) подвергаются кратковременным, многолетним и вековым изменениям, которые определяют режим подземных вод. Последний отражает процесс формирования подземных вод во времени и на различных территориях под влиянием естественных (климатических, гидрологических, геологических, гидрогеологических) и техногенных факторов. Наибольшие колебания показателей режима происходят при неглубоком залегании подземных вод.

### **1.3.2. Характеристики водоносных пластов**

Водоносными являются рыхлые и слабосцементированные осадочные породы, содержащие гравитационную воду. В них осуществляется движение воды по пустотам (поры и трещины). Осадочными водоносными породами являются валунно-галечниковые, гравийные и песчаные отложения; неводоносными – суглинки, глины, а также все обломочные породы сцементированные суглинисто-глинистыми и известковистыми отложениями. К слабоводоносным породам относятся однородные алевриты (пыль) и супеси; глины и суглинки с прослоями и линзами песков и песчано-гравийных отложений; песчаные и песчано-гравийные породы с содержанием пылеватых и глинистых частиц в количестве более 50% от общего объема породы. В слабоводоносных пластах большой мощности преобладает относительно слабый водообмен. Качество воды здесь локальное, часто плохое.

Основные показатели, определяющие водоносность пород, – это гранулометрический состав и пористость, водопроницаемость и водоотдача, а также мощность пласта и уклон потока подземных вод.

*Гранулометрический состав пород* – это размер всех частиц породы в миллиметрах. От гранулометрического состава зависят следующие показатели: пористость, водопроницаемость и водоотдача водоносного пласта, высота капиллярного поднятия воды в зоне аэрации.

Классификация обломочных осадочных пород по размеру их частиц приведена в таблице 1.1. Чем крупнее размер частицы породы, тем больше в ее порах гравитационной воды, тем лучше водоотдача и фильтрационные свойства, значит и больше дебит. Однако даже из слабопроницаемых пород можно ежедневно брать воду до 10 – 20 м<sup>3</sup>/сут и более.

*Пористость* – это промежутки между частицами породы. С глубиной пористость уменьшается. Более молодые в геологическом отношении сыпучие осадочные породы, залегающие на глубинах до 20 м, имеют более высокую пористость и лучшие гидрогеологические свойства, чем их ана-

логи, но более древние или залегающие на большей глубине. Знать эту особенность нужно обязательно, так как именно она позволяет брать воду для водоснабжения из слабопроницаемых и слабОВОдоносных пород с небольшой глубины.

Таблица 1.1

**Классификация осадочных пород по гранулометрическому составу**

Фракции	Крупность	Размер частиц, мм
Валуны (окатанные) и камни (угловатые)	Крупные	> 800
	Средние	800 – 400
	Мелкие	400 – 200
Галька (окатанная) и щебень (угловатый)	Очень крупные	200 – 100
	Крупные	100 – 60
	Средние	60 – 40
	Мелкие	40 – 20
Гравий (окатанный) и дресва (угловатая)	Крупные	20 – 10
	Средние	10 – 4
	Мелкие	4 – 2
Песчаные частицы (песок)	Очень крупные	2 – 1
	Крупные	1 – 0,5
	Средние	0,5 – 0,25
	Мелкие	0,25 – 0,1
	Тонкие	0,1 – 0,05
Пылеватые частицы (пыль)	Крупные	0,05 – 0,01
	Мелкие	0,01 – 0,005
Глинистые частицы	Грубые	0,005 – 0,001
	Тонкие	< 0,001

*Водопроницаемость* – свойство горных пород пропускать через себя жидкости, газы и их смеси при наличии перепада давления. Она зависит от гранулометрического состава и пористости; характеризуется коэффициентом фильтрации ( $K_f$ ), измеряемого в см/с, м/с и м/сут. Сам водоносный пласт характеризуется коэффициентом водопроницаемости, который в упрощенном виде равен произведению мощности водоносной части пласта на его среднее значение коэффициента фильтрации.

Для предварительных расчетов предлагается использовать следующие значения  $K_f$ , приведенные в таблице 1.2.

Знание коэффициента водоотдачи позволяет ориентировочно оценить степень водообильности пласта. Значения коэффициентов водоотдачи пород приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.2.

**Коэффициент фильтрации пород**

Грунты и породы	Коэффициент фильтрации, м/сут
Песок пылеватый	0,1 – 1
Супесь	0,2 – 0,7
Песок мелкозернистый	1 – 5
Песок среднезернистый	6 – 30
Песок крупнозернистый	31 – 75
Песок гравелистый	50 – 100
Гравий мелкий	75 – 100
Гравий средний	100 – 200
Гравий крупный	200 – 300
Галечник мелкий	300 – 500
Известняк трещиноватый	20 – 50

Таблица 1.3

**Значения коэффициента водоотдачи**

Грунты и породы	Коэффициент водоотдачи
Песок пылеватый	0,1 – 0,15
Супесь	0,15 – 0,25
Песок мелкозернистый	0,14 – 0,185
Песок среднезернистый	0,17 – 0,21
Песок крупнозернистый и гравелистый	0,19 – 0,23
Гравий мелкий	0,24 – 0,26
Гравий средний	0,26 – 0,28
Гравий крупный	0,28 – 0,3
Галечник	0,22 – 0,25
Известняк трещиноватый	0,05 – 0,1

Очень важным параметром также является критическая скорость фильтрации воды при откачке. Незнание и превышение ее увеличением дебита, вызывает появление суффозии (пескование скважины), т. е. выноса из боковых стенок скважины мелких частиц.

Суффозия – явление очень нежелательное, так как может вызвать разрушение целостности песчано-гравийной обсыпки фильтра, сильное и постоянное пескование, обрушение в ослабленную каверну вышележащих водоупорных пород.

### 1.3.3. Классификация запасов подземных вод

Подземные воды – это единственный вид полезных ископаемых, запасы которых могут возобновляться в процессе эксплуатации, поскольку они являются сложной динамической системой, взаимодействующей с окружающей средой. Запасы и ресурсы подземных вод могут быть подразделены:

- 1) на естественные запасы и ресурсы;
- 2) на искусственные запасы и ресурсы;
- 3) на привлекаемые ресурсы;
- 4) на эксплуатационные запасы и ресурсы.

Естественные запасы – масса гравитационной воды в пласте в естественных условиях. Ту часть массы, которую можно извлечь из пласта при снижении давления за счет упругого расширения воды и сжатия породы (уменьшения пористости), принято называть упругими запасами.

Естественные ресурсы – количество воды, поступающей в водоносный горизонт в естественных условиях в результате инфильтрации атмосферных осадков, фильтрации из рек и озер, перетекания из выше- и нижележащих горизонтов, притока со смежных территорий.

Часто термину «естественные запасы» соответствуют в литературе термины «статические запасы», а «естественным ресурсам» – «динамические запасы».

Искусственные запасы – это объем подземных вод в пласте, накопившихся в результате орошения, подпора водохранилищами или фильтрации из них, искусственного восполнения подземных вод.

Искусственные ресурсы – количество воды, поступающей в водоносный горизонт в результате фильтрации из каналов и водохранилищ, орошения, а также проведения мероприятий по искусственному питанию подземных вод.

Привлекаемые ресурсы – увеличение питания подземных вод при эксплуатации водозаборов в связи с возникновением или усилением фильтрации из рек, озер перетеканием из смежных обычно выше расположенных водоносных горизонтов.

Понятия «эксплуатационные запасы» и «эксплуатационные ресурсы» подземных вод являются, в сущности, синонимами. Под ними понимается то количество подземных вод, которое может быть получено рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации и качестве воды, удовлетворяющем требованиям в течение всего расчетного срока потребления. Таким образом, эта величина представляет собой производительность водозабора и выражается в единицах расхода (обычно в м<sup>3</sup>/сут).

Эксплуатационные запасы подземных вод в зависимости от степени разведанности месторождений, изученности качества вод и условий эксплуатации подразделяются на 4 категории – А, В, С1 и С2.

К категории А относятся запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей полное выяснение условий залегания, строения, величин напора и фильтрационных свойств водоносных горизонтов, условий их питания, возможностей восполнения эксплуатационных запасов, установление связи водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами, изучение качества подземных вод с достоверностью, подтверждающей возможность их использования по заданному назначению на расчетный срок водопотребления.

Эксплуатационные запасы подземных вод категории А определяются по данным эксплуатации, опытно-эксплуатационных или опытных откачек применительно к намеченной схеме расположения каптажных сооружений.

К категории В относятся запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение основных особенностей условий залегания, строения и питания водоносных горизонтов, установление связи подземных вод (запасы которых оцениваются) с другими водоносными горизонтами и с поверхностными водами, определение приблизительного количества естественных водных ресурсов как возможных источников восполнения эксплуатационных запасов подземных вод. Качество подземных вод должно быть изучено с такой же детальностью, как и для запасов категории А. Эксплуатационные запасы категории В определяют в пределах детально изученного участка по данным опытных откачек или по расчетной экстраполяции применительно к намеченной схеме водозабора.

Запасы категории С1 изучаются с детальностью, обеспечивающей выяснение в общих чертах строения, условий залегания и распространения водоносных горизонтов. Качество подземных вод изучается в той мере, чтобы можно было предварительно решить вопрос о возможности их использования по заданному назначению. Запасы оцениваются по данным пробных откачек из единичных скважин, а также по аналогии со сходными районами.

К категории С2 относятся запасы, установленные на основании общих геолого-гидрогеологических данных, подтвержденных опробованием водоносного горизонта в отдельных точках, или по аналогии. Качество подземных вод также определяется по пробам, взятым в отдельных точках водоносного горизонта, или по аналогии. Эксплуатационные запасы категории С2 оцениваются в пределах водоносных комплексов и выявленных

благоприятных структур. Региональная оценка естественных и эксплуатационных ресурсов подземных вод впервые в мировой практике была выполнена в СССР. Результаты оценки показывают, что наибольшими ресурсами характеризуются межгорные впадины и предгорные прогибы в горноскладчатых областях, которые отличаются благоприятными условиями формирования подземных вод.

### **Самоконтроль по УЭ-1:**

1. Какие типы питания рек вы знаете?
2. Назовите периоды колебания стока.
3. Что такое наносы и как они подразделяются?
4. вспомните, какими явлениями характеризуется ледовый режим поверхностных источников.
5. Что такое коэффициент фильтрации водоносных пород и от чего он зависит?
6. вспомните, как подразделяются запасы и ресурсы подземных вод.

## **УЭ-2. ВЫБОР ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-2:**

Требования к источнику водоснабжения:

- гигиенические требования к источникам водоснабжения;
- зоны санитарной охраны;
- оценка источника водоснабжения.

### **2.1. ТРЕБОВАНИЯ К ИСТОЧНИКУ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Выбор источника водоснабжения осуществляется Правилами выбора и оценки качества источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения и является чрезвычайно ответственной задачей. Правильное ее решение гарантирует получение необходимых количеств воды в течение длительного периода эксплуатации с учетом роста водопотребления, а также надежность работы системы и качество функционирования всего комплекса сооружений.

Мощность источника должна быть достаточной для забора требуемых количеств воды без нанесения ущерба сложившейся экологической обстановке. Данные, полученные в результате проведения физико-химических, санитарно-биологических и технологических анализов, а так-

же знание требований потребителей к качеству воды позволяют правильно произвести выбор источника водоснабжения.

### **2.1.1. Гигиенические требования к источнику водоснабжения**

Одним из наиболее важных вопросов гигиены питьевой воды является правильный выбор водоисточника. При осуществлении выбора источника учитывают качество его воды, водообильность (количество воды) в сравнении с предполагаемыми потребностями в воде, прогноз санитарного состояния, возможность организации зон санитарной охраны (ЗСО).

Состав воды пресноводных подземных и поверхностных источников водоснабжения должен соответствовать следующим требованиям: сухой остаток не более 1000 мг/дм<sup>3</sup> (по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы допускается до 1500 мг/дм<sup>3</sup>), концентрации хлоридов и сульфатов не более 350 и 500 мг/дм<sup>3</sup> соответственно, общая жесткость не более 7 моль/дм<sup>3</sup> (по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы допускается до 10 моль/дм<sup>3</sup>), концентрации химических веществ не должны превышать ПДК для воды хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, а также норм радиационной безопасности, утвержденных Министерством здравоохранения.

Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения с учетом их санитарной надежности выбирают в следующем порядке:

- межпластовые напорные воды;
- межпластовые безнапорные воды;
- грунтовые воды, искусственно наполняемые, и подрусловые подземные воды;
- поверхностные воды (реки, водохранилища, озера, каналы).

Выбор источника водоснабжения при наличии нескольких источников и равной возможности обеспечения требуемого качества и количества воды должен осуществляться путем технико-экономического сравнения вариантов схем обработки воды с учетом санитарной надежности источников.

Выбор источника водоснабжения производится на основании следующих данных:

1) при подземном источнике водоснабжения – анализе качества воды, гидрогеологической характеристики используемого водоносного горизонта, санитарной характеристики местности в районе водозабора, существующих и потенциальных источников загрязнения почвы и водоносных горизонтов. При этом учитываются балансовые запасы подземных вод, ут-

вержденные в установленном порядке в соответствии с классификацией эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод;

2) при поверхностном источнике водоснабжения – анализом качества воды, гидрологических данных, минимальных и средних расходов воды, соответствия их предполагаемому водозабору, санитарной характеристики бассейна, развития промышленности, наличия и возможности появления источников бытового, промышленного и сельскохозяйственного загрязнения в районе предполагаемого водозабора.

### **2.1.2. Зоны санитарной охраны**

Зона санитарной охраны – это территория, на которой устанавливается специальный режим и проводятся мероприятия по охране подземных и поверхностных источников водоснабжения, водозаборов и водопроводных очистных сооружений.

Различают два, а по данным Е.Г. Гончарука – три пояса ЗСО. Первый пояс (зона строго режима) включает территорию и акваторию размещения водозаборов и площадок головных сооружений водопровода. Эта зона устанавливается с целью недопущения загрязнения воды в месте водозабора и на этапах водоподготовки на головных очистных сооружениях водопровода. Второй и третий пояса ЗСО (ограничений и наблюдений) охватывают территорию, с которой в связи с природными условиями или в результате промышленного, бытового и другого использования может быть связано ухудшение качества воды в месте ее водозабора из источника. С этой целью проводится комплекс мер с учетом санитарных условий, особенностей источников водоснабжения и возможного их загрязнения.

При наличии нескольких источников водоснабжения выбирают лишь те, для которых возможны организация зоны санитарной охраны и соблюдение соответствующего режима в пределах ее поясов.

### **2.1.3. Оценка источника водоснабжения**

При оценке водоисточника для целей водоснабжения следует учитывать:

- расходный режим и водохозяйственный баланс по источнику с прогнозом на 15 – 20 лет;
- требования к качеству воды, предъявляемые потребителями и требованиями ГОСТ 2761;
- качественную характеристику воды в источнике с указанием агрессивности воды и прогноз изменения ее качества с учетом возможного поступления сточных вод;

- качественные и количественные характеристики водной растительности, планктона, биообратателей, наносов и сора, их режимы, перемещение донных отложений, устойчивость берегов;
- осенне-зимний режим источника и характер льдошуговых явлений в нем;
- температуру воды по месяцам года и развитие фитопланктона на различной глубине;
- характерные особенности весеннего вскрытия источника и половодья;
- требования органов государственного санитарного надзора, государственного управления по природным ресурсам, рыбоохраны, водного транспорта;
- возможность организации зон санитарной охраны водозаборов для систем питьевого водоснабжения.

При оценке достаточности водных ресурсов поверхностных источников водоснабжения необходимо обеспечить ниже места водозабора гарантированный расход воды, необходимый в каждом сезоне года для удовлетворения потребностей в воде расположенных ниже по течению населенных пунктов, промышленных предприятий, сельского хозяйства, рыбного хозяйства, судоходства и других видов водопользования.

Водоисточник должен удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать отбор необходимого количества воды с учетом роста водопотребления на перспективу и появления новых потребителей;
- обеспечивать бесперебойное снабжение водой потребителей;
- иметь воду такого качества, которое в наибольшей степени отвечает нуждам одного из потребителей, предъявляющего наиболее высокие требования к качеству воды, или позволяет достичь его путем экономически оправданных затрат на очистку;
- обладать объемами, позволяющими производить забор воды из него без значимого нарушения сложившегося экологического равновесия системы;
- обеспечить возможность подачи воды потребителю с наименьшими затратами средств.

При оценке подземных водоисточников необходимо учитывать:

- запасы и условия питания подземных вод, а также возможное их нарушение в результате изменения природных условий, устройства водохранилищ или дренажа, искусственной откачки воды и т. п.;
- качество и температуру подземных вод;

- возможность увеличения запасов до расчетной потребности путем искусственного пополнения;
- влияние отбора подземных вод проектируемым водозабором на экологическое состояние природных комплексов на прилегающей к водозабору местности;
- данные об инженерно-геологических условиях участка размещения водозабора и отдельных его сооружений, характеризующие физико-механические и водные свойства грунтов, агрессивность среды, в которой будут находиться сооружения при эксплуатации;
- наличие в районе размещения проектируемого водозабора особых инженерно-геологических условий (просадочность, набухаемость, пучение грунтов, подтопление, подработка территории);
- результаты обследования технического состояния и режимов работы действующего водозабора при его реконструкции.

### **Самоконтроль по УЭ-2:**

1. Вспомните, каким документом руководствуются при выборе источника водоснабжения.
2. Вспомните порядок источников водоснабжения по санитарной надежности.
3. Назовите основные показатели качества воды в источнике, которые регламентируются нормативными документами.

Итак, вы изучили учебный модуль М-1 «Эксплуатация водозаборных сооружений». Теперь проверьте еще раз свои знания и умения в этой сфере и обобщите их.

## **УЭ-Р. ОБОБЩЕНИЕ ПО МОДУЛЮ**

### **Учебные цели УЭ-Р:**

Обобщить наиболее существенные знания по модулю, выразить их в форме резюме. Для этого ответьте на следующие основные вопросы:

1. Какой тип питания характерен для рек, расположенных в районе умеренного климата?
2. Для каких рек характерно подземное питание?
3. Чем характеризуется паводье?
4. Что такое паводок?
5. Назовите виды деформаций русла реки.
6. Дайте классификацию запасов подземных вод.

7. Какое значение имеет обеспечение охраны источников водоснабжения от загрязнений при выборе источника водоснабжения?

При составлении резюме опирайтесь на основное содержание узловых вопросов УЭ-1 и УЭ-2.

## **УЭ-К. ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПО МОДУЛЮ**

После изучения данного модуля вы должны:

– знать типы источников водоснабжения и их основные характеристики;

– овладеть навыками оценки водоисточника с целью его использования для водоснабжения населенного пункта.

Повторите учебный материал по лекциям в учебно-методическом комплексе к данному модулю и предлагаемому списку литературы:

1. ТКП 45-4.01-30-2009 (02250) Водозаборные сооружения. Строительные нормы проектирования. – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск 2009.

2. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение / Н.Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1982.

3. Курганов, А.М. Водозаборные сооружения систем коммунального водоснабжения / А.М. Курганов. – М., 1998.

4. Климентов, П.П. Общая гидрогеология / П.П. Климентов. – М.: Высшая школа, 1971.

7. Пособие по проектированию сооружений для забора подземных вод (к СНиП 2.04.02-84) М.: Стройиздат, 1986.

Если вы уверены в своих знаниях, умениях и навыках, вам необходимо пройти выходной тест, предложенный преподавателем.

Если вы испытали трудности в выполнении выходного теста, то изучите соответствующий материал повторно.

## М-2. ЗАБОР ВОДЫ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Для изучения данного модуля потребуются опорные знания и умения из ранее изученного материала.

Приступая к изучению модуля, необходимо проверить свои знания по следующим вопросам:

1. Что такое подземный источник?
2. Какие основные характеристики подземных источников вы можете назвать?
3. Что такое водоносная порода, и какими параметрами она характеризуется?

Если вы правильно ответили на эти вопросы, можете переходить к изучению модуля.

В случае неуверенности в правильности своих ответов на эти вопросы и наличия затруднений, целесообразно проконсультироваться у преподавателя и повторить материал модуля М-1.

Место и значение модуля «Забор воды из подземных источников» в структуре изучения курса – усвоение знаний техники забора подземной воды и конструкций водозаборных сооружений позволяют создать условия бесперебойного снабжения водой потребителей разных категорий.

Цель модуля:

- изучить основные виды сооружений для забора подземных вод;
- изучить способы сооружения водозаборных скважин;
- овладеть навыками расчета водоприемной части водозаборных сооружений;
- изучить особенности проектирования сборных водоводов и методики их расчетов;
- овладеть навыками подбора водоподъемного оборудования;
- освоить основные методы искусственного пополнения запасов подземных вод.

### Структура модуля

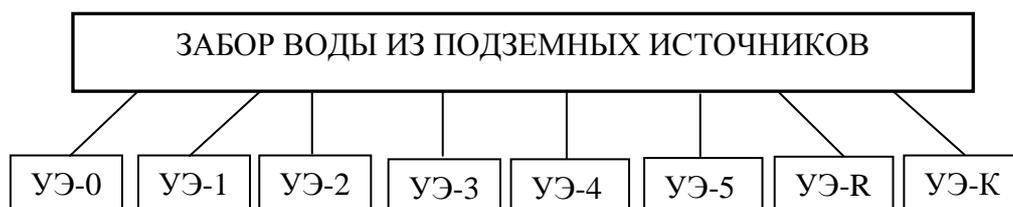


Схема иллюстрирует структуру модуля и его УЭ. Следует обратить внимание на название УЭ и их последовательность – это порядок, в котором их целесообразно усваивать.

Названия учебных элементов:

УЭ-0. Введение в модуль.

УЭ-1. Типы и схемы сооружений для забора подземных вод.

УЭ-2. Вертикальные водозаборы.

УЭ-3. Горизонтальные и лучевые водозаборы.

УЭ-4. Каптажи.

УЭ-5. Искусственное пополнение подземных вод.

УЭ-Р. Обобщение.

УЭ-К. Итоговый контроль по модулю.

## **УЭ-0. ВВЕДЕНИЕ В МОДУЛЬ**

*Ключевая проблема:* выбор подземных вод в качестве источника хозяйственно-питьевого водоснабжения, обусловленный санитарно-гигиеническими показателями, позволяющими использовать значительно упрощенную схему системы водоснабжения, что снижает строительную и эксплуатационную стоимость и обеспечивает экологическую безопасность.

*Ведущая идея* – современный водозабор для водоснабжения населенного пункта представляет собой сложный комплекс инженерных сооружений, оснащенных энергетическим и механическим оборудованием. Такой водозабор должен работать бесперебойно при любых условиях забора воды, существенно изменяющихся по сезонам года.

С увеличением водопотребления возрастают требования к надежности их работы, а это требует, в свою очередь, усовершенствования конструкций и технологии водозаборов.

*Основные понятия* – подземные воды, шахтный колодец, водозаборная скважина, лучевой водозабор, горизонтальный водозабор, каптаж источников, групповой водозабор.

Проработайте основные понятия модуля по мере знакомства с материалом.

## **УЭ-1. ТИПЫ И СХЕМЫ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАБОРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

**Узловые вопросы для изучения УЭ-1:**

1. Условия залегания подземных вод:

- происхождение подземных вод;
- классификация подземных источников.

2. Типы сооружений для захвата подземных вод:
- вертикальный водозабор;
  - горизонтальный водозабор;
  - лучевой водозабор;
  - комбинированные водозаборы;
  - каптажи.

## **1.1. УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Широкое использование подземных вод можно объяснить тем, что при их заборе обычно не нужны сложные и дорогостоящие сооружения по очистке воды. Их доля в общем балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения Беларуси составляет около 88%.

### **1.1.1. Происхождение подземных вод**

Основную роль в формировании запасов подземных вод, используемых для водоснабжения, играют инфильтрационные и конденсационные процессы. Инфильтрационные процессы приводят к накоплению в земной коре воды в результате:

- фильтрации через почву атмосферных осадков;
- насыщения водой грунтов через берега и дно рек, озер, водохранилищ, прудов, каналов;
- фильтрации через почву воды при сельскохозяйственном орошении и т. п.

При конденсационных процессах водяные пары подземного воздуха конденсируются на частицах грунта; по мере накопления эта влага переходит в капельную форму, и сила тяжести увлекает ее. Но все-таки подземные воды образуются, главным образом, за счет инфильтрации атмосферных и поверхностных вод, которые проникают в толщу земли и создают там подземные потоки и бассейны.

На рисунке 2.1 дан условный геологический разрез, на котором рассматривается образование подземных вод в результате инфильтрационных процессов и их залегание в земной толще. Подземные и поверхностные воды находятся в постоянном взаимодействии.

Атмосферные и поверхностные воды проникают в толщу земли через водопроницаемые породы.

- В зависимости от строения почв, грунтовые потоки делят на категории:
- безнапорные;
  - напорные.

*Безнапорные потоки* образуются в том случае, когда водоносный слой насыщен водой не на всю высоту и имеет свободное зеркало. В колодце, вскрывающем водоносный горизонт, уровень воды устанавливается на той же высоте, что и поверхность воды в водоносном горизонте. Когда весь водопроницаемый слой насыщен водой, поверхность водоносного горизонта не является свободным зеркалом воды, а совпадает с кровлей (порода, покрывающая водоносный горизонт). Обычно вода при этом обладает гидростатическим напором. В колодце, вскрывающем подобный горизонт напорных вод, вода поднимается выше его кровли до высоты, определяемой так называемым пьезометрическим уровнем водоносного горизонта, соответствующим величине напора.

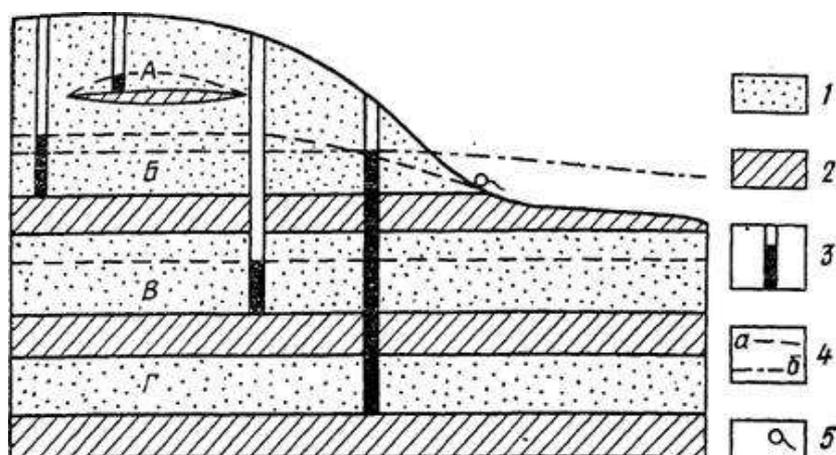


Рис. 2.1. Условный геологический разрез:

А – верховодка; Б – грунтовые воды; В – безнапорные межпластовые воды; Г – напорные воды;

1 – проницаемые породы; 2 – водоупорные породы; 3 – буровая скважина; 4 – уровень воды: а – свободный, б – пьезометрический; 5 – источник

### 1.1.2. Классификация подземных источников

Классифицировать подземные источники можно по ряду признаков.

**1. По характеру залегания** различают следующие виды подземных вод:

**Верховодка** – воды, которые образуются при просачивании атмосферных осадков сквозь хорошо фильтрующие породы вследствие накопления на преграде. Располагается наиболее близко к земной поверхности, которая залегает на водоупорных линзах (вогнутая часть линзы обращена к поверхности земли). Количество и состав этой воды резко изменяется в зависимости от гидрометеорологических условий (таяние снега или длительный дождь), она легко подвергается загрязнению с поверхности, имеет малый дебит, пересыхает в жаркое время года и поэтому не представляет интереса для водоснабжения.

**Грунтовые безнапорные воды** образуются при фильтровании поверхностной или атмосферной воды и скопления ее над первыми от поверхности земли водоупорными пластами. Количество и качество этой воды также зависит от гидрометеорологических факторов и колеблется по сезонам года. Может залегать в двух формах: *грунтовый бассейн* – котловина с водоупорным ложем, заполненная грунтовой водой, не имеет выраженного течения; *грунтовый поток* – вода течет (фильтруется) по водоносному слою в сторону наклона водоупора и выходит на поверхность в виде родников. Грунтовые безнапорные воды широко используются для водоснабжения домов усадебного типа и дач в сельской местности. Имеют ограниченное применение, так как их санитарное качество не всегда удовлетворяет требованиям потребителя. Мощность водоносных горизонтов грунтовых вод может достигать значительных величин: от 10 м в верховьях рек до 70 м в нижнем течении.

На глубине водоносные горизонты (пласты) могут перекрываться водоупорами. В таких условиях грунтовые воды переходят в **межпластовые**, так как водоносная толща в вертикальном разрезе зажата между непроницаемыми для воды пластами. Верхний из этих пластов называется *водоупорной кровлей*, а нижний – *водоупорным ложем*. Межпластовые воды имеют устойчивый состав, наиболее надежны в санитарном отношении, так как защищены водоупором от поверхности земли, откуда возможно поступление загрязнений. Наиболее пригодны для водоснабжения ввиду стабильности запасов воды и химико-бактериологических характеристик. При значительном гидростатическом напоре эти воды могут выходить на дневную поверхность (фонтанировать). Фонтанирующие межпластовые воды еще называют *артезианскими* – от провинции Артезия во Франции, где впервые были пробурены фонтанирующие скважины.

**Подрусловые** (инфильтрационные воды) имеют качество грунтовых вод и являются промежуточными между подземными и поверхностными водами. Находят широкое применение, особенно в зарубежной практике, где отказываются от непосредственного приема воды из рек, и предпочитают забор частично очищенных естественным образом подрусловых вод.

**Родники** (ключи) – разновидность межпластовых вод, выходящих на поверхность земли, как правило, на склонах. Являются прекрасным водисточником, но имеют ограниченный дебит и могут использоваться только для небольших потребителей. Ключи делятся на нисходящие и восходящие. *Нисходящими* называют ключи, выходящие на земную поверхность

вследствие выклинивания (выхода) водонепроницаемого слоя по которому идет грунтовый поток. *Восходящие ключи* – это ключи, которые выходят на земную поверхность снизу их напорных горизонтов.

**2. По производительности** подземные источники можно классифицировать следующим образом:

- источники с минимальным расходом (расход менее 1 м<sup>3</sup>/с);
- средние источники (расход от 1 до 10 м<sup>3</sup>/с);
- крупные источники (расход более 10 м<sup>3</sup>/с).

**3. По температуре.** Неглубоко залегающие грунтовые воды испытывают сезонные колебания температуры, амплитуда которых лишь несколько ослаблена, а сроки повышения и понижения запаздывают по сравнению с сезонными температурами земной поверхности. Однако чем глубже залегают подземные воды, тем меньше колебания температуры, и, наконец, в поясе постоянных температур она становится неизменной в течение всего года и равной средней годовой температуре местности.

Воды, циркулирующие на большой глубине, нагреты выше среднегодовой температуры местности и тем выше, чем глубже они залегают. Здесь начинает действовать тепло, поднимающееся из недр земного шара. Если температура источника выше среднегодовой, то это показывает, что вода поднимается с глубин, превышающих глубину залегания пояса постоянной температуры.

Источники, поднимающиеся по трещинам с больших глубин, могут иметь очень высокую температуру, достигающую десятков градусов. Существуют горячие источники, связанные с магмой. Ими изобилуют все вулканические области. Таким образом, **по температуре подземных источников** их условно можно классифицировать следующим образом:

- исключительно холодные (температура воды ниже 0°С);
- весьма холодные (0 – 4°С);
- холодные (4 – 20°С);
- теплые (20 – 37°С);
- горячие (37 – 42°С);
- весьма горячие (42 – 100°С);
- исключительно горячие (более 100°С).

**4. По степени и характеру минерализации**, т. е. по количеству растворенных веществ и их составу, подземные воды различны. Характер минерализации подземных вод зависит во многом от состава пород, по которым эти воды циркулируют:

- пресные (содержание сухого остатка до 1 г/л);
- слабоминерализованные (1 – 3 г/л);

- средней минерализации (3 – 10 г/л);
- минерализованные (10 – 50 г/л);
- рассолы (более 50 г/л).

## **1.2. ТИПЫ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАХВАТА ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Устройство водозаборных узлов и их отдельных элементов и состав сооружений для приема подземных вод зависят от следующих условий:

- залегание;
- мощность;
- водообильность;
- глубина залегания;
- геологическое строение водоносных горизонтов;
- гидравлические характеристики потока (его напор, скорость, направление движения, связи с другими водоносными пластами, массивами и поверхностными водами);
- санитарное состояние территории;
- необходимость в искусственном восполнении запасов подземных вод и его конструктивного решения;
- наличие водоносных пластов, содержащих воду неудовлетворительного качества, намечаемой производительности и технико-экономических показателей.

В зависимости от конкретных условий для приема подземных вод могут применяться сооружения следующих типов:

- 1) вертикальный водозабор (скважина или шахтный колодец);
- 2) горизонтальный водозабор;
- 3) комбинированный водозабор;
- 4) лучевой водозабор;
- 5) каптажи.

Наряду с выбором типа водозабора важным является определение схемы его расположения на местности. Например, в долинах рек с постоянным поверхностным стоком и при возможности фильтрации речных вод в водоносный пласт водозаборные сооружения любого типа следует располагать вдоль берега реки. В артезианских бассейнах (вдали от поверхностных источников) схема расположения водозабора определяется технико-экономическим сравнением различных вариантов. При этом захват подземных вод стремятся осуществить возможно ближе к потребителю.

### **1.2.1. Вертикальный водозабор**

Вертикальный водозабор, является наиболее распространенным сооружением для захвата подземных вод в различных условиях.

В конструктивном отношении вертикальные водозаборы делятся на буровые скважины и шахтные колодцы.

**Водозаборные буровые скважины** (трубчатые колодцы) служат для приема безнапорных и напорных подземных вод, залегающих на глубине более 10 м. Это наиболее распространенный вид водозаборных сооружений для систем водоснабжения городов, сельских населенных пунктов и промышленных предприятий. Глубина скважины определяется глубиной залегания и мощностью водоносного горизонта и может лежать в пределах от 5 до 1000 м. Обычно, для водоснабжения используют скважины глубиной до 150 м, реже до 300 м, совсем редко до 800 м и более.

Их устраивают путем бурения в земле скважин, стенки которых крепят обсадными стальными трубами.

**Шахтный колодец** является наиболее распространенным типом местного водозабора. Применяют их для водоснабжения небольших поселков, животноводческих ферм, полевых станков и пастбищ, располагая в местах, где грунтовые воды пригодны для питья без специальной очистки. Шахтные колодцы используют, как правило, в первых от поверхности безнапорных водоносных пластах, сложенных рыхлыми породами на глубине до 30 м. Шахтный водозабор представляет собой вертикальный колодец (шахту), чаще всего круглой или квадратной формы с мощным креплением стенок. Нижнюю водоприемную часть его врезают в водоносный слой грунта. В поперечном сечении размер шахтного колодца (диаметр или ширина) колеблется от 0,8 до 1,5 м.

### **1.2.2. Горизонтальный водозабор**

Водозабор горизонтального типа позволяет эксплуатировать совсем маломощные водоносные пласты, и особенно эффективен, когда его располагают вблизи реки, озера или водохранилища. Горизонтальные водозаборы появились значительно раньше вертикальных. Они возникли в странах с засушливым жарким климатом.

Тип горизонтального водозабора определяется глубиной залегания подземных вод и характером водопотребления.

Горизонтальные водозаборы бывают траншейными: каменнощелебными и трубчатыми, а также в виде галерей или штолен, водопри-

емная часть которых расположена горизонтально. Каменно-щебеночные водозаборы применяют при захвате подземных вод на глубине 2 – 3 м от поверхности земли, преимущественно для временного водоснабжения; трубчатые – при глубине залегания подземных вод до 4 – 5 м, водосборные галереи – на глубине более 6 – 8 м.

Существует еще один древний тип горизонтального водозабора – кяризы. Кяризы – примитивно устроенные водозаборные сооружения, применяемые для сельскохозяйственного водоснабжения и орошения небольших земельных участков в полупустынных районах с невыдержанным залеганием водоносных горизонтов.

Особенностью кяриза является остроумное использование рельефа местности (рис. 2.2).

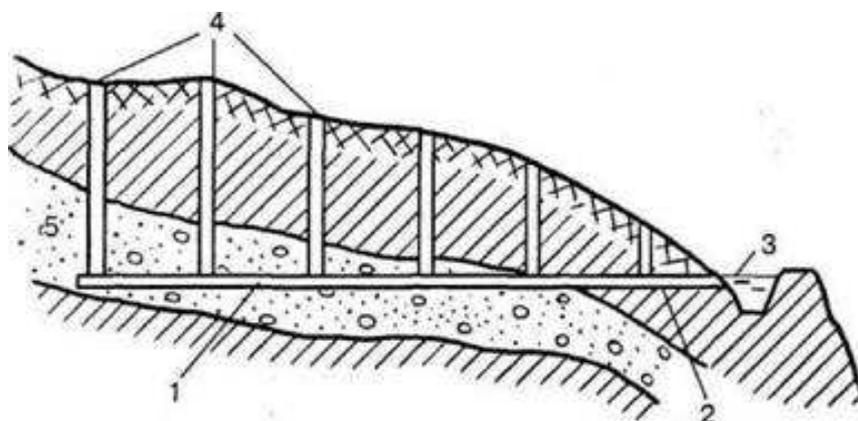


Рис. 2.2. Кяриз:

1 – водосборная штольня; 2 – водоотводящая галерея; 3 – водоприемный канал; 4 – смотровые колодцы

Обычно он строится на косогорном участке. В водоносном пласте устраивается водосборная штольня, укрепленная камнем или деревом. За водосборным участком идет водопроводящая галерея, уклон которой делается меньшим уклона поверхности земли. Благодаря этому собранная из грунта вода самотеком выводится наружу и поступает в водосборный канал или водоем. С поверхностью земли горизонтальную часть кяриза, соединяют вертикальные колодцы, которые устраиваются по длине водозабора с интервалом от 10 до 50 м. В процессе строительства эти колодцы служат, так же как, например, в угольных шахтах, для транспортировки рабочей силы, инструмента и выбранного грунта. Рабочих под землю обычно опускают на веревках, с их же помощью поднимают вверх бадьи и ведра с грунтом. После завершения строительства вертикальные колодцы становятся вентиляционными, смотровыми и ремонтными.

### **1.2.3. Лучевой водозабор**

Лучевой водозабор является разновидностью горизонтального и представляет собой вертикальный водосборный колодец (шахту), объединяющий горизонтальные скважины, находящиеся в водоносном пласте, которые радиально расходятся в виде лучей. Устраивают лучевые водозаборы в песчано-галечных отложениях с содержанием валунов не более 10% и 60%, фракций в грунте должно быть меньше 70 мм.

Первый лучевой водозабор был построен в Англии в 30-х годах XX века. В дальнейшем они получили широкое распространение во многих странах мира.

Этот тип водозабора устраивают как в маломощных пластах (до 5 м), так и в пластах мощностью до 20 м, кровля которых находится на глубине до 15 – 20 м от поверхности земли, а также при возникновении необходимости в использовании инфильтрационных вод (из рек и искусственных бассейнов).

### **1.2.4. Комбинированные водозаборы**

Комбинированные водозаборы состоят из горизонтальных дрен (галерей, штолен) с системой, соединенных с ними вертикальных скважин. Сооружения такого типа целесообразно применять при наличии, наряду с основным каптируемым водоносным горизонтом, более глубоких напорных вод, если эти пласты в отдельности не обеспечивают расчетной производительности водозабора либо по технико-экономическим показателям.

### **1.2.5. Каптажи**

Подземные воды, которые выходят на поверхность земли в виде родников, захватывают специальными приспособлениями – каптажными водозаборами, выполненными в виде водосборной камеры или неглубокого опускного колодца.

Для оборудования каптажного водозабора источник расчищают, что облегчит выход родниковой воды на поверхность. Для этого снимают верхние слои грунта и устраивают ограждающие стенки, которые препятствуют загрязнению родниковой воды поверхностными стоками. Захват воды из восходящего родника осуществляют через дно каптажной камеры, из нисходящего – через отверстие в стене камеры.

Каптажный водозабор не должен создавать подпор воды в роднике в его природном состоянии, иначе родниковая вода найдет новый более легкий выход. Наоборот, снижение уровня воды в роднике может привести к увеличению его дебита.

### **Самоконтроль по УЭ-1:**

1. Вспомните, на какой высоте устанавливается уровень воды в колодце, пробуренном в безнапорном водоносном пласте.
2. Вспомните, чем характеризуются межпластовые воды.
3. Вспомните, какие родники называются нисходящими.
4. Подумайте, как называются сооружения, предназначенные для перехвата нисходящих и восходящих родников.

## **УЭ-2. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ВОДОЗАБОРЫ**

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-2:**

1. Скважинные водозаборы:
  - характеристики движения подземных вод;
  - геолого-технический разрез скважины;
  - конструкции водозаборных скважин;
  - способы бурения скважин;
  - обустройство водозаборных скважин;
  - гидрогеологический расчет водозаборных скважин;
  - оборудование скважин;
  - сборные водоводы;
  - комплексные расчеты водозаборов подземных вод;
  - зоны санитарной охраны водозаборов подземных вод.
2. Шахтные колодцы:
  - схема шахтного колодца;
  - конструкция шахтного колодца из сборных железобетонных колец;
  - устройство шахтных колодцев;
  - водоприемная часть шахтных колодцев;
  - расчет шахтного колодца.

## **2.1. СКВАЖИННЫЕ ВОДОЗАБОРЫ**

### **2.1.1. Характеристики движения подземных вод**

Если в водоносном пласте сделать колодец или скважину и не откачивать из них воду, то она поднимется на высоту, соответствующую уровню безнапорных вод (в безнапорных пластах) или величине гидростатического давления (в напорных пластах).

Уровень воды в колодце при отсутствии откачек называется статическим уровнем воды. При откачке воды из колодца уровень в нем понижается, и в водоносном слое происходит движение воды к колодцу. Вокруг

колодца также происходит снижение уровня подземных вод по некоторой кривой, которую называют кривой депрессии. Область, ограниченная кривой депрессии, – депрессионная воронка. Расстояние от центра колодца, на котором наблюдается понижение уровня, называется радиусом влияния  $R$ , величина которого зависит от свойств водоносной породы.

Количество воды, притекающей к колодцу при откачке, называется дебитом (обычно выражается в  $\text{м}^3/\text{ч}$ ). Если количество откачиваемой воды будет равно притоку, то уровень в колодце займет постоянное положение. Такой уровень называется динамическим уровнем воды. Количество откачиваемой воды при понижении уровня в колодце на 1 м, называется удельным дебитом.

Колодец, прорезающий весь водоносный слой и достигающий до водоупора, называется совершенным, а не достигающий до водоупора – несовершенным.

### **2.1.2. Геолого-технический разрез скважины**

Проектирование водозаборного сооружения начинается с построения геолого-технического разреза скважины. Пример геолого-технического разреза приведен на рисунке 2.3.

В графе 1 указывается вертикальный масштаб. Литологический разрез отражает состав пород. На геологическом разрезе показывают мощность, условия залегания пород, гидрогеологические условия. Каждая порода имеет условное обозначение.

Проектируемые конструкции скважины и фильтра приводятся с указанием начального и конечного диаметров и глубины спуска обсадных колонн соответственно намеченному способу бурения.

### **2.1.3. Конструкции водозаборных скважин**

Применительно к подземным водам существуют следующие типы водозаборных скважин:

- 1) разведочные – для проведения откачек, оценки параметров водоносного горизонта, подсчета запасов подземных вод;
- 2) разведочно-эксплуатационные – для детальной и эксплуатационной разведки подземных вод;
- 3) эксплуатационные – для отбора воды на различные нужды;
- 4) наблюдательные – для наблюдения за режимом движения подземных вод;
- 5) нагнетательные – для пополнения запасов подземных вод и создания подземных водохранилищ (захоронения промышленных отходов).

Конструкция водозаборной скважины зависит от гидрологических условий, способа бурения, требований санитарной защиты и эксплуатации.

Масштаб	№ слоев	Описание пород	Геологический разрез и конструкция фильтра	Мощность слоев, м.			Способ бурения	Параметры обсад. кол.	Параметры фильтра
				от	до	всего			
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190	1	Песок м/з		0,00			Роторный	D426 0.0-12.0	
						22,00			22,00
	2	Песок разнозернистый		22,00	32,00	8,00			
	3	Глина		32,00	45,00	13,00			
	4	Супесь мореная		45,00	57,00	12,00			
	5	Песок м/з		57,00	73,00	16,00			
	6	Глина		73,00	85,00	12,00			
	7	Песок пылеватый		85,00	107,00	22,00			
	8	Супесь, суглинок		107,00	125,00	18,00			
	9	Глина		125,00	137,00	12,00			
	10	Песок м/з		137,00	176,00	39,00			
11	Глина		176,00	190,00	14,00				

Рис. 2.3. Геолого-технический разрез скважины

К конструктивным элементам относятся оголовки, кондуктор, техническая и эксплуатационная колонны труб, цементная защита (затрубная, подбашмачная), отстойник, фильтр, надфильтровая колонна и сальник.

Выбор и обоснование конструкции скважин – важнейшие мероприятия, от которых зависят качество выполняемых работ, их экономичность. Принципиальные конструкции скважин приведены на рисунке 2.4. Ствол скважины «а» представляет собой телескопическую систему труб. Такая конструкция скважины характерна для ударно-канатного бурения при малой ее глубине. При применении роторного бурения конструкция скважины чаще всего имеет вид «б».

Первая колонна 1, 10 – кондуктор предназначен для перекрытия неиспользуемых водоносных горизонтов, обеспечения вертикальности скважины и имеет длину до 50 м (для роторного бурения). При глубине скважины до 150 м кондуктор обычно не устанавливается, его роль в этом случае выполняет шахтовое направление.

Для обеспечения надлежащего санитарного режима скважины кондуктор стремятся забурить в верхний водоупорный слой. Пространство между кондуктором и следующей колонной обсадных труб цементируют (межтрубная цементация 11). Цементируют также пространство между кондуктором и стенкой скважины (затрубная цементация). Таким образом, грунтовые воды, собирающиеся на верхнем водоупорном слое, не будут проникать в ствол скважины. Все остальные элементы ствола называются колоннами обсадных труб (2, 3).

При бурении нарушается естественная защищенность водоносного горизонта и облегчается проникновение в него поверхностных вод и вод из вышележащих водоносных слоев по затрубным и межтрубным пространствам скважин, поэтому крепление скважины обсадными трубами должно устранить проникновение указанных вод в скважину и в водоносный горизонт. Эта за-

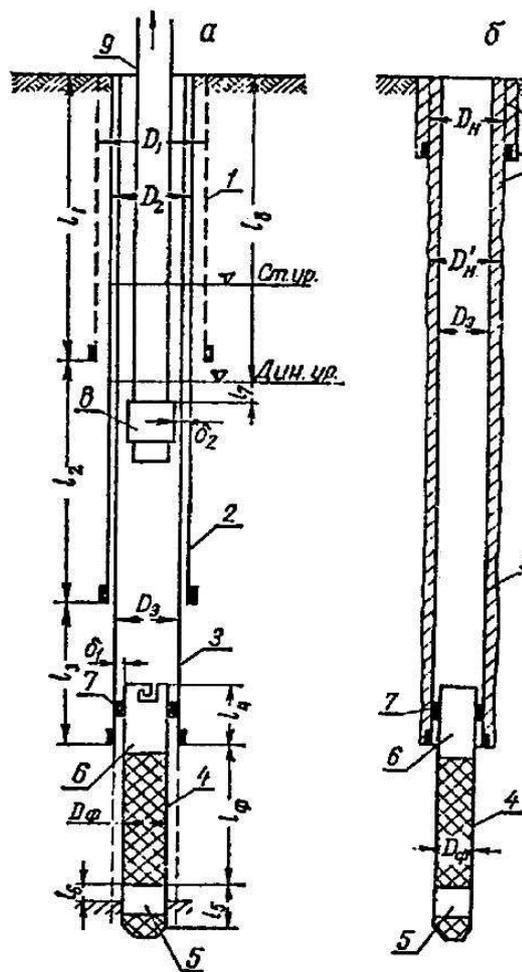


Рис. 2.4. Конструкции скважин:  
а – при малой глубине;  
б – при большой глубине скважины

дача решается различно в зависимости от мощности и состава пород, покрывающих намеченный к использованию водоносный горизонт, а также от способа бурения. Количество колонн обсадных труб и глубина их спуска имеют большое значение для обеспечения технической и санитарной надежности водозаборной скважины во время ее эксплуатации. При правильном креплении скважины обсадными трубами удлиняется срок ее службы и обеспечивается постоянство состава откачиваемой воды.

Самая нижняя обсадная колонна, в которой располагается водоподъемное оборудование (8), называется эксплуатационной колонной (3).

Ствол скважины изготавливают из стальных обсадных труб с толщиной стенок от 6 до 12 мм, которые соединяются между собой муфтами на конической резьбе. Наружный диаметр труб от 114 до 508 мм. Для крепления скважин диаметром более 500 мм применяют стальные электросварные трубы с толщиной стенок 7 – 12 мм, которые соединяются на сварке. Для крепления скважин глубиной до 250 м при свободной посадке обсадных труб (когда диаметр скважины несколько больше наружного диаметра трубы) допускается применение неметаллических труб с обязательной затрубной цементацией. При больших глубинах бурения в ряде случаев затрубную цементацию до устья можно заменить подбашмачной, если исключены гидравлическая связь водоносных горизонтов, потери напоров и загрязнение подземных вод.

Расстояние от низа или как его еще называют – башмака предыдущей колонны ( $l_1, l_2, l_3$ ) называется выходом колонны, величина которого зависит от способа бурения. При ударно-канатном бурении в сухих, связанных и полускальных породах выход колонн принимается 25 – 30 м. В тех же породах, но влажных и водоносных, выход – 35 – 45 м; при роторном бурении во всех видах пород выход до 1000 м. Следует стремиться к переходу с одной колонны на другую в водоупорном слое, причем башмак колонны заделывается на 3 – 5 м в водоупор.

Кольцевой зазор между колоннами цементируется на глубину не менее 3 м (межтрубная цементация). После этого внутренняя колонна 2 для экономии труб обрезается и извлекается из скважины. Неэксплуатируемые водоносные пласты должны перекрываться двумя колоннами труб с межтрубной цементацией.

В нижней части, в районе водоносного пласта, располагается фильтр 5, конструкция которого выбирается с учетом состава водоносной породы. Надфильтровая колонна 6 входит в эксплуатационную колонну, пространство между этих колонн заделывается сальником 7.

Вода из водоносного горизонта в скважину попадает через фильтрующую (рабочую) часть 4.

#### **2.1.4. Способы бурения скважин**

Зарождение собственно бурения, т. е. получения глубокого отверстия в недрах Земли, относят как минимум к VII в. до н. э. Философ Конфуций за 600 лет до н. э. уже сообщал о китайских скважинах глубиной 500 м. Этот рекорд глубины был побит только в XIX в.

Первые скважины были пробурены в XII в. во Франции.

В 30-х гг. XVIII столетия было освоено бурение скважин для водоснабжения городов Петербурга, Риги, Одессы и др.

В практике бурения скважин на воду наиболее широкое применение получили два способа – роторный и ударно-канатный.

Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки, и, следовательно, рациональную область применения.

Если в ударном бурении русская техника к началу Первой мировой войны получила известное развитие, то в области более прогрессивного метода – вращательного (роторного) бурения – наблюдалось некоторое отставание от зарубежных стран.

Роторный способ бурения был впервые применен в 1901 г. в США и очень быстро получил там широкое распространение. Он позволил ускорить проходку скважин и уменьшить их стоимость по сравнению с ударным способом. Самая глубокая скважина, пробуренная методом роторного бурения в 1974 г. в Оклахоме (США), имеет глубину 9583 м.

В России первая скважина роторным способом была пробурена лишь в 1911 г. в Баку. Внедрялся этот способ медленно. В течение 1911 – 1920 гг. было пробурено роторным способом всего лишь 35 скважин.

##### **2.1.4.1. Роторный способ бурения**

Роторный способ является разновидностью вращательного бурения и заключается в разрушении породы забоя скважины буровым наконечником (долотом), которое получает вращение через колонну бурильных труб от ротора буровой установки. На практике применяются два способа роторного бурения: с прямой и обратной промывкой. Роторный способ бурения рекомендуется для бурения скважин любой глубины в хорошо изученных гидрогеологических условиях.

Бурение роторным способом производится при помощи специальных станков с мачтой высотой до 25 м в следующей последовательности. Планируется площадка размером 8 на 12 м, отрывается шурф глубиной около 1 м, в который устанавливается кондуктор. Пространство между стенками шурфа и кондуктором заливается бетоном. Буровой агрегат монтируется над кондуктором. Разрушение породы производится долотами. Для мягких

пород применяют долота «рыбий хвост» (разновидность двухлопастных), для твердых пород – шарошечные долота. Долота вращаются на бурильных трубах со скоростью 100 – 200 об/мин. По окончании бурения на заданную глубину стенки скважины крепят обсадными трубами.

При роторном бурении с прямой промывкой (рис. 2.5) через колонну бурильных труб грязевым насосом к забою скважины подводится промывочная жидкость. В устойчивых скальных породах – это вода, в остальных – глинистый раствор.

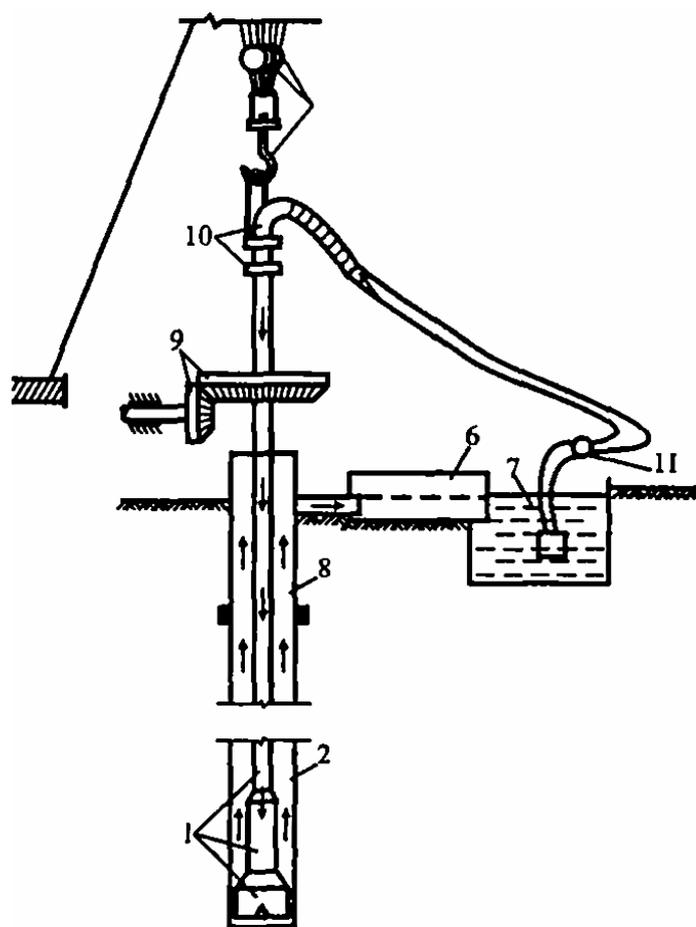


Рис. 2.5. Роторный способ бурения с прямой промывкой:

1 – буровой снаряд; 2 – скважина; 6 – лоток циркуляционной системы; 7 – отстойник глинистого промывного раствора; 8 – кондуктор; 9 – ротор; 10 – вертлюг-сальник; 11 – грязевый насос

Применяются следующие способы освоения водоносных пластов:

– физический способ – нагнетание воды в пласт, продувка воздухом, виброразглинизация, электрогидравлическая обработка пласта, ультразвуковые воздействия, использование ершей и др.;

– химический – соляно-кислотная обработка, применение реагентов и ПАВ;

– физико-химический – взрыв с инъекцией в пласт кислот, ПАВ, электрохимическая обработка фильтра и др.

Роторный способ бурения с прямой промывкой применяется при следующих условиях:

1. В рыхлых и скальных породах при любой глубине скважин с начальным диаметром до 500 мм на горизонты подземных вод, обладающие большими напорами, с промывкой глинистым раствором.

Для приготовления глинистых растворов рекомендуется использовать монтмориллонитовые глины (бентониты), образующие с водой коллоидный раствор, а также глины, содержащие небольшое количество гипса и других солевых примесей.

Для приготовления глинистых растворов, как правило, не следует применять глины, содержащие песчаные частицы: крупнее 0,1 мм – более 6%, крупнее 0,05 мм – более 12%, мельче 0,001 мм (глинистая составляющая) – менее 40 – 50%.

2. В скальных породах на ненапорные водоносные горизонты при условии применения в качестве промывной жидкости чистой воды.

Основные достоинства роторного бурения с прямой промывкой чистой водой:

- отсутствие глинизации водоносных горизонтов;
- возможность бурения в зимних условиях без утепления.

Недостатки – небольшая скорость бурения.

Основные достоинства роторного бурения с промывкой глинистым раствором:

- относительно большая скорость бурения мягких пород;
- значительная экономия обсадных труб.

Недостатки:

- глинизация водоносных горизонтов и невозможность попутного опробования воды в процессе бурения;
- необходимость утепления при работе в зимних условиях.

Методы разглинизации скважин, несмотря на их многообразие, недостаточно эффективны и трудоемки. Это привело к разработке усовершенствованного способа роторного бурения с обратной промывкой, в котором в качестве промывочной жидкости используется чистая вода.

Роторный способ с обратной промывкой применяется для бурения скважин глубиной до 300 м и диаметром до 1000 мм в породах без включения валунов и большого количества крупной гальки.

Достоинства роторного способа бурения с обратной промывкой:

- относительно большая скорость бурения;
- отсутствие глинизации водоносных горизонтов.

Недостатки:

- требуется большое количество воды;
- бурение возможно только в устойчивых породах;
- необходимость утепления при работе в зимних условиях.

На рисунке 2.6. показана схема роторного бурения с обратной промывкой. Вода из отстойника поступает в ствол скважины, откуда вместе со шламом через отверстие в долоте засасывается в бурильные трубы и сбрасывается в отстойник.

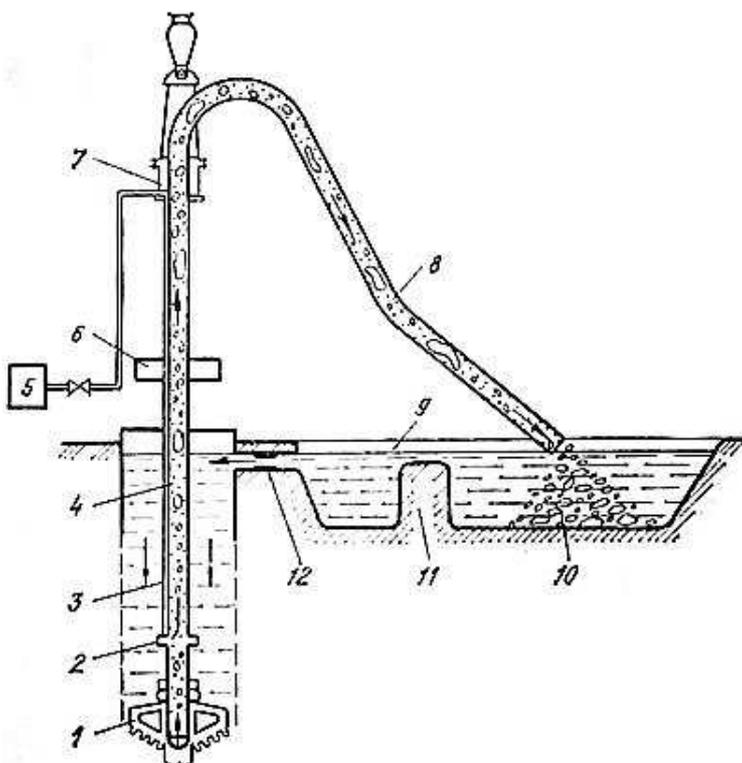


Рис. 2.6. Схема бурения с обратной промывкой при использовании эрлифта для создания циркуляции промывочной жидкости:

1 – долото; 2 – смеситель; 3 – воздушные трубы; 4 – бурильная колонна; 5 – компрессор; 6 – ротор; 7 – вертлюг; 8 – рукав; 9 – отстойник; 10 – буровой шлам; 11 – перемычка; 12 – желоб

#### 2.1.4.2. Ударно-канатный способ бурения

Ударно-канатное бурение – самый древний вид бурения, который до сих пор широко используется. Отличительные особенности скважин, пробуренных этим способом, заключаются в сохранении высоких дебитов и больших сроков их службы (иногда 70 – 80 лет и более). В настоящее время в Беларуси ударно-канатный способ бурения артезианских скважин вытесняется роторным способом бурения. Однако за рубежом (в США, Великобритании, ФРГ) многие фирмы до сих пор отдают ему предпочтение.

Сущность способа заключается в том, что порода в скважине разрушается при ударах специального инструмента (долота), прикрепленного к канату.

Бурение производится при помощи специальных буровых станков в следующей последовательности. Выравнивается площадка размером 10 на 15 м и устанавливается станок. В месте заложения скважины отрывается шурф глубиной до 1,5 м. Первая обсадная труба (кондуктор) забивается на глубину 3 – 5 м, она возвышается над площадкой на высоту 0,5 м. Пространство вокруг трубы забутовывается камнями и заливается жидким цементом.

В практике ударно-канатного бурения применяют следующие четыре типа долот: двутавровое, округляющее, крестовое и плоское.

Двутавровые долота используют для бурения в вязких и средней твердости породах.

Округляющие долота применяют для бурения твердых и трещиноватых пород. Долота этой конструкции обеспечивают округление стенок скважины и в процессе бурения, а боковые перья долота защищают лезвие от быстрого износа.

Крестовые долота используют при бурении трещиноватых пород и валунно-галечниковых отложений, чтобы предотвратить прихват снаряда.

Плоские долота предназначены для бурения мягких пород.

Желонки применяют для бурения в песках и чистки скважин в процессе бурения. В зависимости от назначения существуют разные типы желонки, наибольшее распространение получили одностворчатые желонки. Желонка двустворчатая предназначена в основном для удаления разбуренной породы забоя. Желонка с полусферическим клапаном и копьём обеспечивает сбор разжиженной массы за счет плотного закрытия клапана.

Схема работы станка для ударно-канатного бурения показана на рисунке 2.7. Станок ударно-канатного бурения имеет тяжелый (1000 – 3000 кг) буровой снаряд 1 подвешенный на канате 2. Кривошипно-шатунный механизм 3 с помощью оттяжного блока 4 периодически поднимает и опускает буровой снаряд, который лезвием долота,

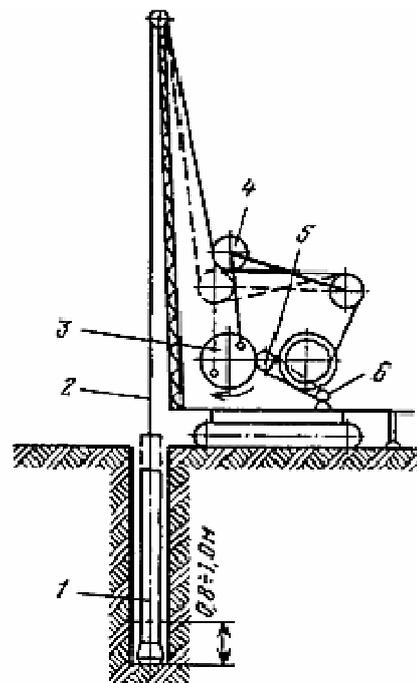


Рис. 2.7. Схема ударно-канатного бурения

имеющим форму клина, наносит удары по породе забоя. Накапливаемая при падении кинетическая энергия при ударе долота по породе расходуется на ее разрушение. Привод всех механизмов осуществляется через главный вал 5 от двигателя 6 с помощью муфт и шкивов, что позволяет независимо включать любой механизм станка.

Для получения скважины круглого сечения и равномерного разрушения породы в забое долото с ударной штангой после каждого удара во время его подъема над забоем скважины поворачивается на угол от 15 до 60°. При подъеме бурового снаряда канат натягивается и раскручивается, что приводит к поворачиванию бурового снаряда. При ударе снаряда о забой натяжение каната ослабевает, и замок, соединяющий канат со штангой (долотом), поворачивается под действием закручивающих усилий каната.

По мере накопления на забое разрушенной породы (шлама) эффективность ударов долота ослабевает. Тогда выключают ударный механизм и извлекают буровой снаряд из скважины. Для удаления из забоя скважины разрушенной породы применяют желонку.

Желонка представляет собой отрезок трубы с заостренным нижним краем, которая подвешивается на канат. Желонка опускается в скважину, как и долото. При этом порода плотно набивается внутрь желонки. Затем она извлекается на поверхность и порода из нее выбивается. Желонками можно одновременно разбуривать и поднимать грунт слабых пород. Для подъема водонасыщенных и мелкозернистых пород применяют желонки с клапанами в нижней части. Клапан не дает возможности выпасть грунту из желонки.

Стенки скважины крепятся буровыми трубами. В плотных породах в начале разбуривают грунт, а затем в скважину свободно опускают обсадную трубу (свободная посадка). В рыхлых породах опускают или забивают обсадные трубы с опережением забоя скважины (принудительная посадка). При забивке на верхний конец трубы надевают забивную головку, которая принимает на себя удар забивного снаряда и передает его всей колонне труб. При большой глубине увеличивается трение труб о грунт. По мере углубления обсадной колонны сопротивление пород увеличивается и на глубине 30 – 50 м продвижение колонны прекращается. Дальнейшее углубление скважины проводят долотом и обсадными трубами меньших диаметров. Обычно разность диаметров двух смежных колонн обсадных труб при ударно-канатном бурении принимают около 50 мм. Новую колонну обсадных труб меньшего диаметра удается погрузить в породы (ни-

же башмака предыдущей колонны) также на 30 – 50 м. Расстояние по оси скважины между башмаками двух смежных колонн обсадных труб называется выходом. Вследствие малого выхода скважины ударного бурения приходится закреплять несколькими колоннами обсадных труб, и конструкция скважины получается телескопического вида.

К преимуществам ударно-канатного способа относится вскрытие водоносного горизонта без применения глинистого раствора. Хорошие результаты получаются при вскрытии слабонапорных и безнапорных водоносных горизонтов. К недостаткам следует отнести низкие скорости бурения и большой расход обсадных труб, вследствие чего общее количество скважин пробуренных ударно-канатным способом в сельском хозяйстве составляет не более 10%. Опыт работы показал, что наиболее рационально использовать ударно-канатное бурение для проходки скважин глубиной до 100 – 150 м с целью вскрытия слабонапорных водоносных горизонтов.

При бурении скважин глубиной более 150 м в сложных гидрологических условиях применяют комбинированный (ударно-канатный и роторный) способ бурения.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1

На практических занятиях предлагается:

1. Определиться с выбором способа бурения водозаборной скважины.
2. Разработать конструкцию скважины.

Исходные данные принять по вариантам:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Глубина скважины	80	160	90	180	70	170	100	200	110
Дебит, м <sup>3</sup> /ч	16	60	80	20	40	50	70	30	100

Рекомендации к выполнению задания:

1. Исходя из заданной глубины скважины и характеристики водоносных пород, которые приняты условно, как твердые трещиноватые, принять способ бурения скважины. При выборе способа бурения руководствоваться [1, приложение А, табл. А1].

2. По проектному дебиту скважины выбрать насосный агрегат, обеспечивающий подачу данного дебита (приложение, табл. ПЗ).

3. В соответствие с предполагаемым размером погружного насоса задать диаметр эксплуатационной колонны труб.

4. Разработать конструкцию скважины исходя из принятого способа бурения, руководствуясь вышеизложенным материалом.

### **2.1.5. Обустройство водозаборных скважин**

Водозаборная скважина состоит из трех основных частей: водоприемной части, эксплуатационной колонны труб и оголовка.

Водоприемная часть служит для приема воды из водоносного пласта.

Эксплуатационная колонна труб служит для размещения в ней водоподъемного оборудования. Кроме того, через эксплуатационную колонну осуществляется подъем и опускание фильтра.

Оголовок предохраняет колодец от загрязнений.

#### **2.1.5.1. Водоприемная часть**

Водоприемная часть – наиболее важный и ответственный элемент скважины. Нормальная его работа в значительной степени зависит от правильности конструкции и устройства водоприемной части.

Водоприемная часть скважины может быть бесфильтровой или оборудована фильтром определенной конструкции.

К фильтру предъявляются следующие требования: он должен иметь достаточную механическую прочность и устойчивость против коррозии; иметь скважность не менее 20 – 25 % и предельно-допустимые размеры отверстий (по условиям прочности и предотвращения пескования скважины при эксплуатации). Под скважностью понимается отношение суммарной площади отверстий для пропуска воды к площади всей боковой поверхности рабочей части фильтра.

Выбор конструкции фильтра осуществляется в зависимости от характеристик пород водоносных пластов [1].

Фильтр состоит из трех основных частей:

- надфильтровая часть;
- собственно фильтровая или рабочая часть фильтра;
- отстойная часть.

Надфильтровая часть служит для закрепления фильтра в обсадной трубе и имеет замок для опускания (подъема) фильтра в скважину. Верх надфильтровой части должен быть выше башмака обсадной трубы не менее трех метров при глубине скважины до 50 м, и не менее пяти метров – при большей глубине скважины. Между обсадной трубой и надфильтровой

частью устанавливается сальник, предотвращающий поступление воды в скважину, минуя фильтр.

Фильтровая или рабочая часть фильтра служит для процеживания воды и предохранения скважины от заполнения водоносной породой.

Отстойная часть фильтра представляет собой отрезок глухой трубы длиной 0,5 – 1 м, но не более 2 м.

По конструкции каркаса рабочей части фильтры бывают трубчатые и стержневые (рис. 2.8). Водоприемной фильтрующей поверхностью у них служат боковая поверхность самого каркаса, проволочная обмотка, штампованный лист, металлические либо пластмассовые сетки, гравийная или песчано-гравийная обсыпка, подаваемая на забой скважины, такая же обсыпка в кожухе вокруг отдельных звеньев рабочей части каркаса (кожуховые фильтры), пористый бетон (блочные фильтры).

В гравийных фильтрах в качестве обсыпки применяют песок, гравий и песчано-гравийную смесь. Размер проходных отверстий фильтра принимают равным среднему диаметру частиц слоя обсыпки, примыкающего к его стенкам. Толщину каждого слоя обсыпки гравийных фильтров принимают не менее 30 мм, если фильтры собирают на поверхности, и не менее 50 мм, если их создают в забое скважины.

Размеры фильтра определяют исходя из условия создания допускаемых скоростей движения воды при поступлении ее из водоносного пласта в скважину:

$$Q_{\max} \leq F \cdot V_{\phi}, \quad (2.1)$$

где  $Q_{\max}$  – максимальный расход воды, забираемый из скважины, м<sup>3</sup>/сут;  
 $V_{\phi}$  – допускаемая скорость из пласта в фильтре (входная скорость), м/сут, которую определяют:

– для дырчатых, щелевых, проволочных и сетчатых фильтров

$$V_{\phi} = 65 \sqrt[3]{K_{\phi}}, \quad (2.2)$$

– для гравийных и блочных фильтров

$$V_{\phi} = 1000 K_{\phi} \left( \frac{d_{50}}{D_{50}} \right)^2, \quad (2.3)$$

$D_{50}$ ,  $d_{50}$  – размеры частиц, мельче которых соответственно в составе обсыпки и водоносной породы содержится 50%.

$K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации водоносной породы, м/сут.

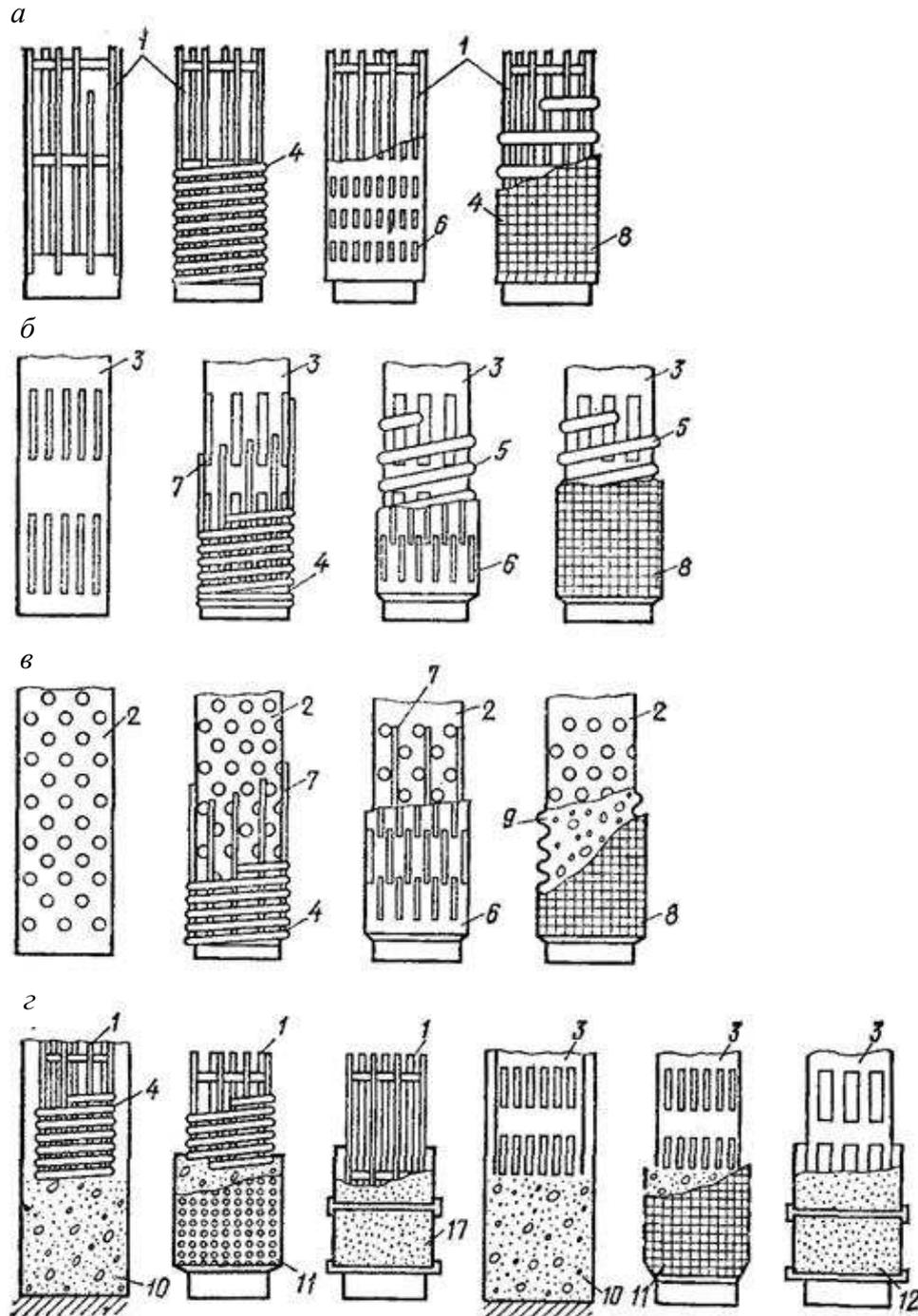


Рис. 2.8. Основные схемы конструкций фильтров водозаборных скважин:

*a* – на основе стержневых каркасов; *б* – на основе трубчатых каркасов со щелевой перфорацией; *в* – на основе трубчатых каркасов с круглой перфорацией; *г* – гравийные фильтры;

1 – стержневой каркас на опорных кольцах; 2 – трубчатый каркас с круглой перфорацией; 3 – щелевой трубчатый каркас; 4 – проволочная обмотка из нержавеющей стали; 5 – опорная проволочная спираль; 6 – лист, штампованный из нержавеющей стали; 7 – опорные проволочные стержни под проволочную обмотку и лист; 8 – сетка из нержавеющей стали или латуни; 9 – сетка подкладная, синтетическая; 10 – рыхлая обсыпка; 11 – гравийная обсыпка в кожухе; 12 – блочный фильтр

Площадь фильтрующей поверхности фильтра, м<sup>2</sup>

$$F_{\phi} = \pi \cdot D_{\phi} \cdot l_{\phi}, \quad (2.4)$$

где  $D_{\phi}$  – диаметр фильтра, м;  
 $l_{\phi}$  – длина рабочей части фильтра, м.

В водоносных пластах мощностью до 10 м рабочую часть фильтра следует принимать равной этой мощности. При мощности водоносного пласта более 10 м длину рабочей части фильтра устанавливают в соответствии с расчетом.

В гравийном фильтре за  $D_{\phi}$  принимают диаметр внешнего контура обсыпки, т. е. диаметр цилиндрической поверхности водоносной породы, прилегающей к фильтру.

В твердых устойчивых водоносных породах (скальных) забор воды может осуществляться без применения фильтров. В этом случае буровую скважину доводят до водоносного пласта. Если над водоносным пластом залегают пески, которые могут проникать в колодец под башмаком эксплуатационной колонны, необходимо ее конец закрепить цементным тампонажем. Ниже эксплуатационной колонны в водоносном пласте выбуривают скважину, не закрепляя ее стены трубами. Для увеличения трещиноватости пласта и улучшения условий притока к колодцу иногда прибегают к торпедированию скважины. Торпедированием называется взрыв в забое скважины некоторого заряда взрывчатого вещества.

Торпедирование недопустимо при залегании вблизи забоя скважины водоносного пласта с водой плохого качества или сухого грунта с большей водопроницаемостью, так как это может ухудшить качество воды или уменьшить дебит колодца. В рыхлых породах оно нецелесообразно.

В некоторых случаях бесфильтровые скважины бурят и для забора воды из песчаных водоносных пород. В этих условиях скважину бурят до водоносного горизонта и извлекают из него песок в количестве, достаточном для создания полости (воронки), объем которой обеспечивает требуемое поступление воды в скважину без пескования.

Расчетная схема водоприемной воронки приводится на рисунке 2.9.

Требуемый радиус водоприемной воронки, м, определяется по формуле

$$R_{\phi} = \sqrt{\frac{q}{\pi \cdot V_0 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \phi}}}, \quad (2.5)$$

где  $q$  – дебит бесфильтровой скважины, м<sup>3</sup>/сут;  
 $V_0$  – допустимая скорость фильтрации на границе выхода грунтового потока в воронку, м/сут;  
 $\phi$  – угол естественного откоса песка под водой.

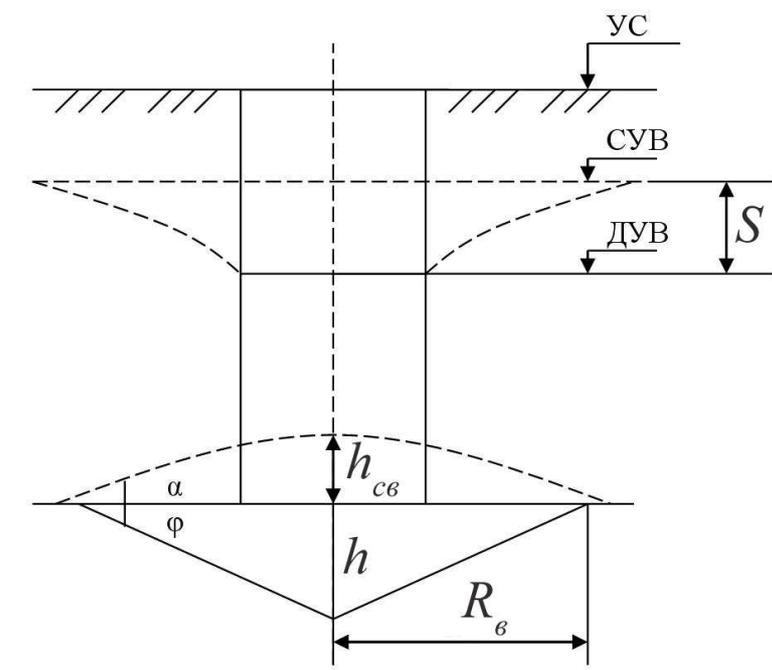


Рис. 2.9. Расчетная схема водоприемной воронки:

$S$  – глубина понижения уровня воды;  $h$  – глубина водоприемной воронки;  $R_в$  – радиус водоприемной воронки;  $\varphi$  – угол естественного откоса водоносного песка;  $h_{св}$  – высота свода обрушения;  $\alpha$  – угол внутреннего трения грунта кровли; УС – уровень среза земли; СУВ – статический уровень воды; ДУВ – динамический уровень воды

Величина  $V_0$  определяется по формуле

$$V_0 = K_\varphi \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot (1 - \rho), \quad (2.6)$$

где  $K_\varphi$  – коэффициент фильтрации водоносного грунта, м/сут;

$\eta_1$  – коэффициент запаса ( $\eta_1 = 0,7 - 0,8$ );

$\eta_2$  – коэффициент уменьшения допускаемых уклонов. Он зависит от угла естественного откоса;  $\eta_2 = 0,84$  для  $\varphi = 25^\circ$ ;

$\rho$  – пористость водоносного песка, в долях (принять  $\rho = 0,38$ ).

Высота водоприемной воронки, м, определяется по формуле

$$h = R_в \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.7)$$

Высота свода обрушения, м, определяется по формуле

$$h_{св} = \frac{R_в}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (2.8)$$

где  $\alpha$  – угол внутреннего трения глинистого грунта кровли,  $\operatorname{tg} \alpha = 0,78$ .

Допустимый радиус водоприемной воронки определяется из условия необрушения кровли:

$$R_{дон} \leq \frac{\gamma \cdot (U_{ст} - S) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{(1 - P_{кр}) \cdot \gamma_{кр} + \gamma \cdot P_{кр}}, \quad (2.9)$$

где  $U_{ст}$  – статический напор воды в скважине, м;  
 $S$  – глубина понижения уровня воды в скважине, м;  
 $P_{кр}$  – пористость породы кровли (в долях). Принимаем  $P_{кр} = 0,2$ ;  
 $\gamma_{кр}$  – удельная плотность породы кровли, т/м<sup>3</sup>;  $\gamma_{кр} = 2,73 - 2,92$ ;  
 $\gamma$  – удельный вес породы ( $\gamma = 1$  т/м<sup>3</sup>).

Если  $R_{дон} < R_в$ , то расчет закончен, и значит скважина удовлетворяет требованиям устойчивости кровли.

Если  $R_{дон} > R_в$ , то принимается окончательный радиус  $R_{дон}$  и для него окончательно находится  $h$ . Объем каверны ориентировочно определяется по формуле круглого прямого конуса:

$$V_{к} = \frac{1}{3} \pi R_в^2 h.$$

Необходимым условием сооружения бесфильтровых скважин является наличие устойчивой кровли над водоносным горизонтом, а в случае кровли, сложенной глинами, наличие поддерживающего ее напора подземных вод.

К основным преимуществам бесфильтровых скважин относятся следующие:

- долговечность и надежность работы;
- высокие и устойчивые (во времени) дебиты; они значительно превышают дебиты скважин с фильтрами;
- возможность отбора воды из пылеватых, глинистых и тонкозернистых песков с низкой проницаемостью;
- сокращение глубины скважины;
- малый расход труб;
- низкие строительные и эксплуатационные расходы;
- резкое уменьшение трудоемкости и затрат при ремонте.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2

На практических занятиях предлагается:

1. Определиться с выбором конструкции фильтра.
2. Выполнить расчет фильтра.

Исходные данные принять по вариантам:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Водоносная порода	песок с/з	песок м/з	песок кр/з	гравий с/з	гравий кр/з	гравий м/з	галечник	песок с/з	песок кр/з
Дебит, м <sup>3</sup> /ч	20	40	60	16	70	100	50	45	110

Рекомендации к выполнению задания:

1. Исходя из характеристики водоносной породы выбрать конструкцию фильтра в соответствии с рекомендациями [1, приложение А, табл. А1].
2. Выполнить расчет фильтра, руководствуясь материалом, изложенным в модуле М-2 (п. 2.1.5.1).

#### 2.1.5.2. Эксплуатационная колонна труб

Последняя колонна обсадных труб, закрепляющих стенки водоразборной скважины от обвала, называется эксплуатационной. В этой колонне размещается водоподъемное оборудование. Кроме того, подъем и опускание фильтра при его смене невозможны без устройства эксплуатационной колонны.

Таким образом, конечный диаметр водозаборной скважины устанавливается в зависимости от выбранного диаметра фильтра с учетом поперечных габаритов водоподъемного оборудования.

Диаметр эксплуатационной колонны при использовании насоса с погружным электродвигателем должен быть равным номинальному диаметру насоса, а при использовании полупогружного насоса – на 50 мм больше номинального диаметра этого насоса.

Особое внимание должно быть обращено на плотность соединения эксплуатационной колонны труб с фильтром. Значительное количество аварий на скважинах объясняется проникновением песка в колодец через неплотное соединение фильтра с эксплуатационной колонной.

#### 2.1.5.3. Оголовки трубчатого колодца

Основное назначение оголовка трубчатого колодца – наиболее удобное в эксплуатационном отношении размещение всех устройств по добычу воды из колодца и контролю за его работой. Оголовок также должен защищать трубчатый колодец от попадания в него различных поверхностных загрязнений.

Конструкция оголовка в значительной степени зависит от способа забора воды из трубчатого колодца и должна обеспечивать удобство монтажа и демонтажа насосного оборудования и возможность замеров уровней воды в колодце.

Для герметизации стволов и опирания колонн водоподъемных труб погружных насосов типа ЭЦВ часто используются герметизированные оголовки (рис. 2.10). Герметизация скважин обеспечивается резиновым уплотнительным кольцом. В плитах оголовок предусмотрены сальники для пропуска электрокабелей и отверстие с пробкой для замера уровня воды с помощью электроуровнемера. При монтаже оголовки замоноличиваются бетоном. В состав оголовка входят устьевой патрубок, опорная плита, отводной патрубок.

Оголовок фонтанирующего трубчатого колодца должен обеспечивать регулирование производительности колодца. Наибольшую опасность для фонтанирующего колодца представляют гидравлические удары, возникающие вследствие внезапного прекращения разбора воды из колодца.

При устройстве оголовок фонтанирующих колодцев необходимо выполнять следующие требования:

1. Разборную трубу следует отводить на некоторое расстояние от скважины и заканчивать обязательно в регулирующем резервуаре, откуда потребитель получает воду. На разборной трубе, идущей от трубчатого колодца, необходимо ставить только медленно закрывающиеся задвижки.

2. Для предохранения трубчатых колодцев от гидравлических ударов, при небольшом свободном напоре в нем, верх эксплуатационной трубы поднимают выше отметки статического уровня воды в колодце. При значительном свободном напоре (более 5 – 7 м) стояк можно заменить воздушным колпаком.

### 2.1.6. Гидрогеологический расчет водозаборных скважин

Основная задача проектирования скважинного водозабора состоит в выборе рационального типа и схемы скважинной системы, т. е. определения оптимального числа скважин, расстояний между ними, их взаимного расположения на местности, конструкции фильтра, диаметров и трассировки трубопроводов, характеристик насосного оборудования с учетом возможной величины понижения уровня воды в скважинах.

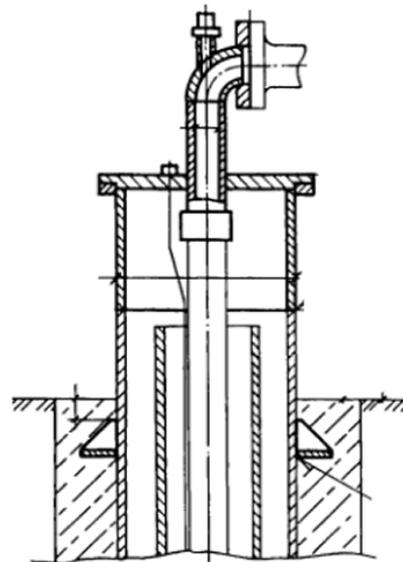


Рис. 2.10. Герметизированный оголовок

Указанные задачи решают на основе гидрогеологических расчетов по определению дебита скважин и понижения уровня воды в процессе эксплуатации, оценке взаимного влияния отдельных скважин при совместной их работе.

Количество проектируемых рабочих эксплуатационных скважин определяется из условия обеспечения суточной водопотребности объекта водоснабжения. Кроме рабочих, в состав скважинного оборудования водозабора должны входить резервные скважины [1].

При проведении гидрогеологических расчетов определяют расчетные понижения уровня и сопоставляют с допустимыми понижениями. При понижении расчетного уровня больше допустимого дебит скважин не может быть обеспечен. В этом случае необходимо увеличить число скважин или распределить их на большей площади.

Для определения допустимого понижения  $S_{дон}$ , зависящего от конструкции скважины, места положения фильтра, глубины установки насоса, мощности пласта и величины слоя воды, предложено несколько формул:

– для напорных пластов

$$S_{дон} \approx H - \left[ (0,3 \dots 0,5) m + \Delta H_n + \Delta H_\phi \right], \quad (2.10)$$

где  $H$  – напор над подошвой горизонта (высота от подошвы до статического уровня воды);

$\Delta H_n$  – максимальная глубина погружения нижней кромки насоса под динамический уровень в скважине, м;

$\Delta H_\phi$  – потери напора в скважине на входе через фильтр, м;

– для безнапорных пластов

$$S_{дон} \leq (0,5 \dots 0,7) H - \Delta H_n - \Delta H_\phi, \quad (2.11)$$

где  $H$  – первоначальная глубина воды до водоупора.

При построении расчетных схем исходят из того, что водоносный пласт (система, комплекс водоносных пластов) как в естественных условиях, так и в условиях эксплуатации водозаборов представляет собой единую физическую область, имеющую определенные внешние границы.

Условия включают в себя геологическое строение, структуру и свойства водоносных пластов, а также источники пополнения запасов подземных вод. Первые три фактора определяют условия залегания и литологический состав водоносных пластов и пород, граничащих с ними в плане

и вертикальном разрезе; водопроницаемость и водоотдачу; геометрические характеристики – площадь распределения и мощность водоносных пластов и контактирующих пород; форму внешних границ в плане и разрезе; остальные – инфильтрацию атмосферных осадков в водоносный пласт и конденсацию влаги; поступление в водоносный пласт поверхностных вод рек, водохранилищ, каналов и других водоемов и водотоков; фильтрацию из соседних водоносных горизонтов.

В расчетных схемах водоносных пластов выделяются границы, определяющие взаимодействие данного водоносного пласта с соседними водоносными и водоупорными породами в вертикальной плоскости. Характер питания определяется граничными условиями питания на кровле и подошве в виде модуля питания, рассматриваемого как объем воды, поступающей в единицу времени на единицу площади.

В безнапорных подземных водах питание водоносного пласта может происходить через свободную поверхность. Эти пласты также могут питаться через нижние слабопроницаемые породы.

Помимо рассмотренных граничных условий водоносные пласты подразделяются по граничным условиям в плане. Они зависят от геометрической формы боковых внешних границ пласта и условий его питания через них. При расчетах эти границы представляются в виде прямолинейных или круговых контуров. Существуют следующие типовые расчетные схемы: не ограниченный по площади распространения (бесконечный) водоносный пласт; полуограниченный (полубесконечный) пласт с одной прямолинейной границей; пласт, ограниченный двумя контурами, взаимно пересекающимися под прямым углом (пластиквадрант); пласт, ограниченный двумя контурами, взаимно пересекающимися под любым углом (пласт – угол); пласт, ограниченный двумя параллельными контурами, уходящими в бесконечность (пласт-полоса); то же, с одной границей (пласт – полуполоса); пласт, ограниченный прямолинейными контурами с четырех сторон (пласт – прямоугольник); пласт с круговым контуром (пласт – круг). Выбор той или иной схемы осуществляют на основании гидрогеологических данных, полученных в результате изысканий, или по аналогу близкорасположенных скважин. В соответствии со схемой используется та или иная расчетная зависимость для вычисления сопротивлений. Водоносные горизонты в зависимости от возможности поступления воды из поверхностных источников в них бывают открытыми и закрытыми.

### 2.1.6.1. Гидравлический расчет одиночной скважины

Для проведения гидравлических расчетов трубчатых колодцев предварительно проводятся изыскания, целью которых является установление глубины залегания и мощности водоносного пласта, его водопроницаемости, водоотдачи, характеристик грунтов и других данных.

Для совершенного одиночного трубчатого колодца в напорных водоносных пластах производительность (дебит), м<sup>3</sup>/ч, определяется по формуле Дюпюи:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot K \cdot m \cdot S}{\ln \frac{R}{r}} = \frac{2,73 \cdot K \cdot m \cdot S}{\lg \frac{R}{r}}, \quad (2.12)$$

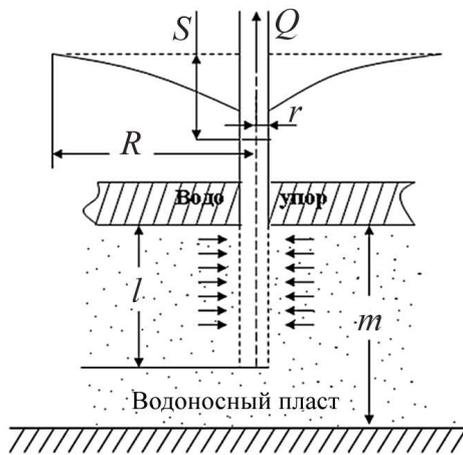


Рис. 2.11. Напорный несовершенный трубчатый колодец

где  $K$  – коэффициент фильтрации водоносных пород, м/сут;

$m$  – мощность водоносного пласта, м;

$S$  – максимально допустимое понижение уровня грунтовых вод, м;

$R$  – радиус влияния, м;

$r$  – радиус скважины (внутренний радиус эксплуатационной колонны), м.

Для несовершенного одиночного трубчатого колодца (рис. 2.11) в напорных водоносных пластах дебит, м<sup>3</sup>/ч, может быть найден по следующей зависимости:

$$Q = \frac{2\pi \cdot K \cdot m \cdot S}{\ln \frac{R}{r} + \zeta} = \frac{2,73 \cdot K \cdot m \cdot S}{\lg \frac{R}{r} + \zeta}, \quad (2.13)$$

где  $\zeta$  – дополнительное сопротивление, учитывающее фильтрационное несовершенство скважины.

$$\zeta = 2,3 \left( \frac{m}{l} - 1 \right) \lg \frac{4m}{r} - \frac{m}{2l} \cdot A, \quad (2.14)$$

где  $A$  – эмпирический коэффициент, зависящий от отношения  $\frac{l}{m}$ ;

$l$  – длина водоприемной части колодца (длина фильтра), в данном случае принято, что фильтр примыкает к кровле.

При весьма большой мощности водоносного пласта дебит несовершенного колодца можно определить по формуле

$$Q = \frac{2\pi \cdot K \cdot l \cdot S}{\ln \frac{1,32 \cdot l}{r}} = \frac{2,73 \cdot K \cdot l \cdot S}{\lg \frac{1,32 \cdot l}{r}}, \quad (2.15)$$

В безнапорных водоносных пластах производительность (дебит) определяется по следующим формулам:

– для совершенного одиночного трубчатого колодца

$$Q = \frac{\pi \cdot K \cdot S (2h_g - S)}{\ln \frac{R}{r}} = \frac{1,36 \cdot K \cdot S (2h_g - S)}{\lg \frac{R}{r}}; \quad (2.16)$$

– для несовершенного одиночного колодца

$$Q = \frac{\pi \cdot K \cdot S (2h_g - S)}{\ln \frac{R}{r} + \zeta} = \frac{1,36 \cdot K \cdot S (2h_g - S)}{\lg \frac{R}{r} + \zeta}, \quad (2.17)$$

где  $h_g$  – первоначальная высота воды в скважине, установившаяся до откачки.

Если водоносный слой изучен недостаточно, более надежным является расчет скважин на основе опытных откачек. В районе предполагаемого водозабора бурят разведочные скважины, и производят опытные откачки при различных производительностях насоса. Откачку производят до тех пор, пока расход не установится (при каждом значении расхода), затем измеряют расход и понижение при 3 – 5 значениях расхода.

#### 2.1.6.2. Гидравлический расчет взаимодействующих скважин

Для исключения взаимного влияния скважин расстояния между ними принимается не менее двух радиусов влияния  $R$ . В этом случае скважины рассчитываются как одиночные.

В практике проектирования скважин для нахождения радиуса влияния в рыхлых грунтах ориентировочно можно пользоваться эмпирическими формулами:

– для безнапорных вод при значении понижений не выше 40 – 50 м используют формулу И.П. Кусакина

$$R_g = 2S\sqrt{k \cdot m}; \quad (2.18)$$

– для напорных вод – формулу Зихардта

$$R_g = 10S\sqrt{k}; \quad (2.19)$$

– при недостаточном питании водоносного пласта движение в нем неустановившееся – дебит и понижение уменьшаются во времени. Для учета этого обстоятельства принимают зависимость радиуса влияния от времени:

$$R_g \approx 1,5\sqrt{a \cdot t}, \quad (2.20)$$

где  $t$  – срок эксплуатации скважин, сут. Обычно принимают срок эксплуатации равным 25 годам.

$a$  – коэффициент пьезопроводности, м<sup>3</sup>/сут, характеризующий скорость перераспределения подземных вод при откачке:

$$a = \frac{\kappa \cdot m}{\mu}, \quad (2.21)$$

где  $\mu$  – коэффициент водоотдачи.

Для уменьшения длины коммуникаций, соединяющих водозаборные скважины, улучшения условий их эксплуатации во многих случаях скважины приходится располагать на расстояниях меньше  $2R$ . Это приводит к тому, что при заборе воды группой скважин из одного водоносного пласта эти скважины становятся взаимодействующими. Это значит, что дебит одной скважины зависит от дебитов других скважин.

Степень взаимного влияния колодцев будет зависеть от расстояния между ними, мощности, водообильности, условий питания водоносного пласта, а также от характера водоносных грунтов. Кроме того, наличие и степень взаимодействия будет зависеть от количества отбираемой воды.

Пример расчета взаимодействия двух скважин показан на рисунке 2.12.

Для учета взаимодействия определяют коэффициенты снижения дебита каждой скважины:

$$a_1 = \frac{h_1}{S_1 - h_1}, \quad (2.22)$$

$$a_2 = \frac{h}{S - h}. \quad (2.23)$$

Удельный дебит каждой из взаимодействующих скважин будет равен:

$$q' = q_0 \cdot (1 - \Sigma a), \quad (2.24)$$

где  $q_0$  – удельный дебит скважины без учета влияния на нее других скважин.

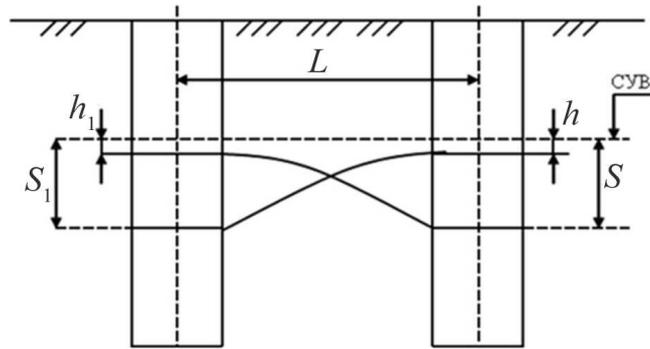


Рис. 2.12. Схема взаимодействующих скважин

Расчет группы взаимодействующих скважин заключается в определении их числа, производительности, расстояния между ними, понижения уровней.

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3

На практических занятиях предлагается выполнить расчет скважинного водозабора (из двух скважин).

Исходные данные принять по вариантам:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Глубина скважины, м	100	120	80	130	210	160	200	180	70
Отметка статического уровня относительно отметки земли	20	30	15	40	50	45	50	40	15
Мощность водоносного пласта, м	15	20	10	25	30	10	15	12	18
Породы водоносного пласта	супесь	песок м/з	гравий круп.	песок с/з	гравий сред.	гравий мелк.	песок к/з	супесь	песок к/з
Расстояние между скважинами $r$ , м	20	40	800	80	500	350	250	25	200
Понижение $S$ , м	25,0	25,0	15,0	25,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0

Рекомендации к выполнению задания:

1. По формулам (2.20) и (2.21) определить радиус влияния скважины. Коэффициент фильтрации и коэффициент водоотдачи принять по таблицам П.1 и П.4 соответственно (приложение).

2. Сравнив значения радиуса влияния скважины  $R$  и расстояния между ними уточнить, взаимодействуют ли эти скважины.

3. По уравнению кривой напоров:

$$h_R = H_0 - \frac{Q_c}{2\pi km} \ln \frac{R_e}{r},$$

где  $H_0$  – напор в водоносном пласте (расстояние от водоупора до отметки статического уровня), м;

$Q_c$  – дебит скважины, который принимаем равным  $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  
определить соответствующий напор  $h_R$  в водоносном пласте на расстоянии  $r$  от скважины при ее работе.

$m$  – мощность водоносного пласта;

$R_e$  – радиус влияния скважины, м;

$r$  – текущая координата точки в рассматриваемой области фильтрации.

4. Если скважины взаимодействуют, то определить коэффициент снижения дебита второй скважины по формуле (2.22).

### 2.1.7. Оборудование скважин

Над устьем водозаборных скважин устраиваются павильоны, предназначенные для размещения оголовка скважины, электродвигателя погружного насоса с трансмиссионным валом или горизонтального центробежного насоса, если скважины оборудуются этими типами насосов, приборов отопления, пусковой, контрольно-измерительной аппаратуры и приборов автоматики, а также части напорного трубопровода, на котором устанавливаются задвижки, обратный клапан, вантуз, пробно-спускной кран для отбора проб и трубопровод промывной воды с задвижкой, необходимой для сброса воды при пуске и промывке скважины.

Павильоны над скважинами могут быть наземными или подземными и приниматься, как правило, по типовым проектам, редко – по индивидуальным.

Подземные павильоны строятся обычно в сухих грунтах при оборудовании скважин насосами ЭЦВ. При установке насосов типа АТН и НА с двигателями над устьем скважины применяют, как правило, наземные павильоны. В тех случаях, когда водозаборные скважины располагаются на затопливаемых паводковыми водами поймах рек, павильоны строятся на подсыпке или под защитой дамб обвалования высотой, превышающей расчетный паводковый горизонт. Поверхность защитного обвалования укрепляется от размыва.

При оборудовании скважин горизонтальными насосами павильоны могут быть наземными или, при необходимости сокращения высоты всасывания, заглубленными при условии технико-экономического сравнения с насосными станциями, предусматривающими применение насосов ЭЦВ.

### 2.1.7.1. Выбор водоподъемного оборудования

Исходными данными, определяющими тип оборудования, являются фактические значения статического и динамического уровней, удельный дебит и дебит скважины. Кроме того, на выбор типа водоподъемного оборудования влияют диаметр эксплуатационной колонны скважины, необходимый напор над устьем скважины, наличие электроэнергии и т.п.

Все трубчатые колодцы, предназначенные для забора воды из подземных источников для выбора водоподъемного оборудования, можно условно разбить по значению динамического уровня на следующие основные группы.

1. С динамическим уровнем воды в скважине до 6 м. В этом случае целесообразнее применять центробежные насосы обычного исполнения (с горизонтальным расположением вала). Если подъем воды из скважин насосами затруднен или невозможен (скважина искривлена или пескует), применяют эрлифты или эжекторы. Однако КПД таких установок, как правило, низкий. Однако эрлифты, в случае необходимости одновременно с подъемом воды осуществлять отдувку газов, находят свое применение.

2. С динамическим уровнем воды в скважине от 6 до 10 м. Центробежные насосы обычного исполнения можно использовать при условии установки их в заглубленной насосной станции или в насосной шахте (глубиной до 4 – 5 м). В тех случаях, когда вода источника не содержит абразивных примесей, расход ее небольшой, а по условиям эксплуатации воду необходимо подавать на относительно большую высоту, предпочтение следует отдавать вихревым насосам.

3. С динамическим уровнем воды в скважине от 10 м и ниже. Наиболее распространенным способом подачи воды из таких скважин является использование специальных артезианских погружных насосов. Они делятся на 2 группы:

I. Насосы с погружными электродвигателями. Погружные насосные агрегаты типа ЭЦВ используют для подъема воды из скважин диаметром 100 мм и более. Общие технические условия на такие агрегаты установлены ГОСТ 10428-79 Е «Агрегаты электронасосные центробежные скважинные для воды. Общие технические условия». Согласно этому ГОСТу изготавливаются электронасосные агрегаты типа ЭЦВ для скважин с обсадными трубами диаметром 100 – 486 мм с подачей 0,63 – 1200 м<sup>3</sup>/ч и напором 12 – 680 м.

II. Насосы с электродвигателями над скважиной и трансмиссионным валом. Наиболее распространены насосные агрегаты типов АТН, НА и А. Скважинный насосный агрегат типа АТН имеет несколько колес, закрепленных на общем вертикальном валу, и несколько направляющих аппара-

тов. Вал насоса вращается в резиновых подшипниках, закрепленных внутри направляющих аппаратов. Такие насосы выпускают как с открытыми, так и с закрытыми колесами.

Насосы с закрытыми колесами обладают более высоким КПД, чем насосы с открытыми, но они не приспособлены для работы в скважинах, заполненных водой со значительными примесями песка. При остановке насоса песок, осаждающийся в напорном трубопроводе, может заклинить рабочие колеса в направляющих аппаратах.

Насосы с открытыми колесами работают и при высоком содержании песка в воде. Подачу таких насосов можно регулировать, меняя зазор между рабочими колесами и направляющими аппаратами. При увеличении зазора уменьшается подача и снижается КПД насоса.

Насосное оборудование подбирают по расходу и напору.

Расход насоса определяют по формуле

$$q = \frac{Q_p}{n_{раб}}, \quad (2.25)$$

где  $Q_p$  – расчетная производительность водозабора в целом, м<sup>3</sup>/ч;  
 $n_{раб}$  – число рабочих скважин.

Напор насосов равен

$$H = H_{геом} + \Sigma h, \quad (2.26)$$

где  $H_{геом}$  – геометрическая высота подъема воды, равная разности пьезометрических отметок в точке, куда подается вода, и динамического уровня воды в скважине;

$\Sigma h$  – потери напора от насоса до резервуара, которые учитывают потери напора в оголовке скважины, в напорных трубах внутри скважины и во внешних коммуникациях, в насосной станции (принимаются обычно от 2 до 3 м).

#### 2.1.7.2. Схемы оборудования скважин

Напорные линии насосных агрегатов оборудуются устройствами по замеру расходов воды, а также, если требуется, устройствами по защите водоводов от гидравлических ударов.

На рисунке 2.13 представлены схемы оборудования скважин насосами разного типа.

В качестве расходомеров применяются диафрагмы в комплекте с показывающим дифманометром или турбинные водомеры. Для продления срока службы турбинного водомера замеры расходов производят периодически, поэтому его следует устанавливать на обводных линиях в пределах павильона.

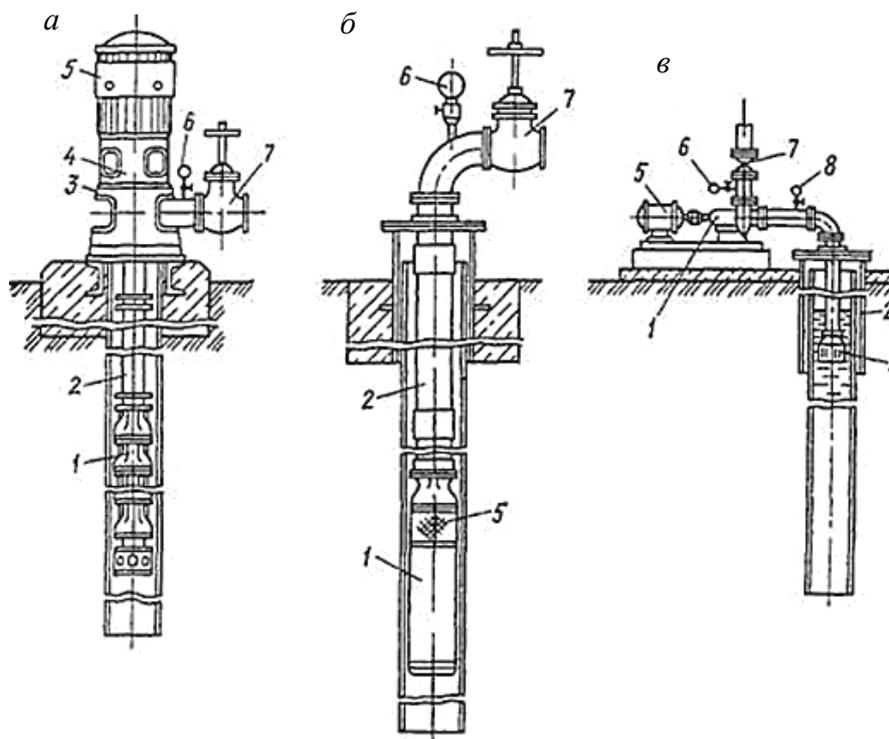


Рис. 2.13. Схема оборудования скважин:

*а* и *б* – насосная установка соответственно с трансмиссионным валом и погружным электродвигателем; *в* – схема оборудования скважины горизонтальным центробежным насосом;

1 – насос, 2 – водоподъемный трубопровод; 3 – опорное колено; 4 – пята привода; 5 – электродвигатель; 6 – манометр; 7 – задвижка; 8 – вакуумметр; 9 – приемный клапан

Для привода насоса ЭЦВ комплектно с ним поставляется станция управления с электродными датчиками уровней. Заводская схема станции управления обеспечивает работу погружного насоса в режиме автоматического или телемеханического управления. В соответствии с выбранной схемой насосная станция может работать одиночно или в группе в режиме автоматического управления с использованием различных командных датчиков.

### 2.1.8. Сборные водоводы

Сборные водоводы на водозаборах подземных вод предназначаются для транспортирования воды от водозаборных (каптажных) сооружений до сборных узлов (резервуаров или станций подготовки воды).

Сборные водоводы могут быть напорными, самотечными, напорно-самотечными и сифонными (при применении сифонного водозабора).

Схемы сборных водоводов в плане весьма разнообразны и зависят от расположения водозаборных (каптажных) устройств и их оборудования, от расположения сборных узлов, морфологических, геологических и гидро-геологических условий, схемы подачи воды потребителю, категории обеспеченности подачи воды, общей емкости резервуаров в системе водоснаб-

жения, материала применяемых труб и другого и могут быть линейными (тупиковыми), кольцевыми и парными.

Линейные водоводы наиболее распространены и применяются как при линейных (рис. 2.14), так и при площадочных или кольцевых схемах расположения скважин (рис. 2.15).

Линейные водоводы в одну нитку (рис. 2.14, *a*) применяются только при концевом расположении сборного узла, в случае, если допускается перерыв в подаче воды. Например, вторая категория надежности допускает перерыв в подаче воды не более чем на 6 ч, а третья категория – на 24 ч [1].

Наиболее часто проектируются линейные схемы в две и три нитки (рис. 2.14, *б, в*). При этих схемах в случае выхода из работы одной нитки на ремонт или при аварии обеспечивается подача воды на сборный узел по другим ниткам в размере 70% расчетного расхода воды. Линейная схема в четыре нитки может быть целесообразной при центральном расположении сборного узла на линейных (рис. 2.15, *б*) и площадных (рис. 2.15, *a*) водозаборах.

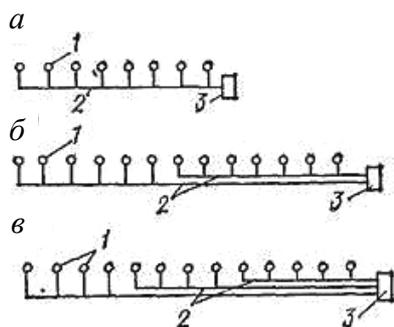


Рис. 2.14. Схема линейных сборных водоводов при линейном расположении скважин и концевом расположении сборного узла:

*a* – в одну нитку; *б* – в две нитки; *в* – в три нитки; 1 – водозаборы; 2 – сборные водоводы; 3 – сборный узел

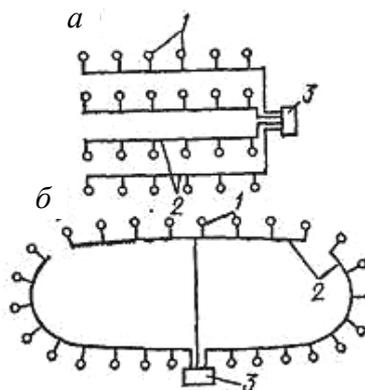


Рис. 2.15. Схема линейных сборных водоводов при площадочном (*a*) и кольцевом (*б*) расположении скважин:

1 – водозаборы; 2 – сборные водоводы; 3 – сборный узел

Кольцевые сборные водоводы могут применяться как при линейных, так и при кольцевых или площадных схемах расположения водозаборных сооружений (рис. 2.16). Парные сборные водоводы проектируются при большой производительности водозаборов и относительно коротких сборных водоводах (рис. 2.17).

При выборе схемы сборных водоводов устанавливается положение сборного узла, который может быть концевым, центральным или близким к этим положениям. Расположение сборного узла зависит от местоположения потребителя по отношению к створу водозабора, а при самотечных

сборных водоводах – кроме того и от рельефа местности по трассе. В зависимости от расположения сборного узла меняется в одном и том же случае длина сборных водоводов и водоводов от насосной станции второго подъема. Оптимальное решение находят технико-экономическим сравнением вариантов расположения сборного узла. Подсчетами определяют наименьшую протяженность и стоимость сборных водоводов и водоводов от насосной станции второго подъема, а также затраты энергии на подачу воды. Принимается вариант с меньшими приведенными затратами.

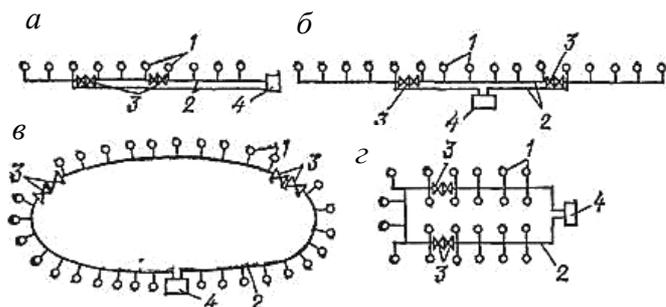


Рис. 2.16. Схемы кольцевых сборных водоводов:  
*а* – при линейном расположении водозаборных сооружений и концевом расположении сборного узла; *б* – при линейном расположении водозаборных сооружений и центральном расположении сборного узла; *в* – при кольцевом расположении водозаборных сооружений; *г* – при площадном расположении водозаборных сооружений;  
 1 – водозаборы; 2 – сборные водоводы; 3 – задвижки; 4 – сборный узел

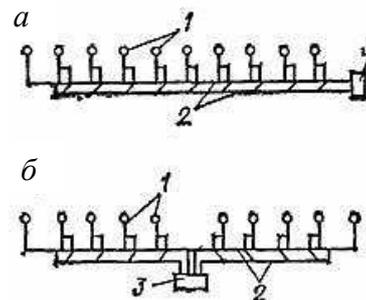


Рис. 2.17. Схемы парных сборных водоводов:  
*а* – при концевом расположении сборного узла; *б* – при центральном расположении сборного узла;  
 1 – водозаборы; 2 – сборные водоводы; 3 – сборный узел

При значительном количестве скважин чаще применяется центральное или близкое к этому расположение сборного узла, при 3 – 8 скважинах – концевое.

#### 2.1.8.1. Напорные сборные водоводы

Напорные сборные водоводы проектируются чаще, чем самотечные. Для устройства напорных водоводов применяются асбестоцементные, пластмассовые, напорные железобетонные, чугунные и стальные трубы. При выборе материала труб следует учитывать требования экономии металлических труб и коррозионные свойства воды.

Гидравлический расчет напорных сборных водоводов должен выполняться, как правило, с учетом характеристик насосов и скважин (дебита и понижения).

Выбор диаметров труб сборных водоводов надлежит производить на основании технико-экономических расчетов с учетом насосного оборудования на водозаборных скважинах.

Диаметры напорных водоводов во избежание большой разницы в напорах у водозаборных скважин, подключаемых к сборным водоводам в начале и конце сборной линии, ориентировочно можно принимать исходя из скорости движения воды в них 0,4 – 0,7 м/с для диаметров 100 – 400 мм и 0,7 – 1 м/с – для диаметров 500 – 1000 мм.

Линейные (тупиковые) сборные водоводы должны проектироваться по телескопической схеме с постепенным увеличением диаметров по мере подключения скважин.

Максимальное количество скважин, присоединяемых к одной нитке сборного водовода, определяется из условия, чтобы рабочие точки характеристики насосов не выходили за пределы области оптимальных КПД насосов, указанных в заводских характеристиках.

Кольцевые сборные водоводы, как правило, проектируются одного диаметра по всей длине кольца, обеспечивающего подачу 70% расхода воды.

При гидравлическом расчете напорных водоводов в качестве рабочих принимаются скважины, наиболее удаленные от сборного узла.

#### 2.1.8.2. Самотечные сборные водоводы

Самотечная система сборных водоводов применяется при сборе воды от каптажей или самоизливающихся скважин, в отдельных случаях от скважин, оборудованных насосными установками. Самотечные водоводы укладываются из безнапорных бетонных и железобетонных труб; водоводы малого диаметра (150 – 400 мм) допускается укладывать из асбестоцементных напорных и пластмассовых труб. При насосной подаче воды из водозаборных сооружений в самотечную сборную сеть работа каждой насосной станции не зависит от работы других насосных станций и может быть отрегулирована в зависимости от производительности скважины и насосного оборудования,

Такая система позволяет не ограничивать количество скважин, присоединяемых к одной нитке сборной сети. Практически это количество предопределяется рельефом местности, условиями трассировки и оптимальной длиной трубопроводов от скважин.

Недостатком безнапорных сборных водоводов является возможность проникания в них загрязненных вод через неплотности в стыках труб и у колодцев.

Самотечные сборные водоводы, как и напорные, следует принимать телескопического вида с соединением труб различного диаметра при переходе от малого диаметра к большому по способу «шелыга в шелыгу»; при переходе от большего диаметра к меньшему (в случае изменения уклонов с малого на большой) – «лоток в лоток».

Смотровые колодцы следует устраивать в начале и в конце самотечного сборного водовода и в местах изменения диаметра труб и направления трассы. На прямолинейных участках смотровые колодцы в зависимости от диаметра труб допускается устраивать на расстоянии 100 – 500 м.

Гидравлический расчет самотечных сборных водоводов имеет целью определить для заданных расходов воды и уклонов водоводов минимальный диаметр труб или размеры каналов при их максимально допустимом наполнении.

Гидравлический расчет производится по таблицам для расчета самотечных канализационных трубопроводов и каналов. В случае если сечение сборного трубопровода или канала отсутствует в таблицах, расчет производится по формулам, приведенным в гидравлических справочниках, с учетом указанных в них коэффициентов шероховатости.

В условиях пересеченной местности, когда трассировка самотечных водоводов на всем протяжении может оказаться экономически невыгодной из-за больших заглублений, применяются самотечно-напорные водоводы.

Схема самотечно-напорного водовода показана на рис. 2.18. Длина напорного участка водовода определяется путем построения пьезометрической линии от перевальной точки до сборного резервуара. При построении пьезометрической линии учитываются потери напора на излив в резервуар или концевой колодец, принимаемые равными 1 – 2 м. Головной и концевой колодцы напорного участка оборудуются вентиляционными трубами (в необходимых случаях – с фильтрами). Расчеты выполняются методом подбора: имея, как правило, заданный расход, по таблицам подбирают диаметр водовода, его уклон и наполнение.

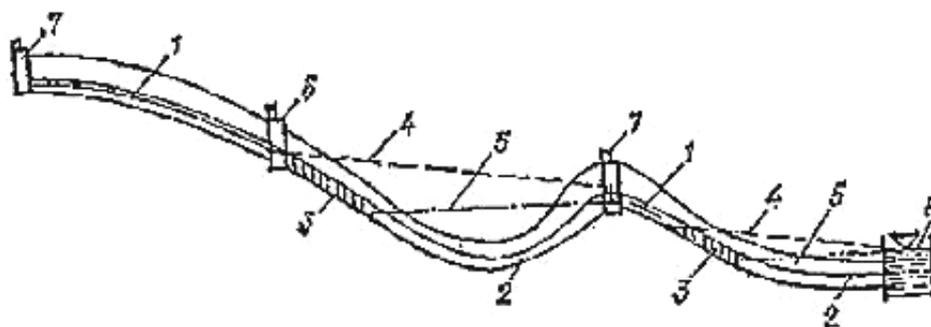


Рис. 2.18. Схема самотечно-напорного водовода:

1 – участки самотечного водовода; 2 – участки напорного водовода; 3 – участки с переменным режимом; 4 – пьезометрическая линия при расчетном расходе воды; 5 – пьезометрическая линия при отсутствии расхода воды; 6 – головной колодец напорного участка; 7 – головной колодец самотечного участка; 8 – сборный резервуар

Сифонные сборные водоводы обычно применяются на водозаборах с уровнем подземных вод не глубже 5 – 8 м от поверхности земли и часто проектируются в системах береговых (инфильтрационных) водозаборов.

### **2.1.9. Комплексные расчеты водозаборов подземных вод**

Водозаборные скважины, объединенные между собой сборными водоводами, представляют единую гидравлическую систему. При эксплуатации таких систем четко прослеживается связь между изменением производительности скважин (и водозабора в целом) при изменении гидродинамического режима подземных вод, а также при изменении гидравлических параметров отдельных сооружений. Поэтому уже на стадии разработки проекта следует производить оценку работоспособности системы. Такая оценка производится на основе комплексных расчетов водозаборов подземных вод.

Основной задачей комплексного расчета водозаборов подземных вод является определение истинных значений расходов скважин и понижений в них уровня воды, а также расходов и потерь напора в сборных водоводах и параметров работы водоподъемного оборудования. Поэтому такие расчеты следует проводить при различных расчетных режимах и на различные периоды эксплуатации водозаборов (т. е. с учетом сезонных колебаний уровней и сработки запасов подземных вод, кольматажа и выхода скважин из строя, отключения отдельных линий сборных водоводов и т. п.) и на основе этого намечать сроки проведения мероприятий, направленных на поддержание стабильной работы систем.

Проведение таких громоздких многовариантных расчетов для реальных систем водоснабжения невозможно без применения ЭВМ. За период с шестидесятых годов по настоящее время разработано значительное число алгоритмов программ, отличающихся различной степенью учета гидрогеологических особенностей, гидравлического взаимодействия схем расположения скважин, их числа, возможности выбора оборудования и т. д.

### **2.1.10. Зоны санитарной охраны водозаборов подземных вод**

Для предотвращения загрязнения подземных вод в районе водозаборов устанавливаются три пояса ЗСО. Первый пояс – зона строгого режима; второй и третий – зоны ограничений [1].

Первый пояс ЗСО предназначен для исключения возможности случайного загрязнения воды непосредственно на водозаборных сооружениях.

Он устанавливается вокруг участка, на котором расположен водозабор, насосных станций, установок для очистки воды и резервуаров.

*Границы первого пояса* располагаются от водозаборных сооружений на расстоянии не менее 50 м при использовании недостаточно защищенных подземных вод и не менее 30 м при использовании защищенных водопорами подземных вод. Обычно граница первого пояса устанавливается по периметру водозабора. Однако, если расстояние между отдельными водозаборными сооружениями (например, скважинами) превышает 100 м, то первый пояс может устанавливаться отдельно для каждого водозабора.

К защищенным относятся подземные воды, которые имеют в пределах всех трех ЗСО сплошную водоупорную кровлю. Водоупорная кровля исключает поступление в водоносный слой загрязнений из поверхностных источников, поверхности земли либо из вышележащих незащищенных подземных пластов. У незащищенных подземных вод сплошная кровля отсутствует, либо имеется связь с поверхностным водным источником.

Если водозабор питается за счет инфильтрации воды из поверхностного источника, то при расстоянии между ними до 150 м в первый пояс включается участок между водозабором и поверхностным источником. При этом на поверхностном источнике устанавливается свой пояс ЗСО в соответствии.

*Граница второго пояса* ЗСО устанавливается на таком расстоянии от скважин, чтобы время продвижения микробного загрязнения от очага загрязнения до водозабора составляло не менее 100 – 400 сут.

*Граница третьего пояса* ЗСО устанавливается на таком расстоянии от скважин, чтобы время продвижения химического загрязнения воды до скважин было больше времени эксплуатации водозабора, но не менее 25 лет.

Размеры территории второго и третьего пояса зон ЗСО устанавливаются на основании гидрологических расчетов, которые выполняются в соответствии с Пособием по проектированию сооружений для забора подземных вод (к СНиП 2.04.02-84).

На территории каждого пояса ЗСО предписывается выполнение определенных санитарно-оздоровительных, защитных и водоохраных мероприятий.

По второму и третьему поясу ЗСО предусматриваются следующие мероприятия:

– выявление и ликвидация всех бездействующих и дефектных водозаборных сооружений, через которые может произойти загрязнение водоносного горизонта;

– любое проектирование и строительство новых водозаборных сооружений производится с разрешения и по согласованию с местными санитарными службами, органами геологического и органами по регулированию использования и охране вод;

– запрещена закачки в подземные горизонты любых сточных вод, подземное складирование твердых отходов и разработка недр, которые могут привести к загрязнению водоносного горизонта;

– запрещено размещения любых объектов, обуславливающих опасность химического загрязнения водоносного горизонта (накопители стоков, шламохранилища, склады ядохимикатов, минеральных удобрений и горюче-смазочных материалов и т. п.). При размещении в пределах третьего пояса полей фильтрации сточных вод, животноводческих комплексов и других объектов, которые могут служить источником бактериального загрязнения подземных вод, должна быть исключена возможность поступления поверхностного и дренажного стока на территорию второго пояса.

На территории второго пояса ЗСО дополнительно предусматривают следующие мероприятия:

– запрещение размещения любых объектов обуславливающих опасность микробного загрязнения водоносного горизонта (кладбища; скотомогильники; поля фильтрации сточных вод, животноводческие комплексы и т. п.);

– запрещение применения удобрений и ядохимикатов;

– в населенных пунктах должно быть выполнено санитарное благоустройство (канализование, устройство водонепроницаемых выгребов и т. п.).

На территории первого пояса дополнительно предусматривают следующие мероприятия:

– территория должна быть спланирована для отвода поверхностного стока за ее пределы, озеленена, ограждена и постоянно охраняться;

– запрещены все виды хозяйственной деятельности (проживание людей; содержание и выпас животных; земледелие; складирование техники и материалов, не относящихся к водозабору и т. п.);

– здания и сооружения на территории первого пояса должны быть канализованы с отводом сточных вод в централизованную канализацию или на местные очистные сооружения за пределы первого пояса. Если такая возможность отсутствует, то предусматривается устройство водонепроницаемых выгребов с периодическим вывозом нечистот за пределы второго пояса ЗСО.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4

На практических занятиях предлагается определить границы зон санитарной охраны скважинного водозабора, состоящего из двух скважин, расположенных на расстоянии 50 м друг от друга. Водоносный горизонт не достаточно защищенный.

Исходные данные принять по вариантам:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Производительность водозабора, м <sup>3</sup> /ч	80	50	32	140	70	120	48	12	20
Водоносная порода	супесь								
Мощность водоносной породы, м	10	15	20	25	15	30	10	12	15

Рекомендации к выполнению задания:

1. Определить границы I пояса зоны санитарной охраны водозабора руководствуясь [1].

2. Границы зоны II и III поясов определяются расчетом: II пояс – исходя из условий поступления микробных загрязнений в водозабор течение 400 сут, а для III пояса – из условий поступления химических загрязнений в течение 25 лет по формуле

$$R_2 = \sqrt{\frac{Q_в T}{\pi t \mu}},$$

где  $Q_в$  – производительность водозабора, м<sup>3</sup>/сут;

$T$  – время продвижения загрязнения, сут;

$t$  – мощность водоносного пласта, м;

$\mu$  – коэффициент водоотдачи водоносного пласта (приложение, табл. 4).

3. Вычертить генплан скважинного водозабора с нанесением границ зон санитарной охраны.

### 2.2. ШАХТНЫЕ КОЛОДЦЫ

Шахтные колодцы представляют собой вертикальные выработки с большими размерами поперечного сечения по сравнению с водозборными скважинами. Их применение, как уже отмечалось, должно быть ограничено эксплуатацией подземных вод водоносных горизонтов, залегающих на сравнительно небольших глубинах, обычно до 30 м.

Обычно они применяются для забора подземных вод из первых от поверхности безнапорных водоносных горизонтов. Это горизонты сравнительно небольшой мощности (не более 10 м), которые сложены рыхлыми породами (песками, галечниками). Иногда шахтные колодцы сооружают и в напорных водоносных пластах при глубине их залегания до 30 – 40 м. Однако устройство шахтных колодцев такой глубины целесообразно лишь при слабой водообильности пласта.

Шахтные колодцы чаще всего применяют для водоснабжения мелких потребителей – небольших населенных пунктов и отдельных строений в сельской местности, фермерских хозяйств, полевых станков, ферм и т. п. Для централизованного водоснабжения крупных потребителей шахтные колодцы практически не применяют, так как производительность одного шахтного колодца обычно не превышает 5 – 15 м<sup>3</sup>/сут.

В зависимости от материала строительства шахтные колодцы бывают деревянные, каменные, кирпичные, бетонные.

По форме шахтные колодцы различают:

- квадратные;
- круглые;
- прямоугольные.

По методу сбора воды:

- работающие дном;
- работающие стенками;
- работающие дном и стенками.

### 2.2.1. Схема шахтного колодца

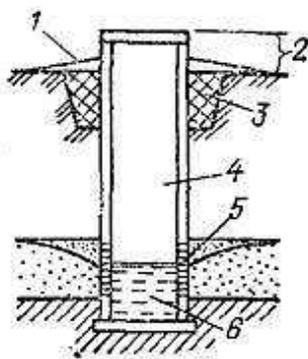


Рис. 2.19. Общая схема шахтного колодца:

- 1 – отмостка;
- 2 – оголовок; 3 – замок;
- 4 – ствол шахты;
- 5 – водоприемная часть; 6 – зумпф

Шахтные колодцы состоят из следующих конструктивных элементов: надземной части – оголовка, ствола, водоприемной части, водосборной части-зумпфа (рис. 2.19).

Ствол шахтного колодца соединяет оголовок с водоприемной частью, предотвращает обрушение стен, изолирует колодезную воду от загрязненных поверхностных вод. В стволе также может размещаться водоподъемное оборудование.

Проходка ствола производится вручную либо механизированным способом.

Вокруг ствола в земле со стороны оголовка устраивается глиняный замок глубиной 1,5 – 2 м

и шириной 0,5 м, который предотвращает загрязнение подземных вод с поверхности.

Оголовок предназначен для защиты от попадания в колодец загрязненных поверхностных вод, для создания удобных условий эксплуатации (подъема и разбора воды, наблюдения за состоянием колодца и т. п.), а также для предотвращения замерзания воды при небольшой глубине колодца. Возвышение оголовка над поверхностью земли по санитарным условиям должно быть не менее 0,8 м. Оголовок перекрывается крышкой, над ним устанавливается навес или будка. Вокруг для лучшего отвода воды поверхность земли планируется с уклоном 0,1 в сторону от колодца. На ширину 1 – 2 м устраивается каменная или асфальтовая отмостка.

При устройстве колодца для предотвращения ухудшения качества воды необходимо обеспечить вентиляцию воздушного пространства над поверхностью воды. Для этого в некоторых случаях предусматривается вентиляционная труба, которая выводится над поверхностью земли на высоту не менее двух метров. Верхний конец трубы защищается колпаком с сеткой.

Зумпф устраивается в том случае, когда в колодцах необходимо иметь некоторый запас воды; его размеры определяются величиной необходимого запаса воды.

### **2.2.2. Конструкция шахтного колодца из сборных железобетонных колец**

В настоящее время для строительства шахтных колодцев глубиной до 30 м наиболее широко используются железобетонные кольца высотой 1 м и внутренним диаметром 1 м, толщина стенок 80 мм.

На рисунке 2.20 приведен пример конструкции шахтного колодца, выполненного из сборных железобетонных колец.

### **2.2.3. Устройство шахтных колодцев**

Как и трубчатые колодцы, шахтные колодцы могут быть несовершенные или совершенные.

В несовершенном колодце крепление шахты не достигает подстилающего пласта, лежащего ниже водоносного; приток воды здесь возможен через дно и боковые стенки. В совершенном колодце крепление достигает водоупорного пласта и опирается на него; приток воды – только через боковые стенки. Зумпф в совершенном колодце – это дополнительный резервуар, выполняемый в подстилающей водоупорной породе для увеличения запаса воды.

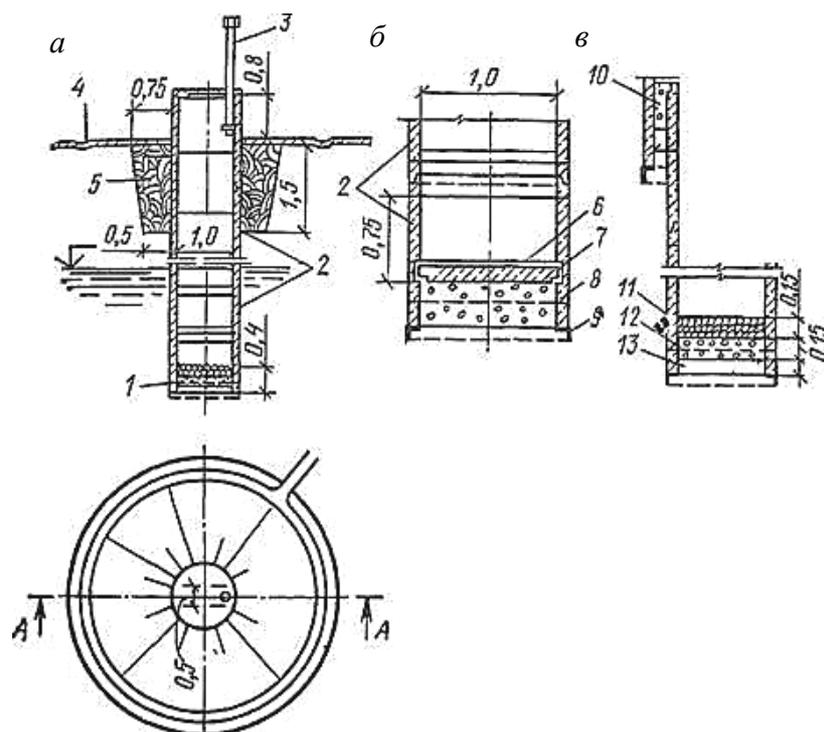


Рис. 2.20. Конструкция шахтного колодца из сборных железобетонных колец:  
*a* – план и разрез; *б* – деталь водоприемной части; *в* – телескопическая конструкция колодца;

1 – фильтр; 2 – кольца; 3 – вентиляционная труба; 4 – щебеночное крепление; 5 – глиняный замок; 6 – донная плита из пористого бетона; 7 – вкладыши из пористого бетона; 8 – гравийная подсыпка; 9 – металлическое кольцо опускного приспособления; 10 – тампон из бетона; 11 – щебень; 12 – гравий; 13 – песок

Безнапорный водоносный пласт шахтой несовершенного колодца не следует проходить более чем на 0,7 его высоты, поскольку доказано, что нижележащая вода, как правило, не питает колодец и не увеличивает дебита. Сообразуясь с суточной потребностью в воде, закладывают колодец и на меньшую глубину.

Поперечные размеры шахты целесообразно принимать минимальными с целью экономии материалов и трудозатрат. Руководствоваться при этом следует только удобством работы в шахте, тем более что увеличение размеров поперечного сечения колодца обычно мало сказывается на повышении дебита. Так, увеличение радиуса колодца в 10 раз дает возрастание дебита лишь в 1,5 раза. Исключение составляет только тот крайне редкий случай, когда колодец питают восходящие ключи, расчистка которых на большей площади дна колодца увеличивает дебит уже значительно.

Для строительства колодца выкапывается шахта ручным или механизированным способом. Способы сооружения колодцев зависят от их

глубины и состояния грунта. Когда водоносные слои расположены на большой глубине, технология устройства колодца затрудняется, так как приходится рыть и поднимать на поверхность большое количество грунта. Работа усложняется из-за насыщенности грунта водой.

Существует множество технологий оборудования ствола шахтного колодца. Самый простой способ устройства колодцев применяется в плотных грунтах. Шахту разрабатывают на всю глубину, после чего сооружают ствол. Чтобы стены шахты не осыпались, их устраивают с откосами или укрепляют щитами деревянной опалубки. Для того чтобы снизить давление на стенки шахты, вырытый грунт удаляют на расстояние не менее 10 – 15 м.

Крепление шахты колодца делают из дерева, бетона, железобетона, кирпича и натурального камня. Выполнить крепление можно тремя способами: возведением крепления со дна готовой шахты (при опасности обвалов грунта эту работу необходимо производить только с временным креплением стенок шахты), наращиванием крепления сверху (опускное крепление), наращиванием снизу. Стенки ствола шахтного колодца должны быть плотными, изолирующими этот колодец от проникновения поверхностного стока.

При креплении ствола шахтных колодцев деревом должны использоваться определенные породы древесины в виде бревен или брусьев: для венцов надводной части сруба – ель или сосна, для водоприемной части сруба – лиственница, ольха, вяз, дуб. Лесоматериал должен быть хорошего качества, очищенный от коры, прямой, здоровый, без глубоких трещин и червоточин, не зараженный грибком, заготовленный за 5 – 6 месяцев.

Камень и кирпич, используемые для устройства ствола (шахты) шахтного колодца, должны:

- не иметь трещин;
- не окрашивать воду;
- укладываться так же, как бетонные или железобетонные кольца, на цементном растворе высоких марок, не содержащем примесей.

При креплении стенок колодца кирпичом используется только красный, так как силикатный кирпич не разрешается к использованию по причине быстрой разрушаемости в грунте.

Колодцы, выполненные с применением натурального камня, совершенно непроницаемы для загрязнений на поверхности, долговечны, а также полностью удовлетворяют основным санитарным требованиям. Для кладки из камня (бута) обычно применяются такие виды природных кам-

ней, как сланцы, песчаники или плотные известняки. Камни, как правило, имеют две-три стороны с плоскими участками (называемые, «постели»). В случае их отсутствия, плоскости легко получают дополнительной обработкой.

Каменные колодцы имеют скругленные (овальные) формы диаметром до 1 м. Такая форма колодца позволяет существенно уменьшить расход материала. При небольшой глубине каменная кладка, как и для других колодцев, выполняется в уже подготовленной шахте. Более глубокие колодцы из камня строятся обычным опускным методом.

#### **2.2.4. Водоприемная часть шахтных колодцев**

Как уже было отмечено выше по условиям забора воды из водоносного пласта шахтные колодцы подразделяются на работающие дном, работающие стенками и одновременно дном и стенками. Способ приема воды, а также вид и состав пород водоносного пласта определяет то или иное устройство колодца.

При приеме воды через дно колодца устраивается обратный фильтр. Обратным фильтром называется потому, что у него, в противоположность обычному фильтру, мелкие фракции (песок) располагают внизу, а более крупные (щебень или гравий) – вверху. Этот фильтр обеспечивает защиту воды в колодце от частиц водоносной породы. Обратный фильтр устраивается из нескольких слоев (чаще трех) песка, щебня и гравия с зернами различной крупности и толщиной по 10 – 15 см каждый. Крупность частиц слоев фильтра и их соотношение между соседними слоями принимается так же, как и для фильтров скважин.

В процессе эксплуатации фильтрующие слои могут перемешиваться, что может потребовать периодической реконструкции фильтра. Для исключения перемешивания слоев фильтра сверху располагают плиту из пористого бетона, которая изготавливается из гравия или щебня крупностью 10 – 15 мм, скрепленного водостойким цементом или эпоксидным клеем (см. рис. 2.20).

Если водоносный пласт сильно разжижен (пльвун), а приток воды обильный, устраивают дощатое дно со щелями или просверленными отверстиями. Фильтр из щебня или гравия в этом случае насыпают сверху на доски.

При приеме воды стенками в них должны быть устроены специальные окна, заполненные гравийным фильтром или пористым бетоном.

При приеме воды из трещиноватых скальных пород или галечниковых грунтов дно колодца не укрепляют фильтром, а в стенках на высоте водоприемной части предусматривают в шахматном порядке отверстия диаметром 15 – 30 мм, шагом 20 – 30 см.

### 2.2.5. Расчет шахтных колодцев

Величина притока воды к шахтному колодцу зависит от гидрогеологической характеристики водоносного горизонта (мощность водоносного пласта, напорные или безнапорные воды), схемы поступления воды в колодец, формы поперечного сечения колодца.

Дебит колодца при приеме воды из безнапорного пласта:

– только через дно и  $\frac{R}{H} < 10$  для прикидочных расчетов составит

$$Q = 4 \cdot K \cdot r \cdot S; \quad (2.27)$$

– при приеме только через дно и  $H \geq 2 \cdot r$

$$Q = \frac{2\pi \cdot K \cdot r \cdot S}{\frac{\pi}{r} + \frac{r}{m} \left( 1 + 1,18 \lg \frac{R}{4H} \right)}; \quad (2.28)$$

– при приеме через дно и стенки и  $\frac{R}{H} > 10$  приток равен сумме расходов, вычисленных по формулам:

$$Q = \frac{\pi \cdot K (2H - S) S}{\left( \ln 1,65 \frac{R}{r} + \zeta \right)}, \quad (2.29)$$

$$Q = \frac{1,36 \cdot K (2H - S) S}{\lg \frac{R}{r}}, \quad (2.30)$$

где  $K$  – коэффициент фильтрации водоносного грунта;

$r$  – внутренний радиус круглого колодца;

$S$  – понижение уровня воды в колодце;

$H$  – мощность водоносного пласта, м;

$m$  – расстояние от дна колодца до водоупора, м;

$R$  – радиус влияния колодца;

$\zeta$  – дополнительное сопротивление  $\zeta = f\left(\frac{l}{m}, \frac{m}{r}\right)$ , где  $m = H - \frac{S}{2}$ .

При расчете водозабора из группы шахтных колодцев определяют количество колодцев, расстояния между ними, отметки уровней воды в колодцах при обеспечении ее расчетного расхода.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5

На практических занятиях предлагается определить дебит безнапорного шахтного колодца диаметром 1 м, работающего дном.

Исходные данные принять по вариантам:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Водоносный пласт	Песок мелкозернистый				Песок среднезернистый				
Мощность водоносного пласта Н, м	10	12	10	15	8	9	7	6	10
Расстояние от дна колодца до водоупора <i>t</i> , м	15	16	14	20	12	15	14	10	9
Понижение уровня воды в колодце, м	0,5	1,0	0,6	1,2	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7

Рекомендации к выполнению задания:

1. Начертить расчетную схему колодца.
2. Определить дебит колодцев по формулам (2.27) или (2.28). Данные по коэффициентам фильтрации и радиусам влияния взять из приложения, таблицы П.1 и П.4.

### Самоконтроль по УЭ-2:

1. Какой уровень в колодце называется статическим?
2. Что такое удельный дебит?
3. Назовите основные конструктивные элементы скважины.
4. Вспомните, чем определяется выбор способа бурения скважины.
5. Что такое эксплуатационная труба?
6. Вспомните, от чего зависит выбор конструкции фильтра.
7. От каких параметров зависит величина притока к одиночной скважине?
8. Какие схемы сборных водоводов вы знаете?
9. Вспомните условия возможности строительства шахтного колодца?
10. Как подразделяются шахтные колодцы по методу отбора воды?
11. Назовите основные конструктивные элементы шахтного колодца.

## **УЭ-3. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ И ЛУЧЕВЫЕ ВОДОЗАБОРЫ**

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-3:**

1. Водозаборные сооружения горизонтального типа:
  - типы и конструкции горизонтальных водозаборов;
  - конструирование горизонтальных водозаборов;
  - расчет горизонтальных водозаборов.
2. Лучевые водозаборы:
  - типы лучевых водозаборов;
  - конструирование лучевых водозаборов;
  - расчет лучевых водозаборов.

### **3.1. ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТИПА**

Горизонтальные водозаборы позволяют эксплуатировать маломощные водоносные пласты. Они особенно эффективны при расположении вблизи рек, озер и водохранилищ. Они появились значительно раньше вертикальных водозаборов в странах с засушливым жарким климатом.

Горизонтальные водозаборы представляют собой дренажи или водосборные галереи, проложенные горизонтально в пределах водоносного пласта, как правило, перпендикулярно направлению потока подземных вод.

В состав горизонтального водозабора входят (рис. 2.21):

а) водоприемная часть 1, предназначенная для приема воды из водоносного горизонта (собственно водозабор);

б) водопроводящая (коллекторная) часть 2, служащая для отвода воды в водосборный колодец (в некоторых водозаборах водоотводящая часть может отсутствовать, тогда вода поступает в водосборный колодец непосредственно из водоприемной части);

в) водосборный колодец 3;

г) смотровые колодцы 4, служащие для осмотра, вентиляции и ремонта водоприемной и водоотводящей частей горизонтальных водозаборов;

д) насосная станция первого подъема, которую целесообразно совмещать с водосборным колодцем. В отдельных случаях насосная станция может отсутствовать, и вода из водосборного колодца будет поступать в сеть самотеком.

Горизонтальные водозаборы отличаются от вертикальных (скважин и шахтных колодцев) не только характером размещения в водоносном пласте и конструкцией, но и тем, что отбор воды из пласта осуществляется

ими без водоподъемных устройств путем отвода воды в водосборную камеру самотеком. Это является их существенным преимуществом, благодаря которому эксплуатационные расходы существенно уменьшаются.

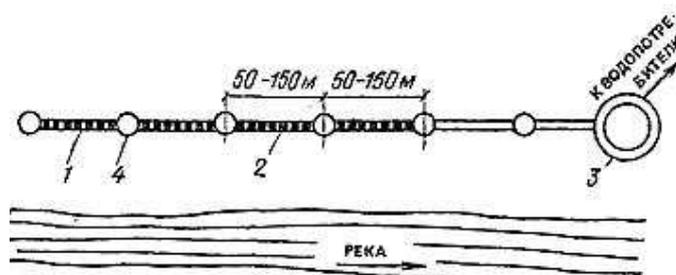


Рис. 2.21. Схема горизонтального водозабора:

1 – водоприемная часть; 2 – водопроводящая (коллекторная) часть; 3 – водосборный колодец с насосной станцией; 4 – смотровые колодцы.

### 3.1.1. Типы и конструкции горизонтальных водозаборов

В зависимости от гидрологических и инженерных условий могут применяться следующие типы водоприемных устройств горизонтальных водозаборов:

- каменно-щебеночный водозабор;
- трубчатый водозабор;
- водосборная галерея;
- водосборная штольня;
- комбинированный горизонтальный водозабор со скважинами.

#### 3.1.1.1. Каменно-щебеночный водозабор

Каменно-щебеночный водозабор используется для захвата подземных вод, залегающих на глубине 3 – 4 м. Его применяют для водоснабжения мелких, в основном сельскохозяйственных, потребителей, а также для временного водоснабжения строящихся объектов.

Водозабор строится в виде открытой траншейной выработки (рис. 2.22).

По дну траншеи укладывается бетонная подготовка 6, которая имеет уклон 0,01 – 0,05 к водоприемной камере. Вдоль траншеи на бетонной подготовке устраивается каменно-щебеночная призма 1 из крупного гравия или щебня. Высота призмы 0,3 – 0,4 мощности вскрытого водоносного пласта. Вокруг призмы устраивается обратный фильтр из двух слоев. Первый слой 2 – гравий средней крупности; второй слой 3 – обсыпка из крупного песка. Сверху фильтр закрывается водонепроницаемым экраном 4 из уплотненной глины. После этого траншея засыпается ранее вынутым грунтом 5.

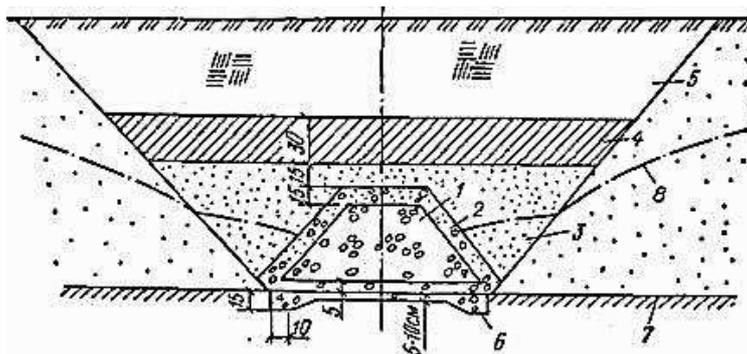


Рис. 2.22. Каменно-щебеночный водозабор:

1 – каменно-щебеночная призма; 2 – первый слой обратного фильтра из гравия средней крупности; 3 – обсыпка из крупнозернистого песка; 4 – экран из утрамбованной глины; 5 – обратная засыпка местным грунтом; 6 – бетонная подготовка; 7 – водонепроницаемые слои; 8 – депрессионная кривая грунтовых вод

### 3.1.1.2. Трубчатый водозабор

Трубчатый горизонтальный водозабор используется для захвата подземных вод, залегающих на глубине 5 – 8 м. Его применяют для водоснабжения мелких и средних коммунальных и сельскохозяйственных потребителей второй и третьей категории надежности.

Водозабор строится в виде траншеи (рис. 2.23), вдоль которой по дну укладывается водоприемная труба 1, которая может быть керамической, асбестоцементной, железобетонной или пластмассовой. В керамические трубы вода поступает через зазоры в стыках (раструбах), которые не заделывают. В остальных трубах для приема воды в верхней и боковой части проделывают отверстия.

Для предотвращения выноса частиц водоносных пород вокруг водоприемных труб устраивается фильтрующая обсыпка из одного или нескольких слоев песчано-гравийного материала, состав которого подбирается по специальной методике в соответствии с гранулометрическим составом грунта. Обычно это слой гравия средней крупности 2 и слой крупного песка 3. Сверху фильтр закрывается водонепроницаемым экраном 4 из уплотненной глины. После чего траншея засыпается ранее вынутым грунтом 5.

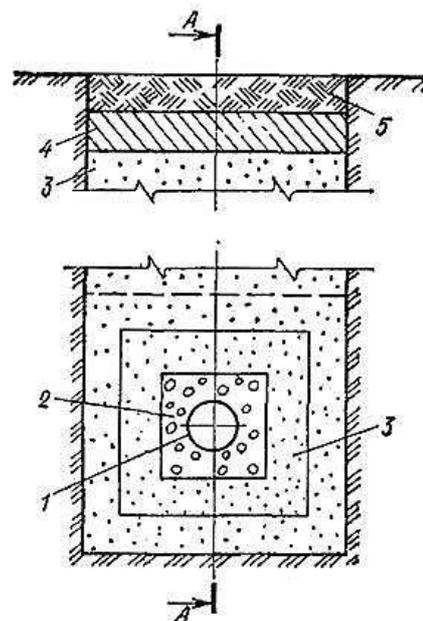


Рис. 2.23. Трубчатый водозабор в траншее с вертикальными стенками в поперечном и продольном разрезе по оси водозабора:

1 – водоприемная труба; 2 – песчано-гравийный фильтр; 3 – песчаная засыпка; 4 – глинистый экран; 5 – обратная засыпка местным грунтом

Минимальный внутренний диаметр труб принимается равным 150 мм. Уклоны в сторону водосборной камеры водоприемных труб водозабора принимаются в зависимости от диаметра этих труб (мм) и равны

- 150 – не менее 0,007;
- 200 – 0,005;
- 250 – 0,004;
- 300 – 0,003;
- 350 – 0,002;
- 500 – 0,001.

### 3.1.1.3. Водосборные галереи

Водосборные галереи используются для захвата подземных вод в любых гидрологических условиях. Их применяют для водоснабжения крупных потребителей первой и второй категории надежности. При глубине залегания подземных вод на глубине не более 8 м галереи устанавливают в траншеи. При большей глубине применяется тоннельный способ проходки.

Водоприемная часть галереи (рис. 2.24) выполняется из сборных железобетонных звеньев оваловидной (а) или прямоугольной (б) формы. Габариты принимаются с учетом эксплуатации; ширина 0,8 – 1 м, высота в непроходных галереях 1,2 – 1,7 м, в проходных для обеспечения возможности прохода по галерее 1,8 – 2,2 м.

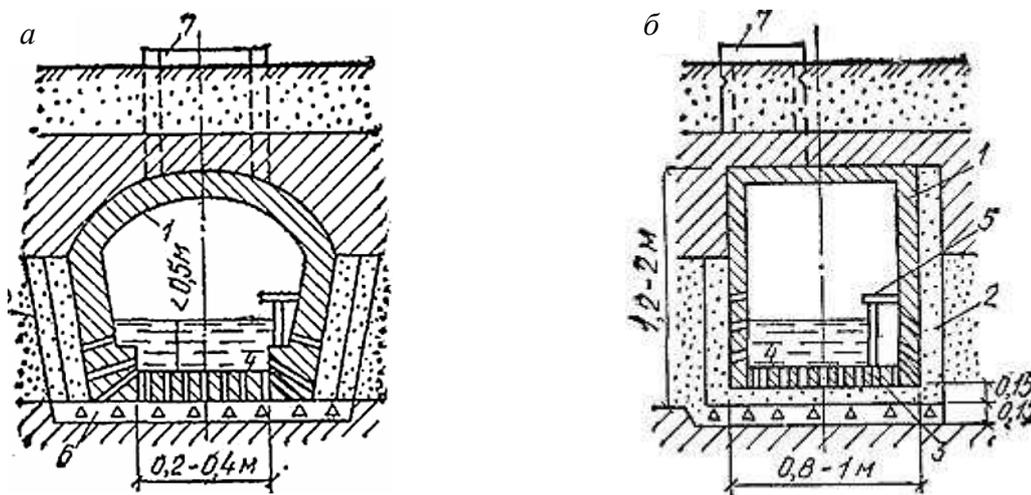


Рис. 2.24. Водосборная галерея:

*а* – оваловидной формы; *б* – прямоугольной формы;

1 – железобетонные сборные звенья галереи; 2 – песчано-гравийный обратный фильтр; 3 – водоприемные отверстия; 4 – лотковая часть галереи; 5 – мостик для прохода эксплуатационного персонала; 6 – песчано-гравийная подготовка основания галереи; 7 – смотровой (вентиляционный) колодец

В нижней части галереи устраивается лоток, обеспечивающий сток воды к водосборному колодцу с незаиляющей скоростью. Глубина лотка, как правило, должна быть не более 0,5 м, ширина 0,2 – 0,4 м. Для прохода эксплуатационного персонала в галереях предусматривается устройство мостика или полки. В стенках нижней части галереи размещаются водоприемные щелевые (круглые) отверстия или окна-ниши с фильтровыми вставками (например, из пористого бетона). В пределах водоприемной части галерея обсыпается песчано-гравийным обратным фильтром.

#### 3.1.1.4. Водосборные штольни

Водосборные штольни используются для захвата подземных вод с глубины более 8 м в благоприятных гидрологических условиях. Обычно водоносные горизонты, в которых устраиваются штольни, располагаются в крутых склонах речных долин или складываются из трещиноватых скальных пород. Их применяют для водоснабжения крупных потребителей первой и второй категории надежности.

Конструкция штольни (рис. 2.25) аналогична конструкции водосборной галереи. Прием воды производится через отверстия 3 в стенках. Отверстия заделываются пористым бетоном. В устойчивых скальных трещиноватых породах устройство штольни может осуществляться без обделки стенок. Для увеличения притока воды в штольню бурятся шурфы или скважины с фильтрами 5.

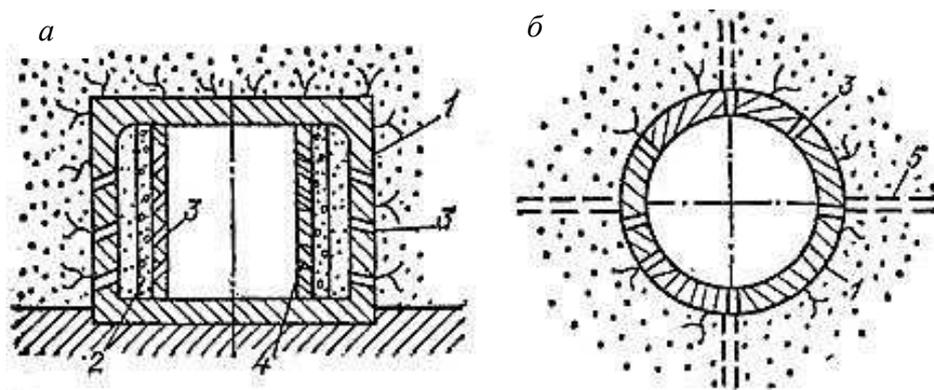


Рис. 2.25. Водосборная штольня:

*а* – прямоугольной формы с внутренним песчано-гравийным фильтром;  
*б* – круглой (овальной) формы с радиальными скважинами-усилителями;

1 – железобетонная обделка штольни; 2 – песчано-гравийный обратный фильтр;  
 3 – водоприемные окна; 4 – удерживающая стенка (решетка) с сеткой; 5 – скважины, оборудованные фильтром для приема воды из пласта

3.1.1.5. Комбинированный горизонтальный водозабор со скважинами  
 Комбинированный горизонтальный водозабор со скважинами (рис. 2.26) используется для захвата подземных вод из двух пластовых гидрологических систем.

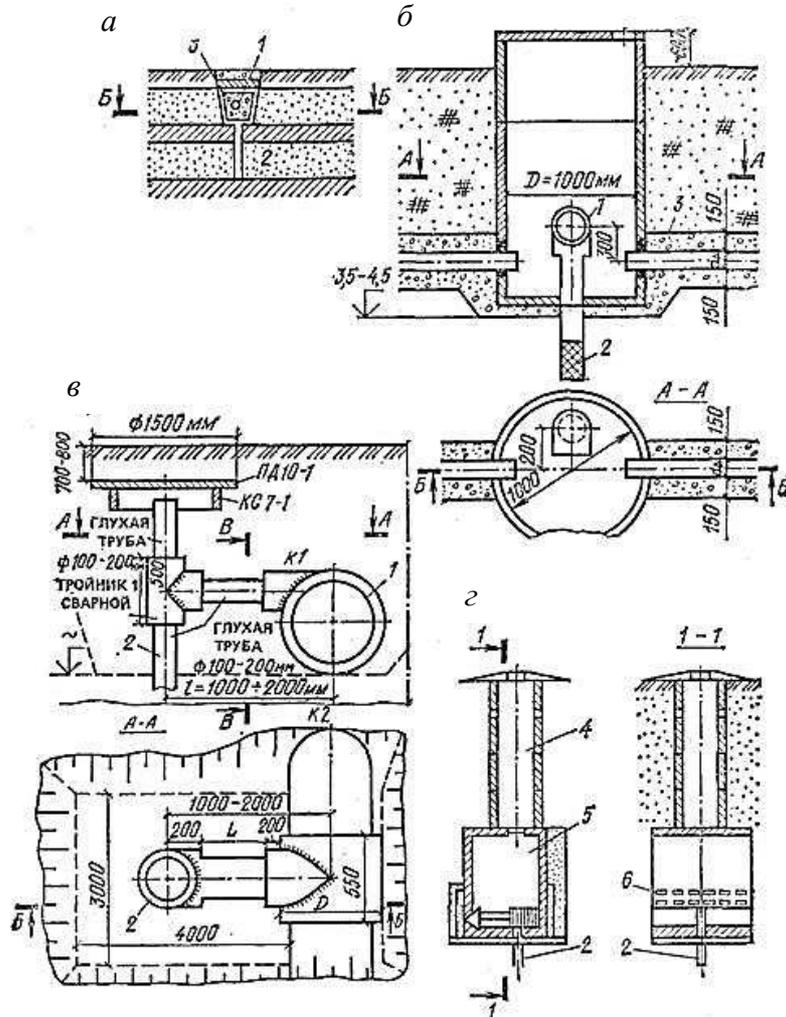


Рис. 2.26. Комбинированный горизонтальный водозабор с вертикальными скважинами:

*а* – схема водозабора; *б* – схема подсоединения скважины-усилителя к горизонтальной дрене в смотровом колодце; *в* – то же, непосредственно в грунте с применением тройника; *г* – подключение скважин-усилителей к водозаборной галерее;

1 – горизонтальная трубчатая дрена; 2 – вертикальная скважина-усилитель; 3 – песчано-гравийный обратный фильтр; 4 – смотровой колодец; 5 – водозаборная галерея; 6 – водоприемные окна

Комбинированный водозабор представляет собой горизонтальный трубчатый водозабор, устраиваемый в верхнем горизонте, к которому снизу или сбоку подключены патрубки фильтровых колонн скважин. Устья скважин целесообразно совмещать со смотровыми колодцами и оборудовать задвижками. Водозабор сооружается с предварительным бурением

скважин на нижний водоносный слой, установкой задвижек на устьях скважин. После прокладки в траншеях водоприемных труб горизонтального водозабора осуществляется врезка в них (снизу или сбоку) патрубков эксплуатационных колонн скважин. В случае устройства скважин в эксплуатационный период бурение производится через смотровые колодцы или специально вскрытые шурфы с последующим подключением скважин к водоприемной трубе.

### 3.1.2. Конструирование горизонтальных водозаборов

Для наблюдения за работой горизонтальных водозаборов, их вентиляции, профилактической прочистки и ремонта устраиваются смотровые колодцы (рис. 2.27).

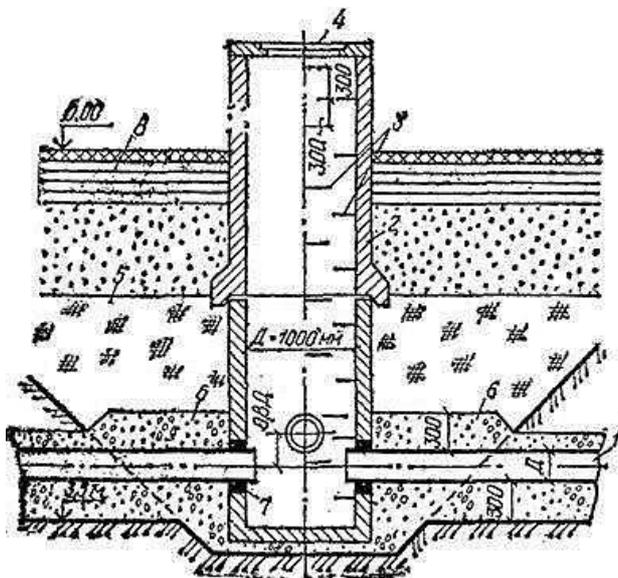


Рис. 2.27. Смотровой колодец:

1 – горизонтальная дрена; 2 – сборные железобетонные кольца; 3 – ходовые скобы; 4 – люк; 5 – обратная засыпка с послойным уплотнением трамбованием; 6 – сортированный гравий; 7 – заделка стыков цементным раствором; 8 – водонепроницаемый экран с отмошкой

Расстояния между смотровыми колодцами принимаются:

- 50 м – для трубчатых водозаборов диаметром 150 – 500 мм;
- 75 м – то же, диаметром более 500 мм;
- 100 – 150 м – для галерейных водозаборов.

Смотровые колодцы устраиваются также в местах изменения направления водоприемной части как в плане, так и в вертикальной плоскости.

Смотровые колодцы изготавливаются из сборных железобетонных колец диаметром 0,75 – 1,5 м. Верх колодцев должен возвышаться над поверхностью земли не менее чем на 0,25 м. Вокруг колодца должна быть

сделана водонепроницаемая отмостка шириной и глубиной не менее 1 м. Колодцы закрываются крышками. Для вентиляции водозабора в колодцы устанавливают вентиляционные трубы, которые должны возвышаться на 2,5 – 3 м над поверхностью земли. Верхний конец трубы должен заканчиваться колпаком с сеткой для предохранения от попадания в водозабор загрязнений. Трубы и галереи сопрягаются в пределах колодца при помощи бетонного лотка в дне.

Водосборные колодцы в зависимости от условий залегания водоносного пласта могут располагаться в конце горизонтального водозабора или в его срединной части. В отдельных случаях в нем может собираться вода из двух и более ветвей горизонтального водозабора.

Размеры водосборного колодца определяются из условий обеспечения нормального режима работы насосной установки, требующей определенной емкости колодца, а также размещения в нем оборудования и устройств для наблюдения за количеством и качеством воды. Водосборные колодцы крупных водозаборов секционируют по числу ветвей водозабора. Насосные станции горизонтальных водозаборов в зависимости от их производительности и типа насосного оборудования могут совмещаться с водосборным колодцем или сооружаться отдельно.

Конструкция водосборной камеры небольшого горизонтального водозабора приведена на рисунке 2.28.

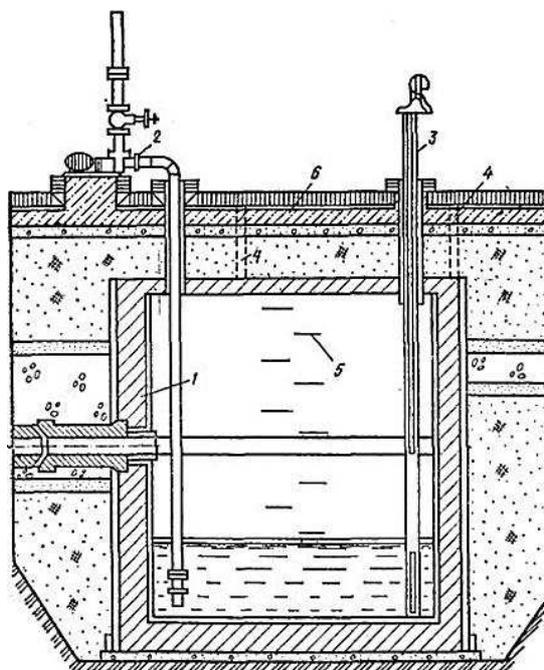


Рис. 2.28. Водосборный колодец (камера):

1 – водосборная камера из сборного железобетона, сооружаемая в открытом котловане; 2 – насос для откачки воды; 3 – измерительный пьезометр (совмещен с вентиляционной трубкой); 4 – люк; 5 – ходовые скобы; 6 – железобетонная плита

### 3.1.3. Расчет горизонтальных водозаборов

Основной задачей фильтрационных расчетов горизонтальных водозаборов является определение притока воды в них. Для береговых водозаборов встает задача о нахождении необходимого удаления их от реки, обеспечивающего отбор требуемого расхода  $Q$ , или определения необходимой для этой цели длины водозабора.

Вид расчетных формул зависит от гидрогеологических условий, в которых работает водозабор, и характера питания подземных вод. Расчет горизонтальных водозаборов производится для условий установившейся фильтрации, так как только этот случай в силу сравнительно малой мощности водоносных пород и длительной работы водозаборов представляет практический интерес.

В случае однослойного водоносного пласта, ограниченного с одной стороны прямолинейным контуром питания, например рекой (рис. 2.29), приток воды в водозабор рассчитывается по формуле

$$Q = k \cdot l \frac{H_1^2 - H_0^2}{2(L + \Phi + \Delta L)}, \quad (2.31)$$

где  $Q$  – полный приток в горизонтальный водозабор длиной  $l$ ;

$k$  – коэффициент фильтрации водоносных пород;

$H_1$  – мощность грунтовых вод на урезе воды в реке;

$H_0$  – то же, на линии водозабора;

$L$  – расстояние от реки до водозабора;

$\Phi$  – фильтрационное сопротивление, обусловленное гидродинамическим несовершенством водозабора;

$\Delta L$  – сопротивление, учитывающее несовершенство прямолинейного контура питания, т. е. неполную врезку реки в водоносный горизонт.

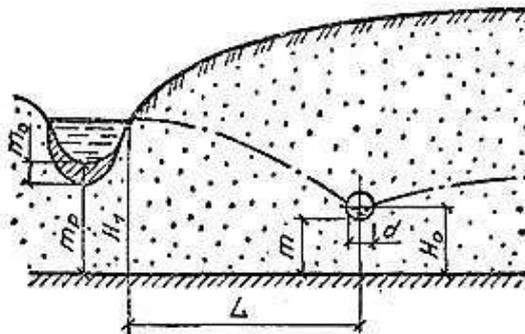


Рис. 2.29. Схема к расчету горизонтального водозабора в однослойном полуограниченном водоносном пласте

Фильтрационное сопротивление  $\Phi$ , учитывающее несовершенство дренажа, определяется выражением

$$\Phi = \frac{H_0}{\pi} \cdot \ln \sin \frac{\pi \cdot d}{2(m+d)}, \quad (2.32)$$

где  $d$  – приведенный диаметр водоприемной части горизонтального водозабора;

$m$  – расстояние от приемной части водозабора до водоупора.

Приведенный диаметр водозабора рассчитывается по формуле

$$d = 0,56 \cdot P, \quad (2.33)$$

где  $P$  – периметр смоченной части водоприемного элемента водозабора.

Приток воды в подрусловый водозабор (рис. 2.30) находится по формуле

$$Q = 2\pi kl \frac{H - H_0}{R}, \quad (2.34)$$

где  $H$  – мощность грунтовых вод на урезе воды;

$R$  – гидравлическое сопротивление;

$H_0$  – мощность грунтовых вод водозабора.

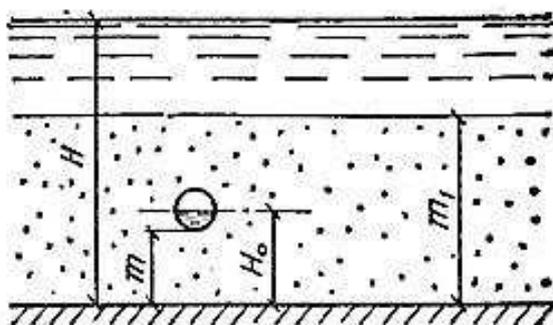


Рис. 2.30. Схема к расчету подруслового водозабора в однослойном водоносном пласте

Гидравлическое сопротивление  $R$  в случае совершенной в фильтрационном отношении реки (т. е. при отсутствии на дне заиленного слоя) определяется следующим образом:

$$R = \ln \left[ \operatorname{tg} \frac{\pi(\Delta m - d)}{2m_1} \operatorname{ctg} \frac{\pi d}{8m_1} \right], \quad (2.35)$$

где  $m_1$  – мощность водоносного горизонта от дна водоема до водоупора;

$d$  – приведенный диаметр водозабора, вычисляемый по формуле (2.33);

$l$  – длина водозабора.

При определении длины горизонтального водозабора  $l_{mp}$  для обеспечения требуемого расхода  $Q_{mp}$  можно использовать зависимость (при  $l/L > 3 - 5$ )

$$l_{mp} = \frac{Q_{mp}}{Q} \cdot l, \quad (2.36)$$

где  $l_{mp}$  – длина водозабора, обеспечивающего требуемый расход  $Q_{mp}$ ;  
 $l$  – длина водозабора, обеспечивающего расход  $Q$ .

При определении расстояния  $L_{mp}$  от реки до водозабора для обеспечения требуемого расхода  $Q_{mp}$  можно использовать зависимость (для схем, ограниченных одним прямолинейным контуром питания)

$$L_{mp} = \frac{Q}{Q_{mp}} L + (\Phi + \Delta L) \frac{Q - Q_{mp}}{Q_{mp}}. \quad (2.37)$$

Водоприемная часть труб горизонтальных водозаборов устраивается в виде специальных водоприемных отверстий – круглых или щелевых. При проектировании необходимо назначить форму и размер отверстий, определить их количество и схему размещения на поверхности трубы.

Диаметр круглых отверстий принимают равным 1 – 1,5 см, ширину щели – 0,5 – 1 см. В асбоцементных и пластмассовых трубах отверстия просверливают или пропиливают, в бетонных и железобетонных трубах они выполняются одновременно с изготовлением труб. Для этого в местах размещения отверстий закладывают промасленные деревянные пробки, которые удаляют после схватывания бетона, в этом случае диаметр отверстий принимается равным 2 – 2,5 см.

Отверстия располагаются в шахматном порядке по верхней и боковой частям труб.

Количество водоприемных отверстий определяется гидравлическим расчетом, основанным на том, что при истечении жидкости из фильтрующей обсыпки через отверстие во внутреннюю полость трубы происходят некоторые потери напора  $h_0$  (рис. 2.31). Величина  $h_0$ , исходя из обеспечения максимальной эффективности водоприемной поверхности, принимается 0,5 – 1 см. Тогда количество отверстий на единицу длины трубы, например на 1 м, можно найти по формуле

$$n = \frac{q}{\mu_0 \cdot F_0 \sqrt{2gh_0}}, \quad (2.38)$$

где  $q$  – приток воды на единицу длины водозабора, м<sup>3</sup>/с;  
 $\mu_0$  – коэффициент расхода отверстия;  
 $F_0$  – площадь одного отверстия (или одной щели), м<sup>2</sup>;  
 $h_0$  – входные потери напора, м.

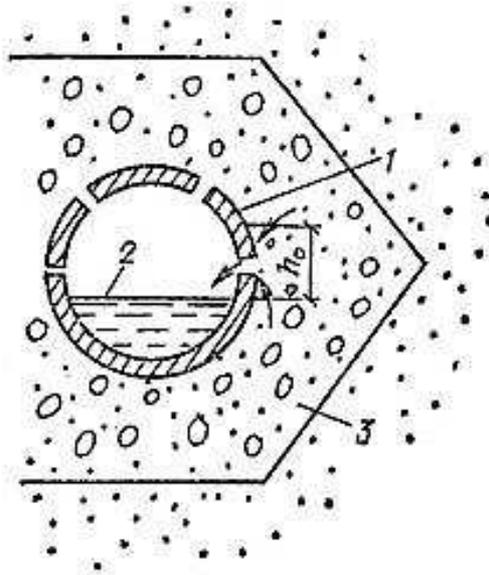


Рис. 2.31. Схема истечения воды из фильтрующей обсыпки во внутреннюю полость водоприемной трубы:

1 – депрессионная поверхность грунтовых вод; 2 – уровень воды в водоприемной трубе; 3 – фильтрующая обсыпка

Коэффициент расхода  $\mu_0$  зависит от числа  $Re$  и отношения  $d_{17}/t_0$ , где  $t_0$  – диаметр отверстия или ширина щели;  $d_{17}$  – диаметр частиц прилегающего слоя обсыпки, соответствующий 17% содержанию их на интегральной кривой расчетного гранулометрического состава.

В расчетный состав обсыпки включаются фракции обсыпки крупнее  $0,4t_0$  – в случае круглых отверстий и  $0,6t_0$  – в случае щелей или зазоров. Число Рейнольдса вычисляется по формуле

$$Re = \frac{t_0 \sqrt{2gh_0}}{\nu}, \quad (2.39)$$

где  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости фильтрующейся воды,  $m^2/c$ ; при температуре грунтовых вод  $10^\circ C$  можно принять  $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6}$ .

Значения коэффициента расхода  $\mu_0$  приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Коэффициент расхода  $\mu_0$  при  $d_{17}/t_0$

Re	$d_{17}/t_0$							
	0,4	0,65	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0
$10^5$	0,33	0,27	0,21	0,33	0,4	0,48	0,51	0,55
$10^4$	0,31	0,25	0,2	0,33	0,4	0,48	0,51	0,55
$5 \cdot 10^3$	0,28	0,24	0,19	0,32	0,4	0,48	0,5	0,55
$2 \cdot 10^3$	0,22	0,2	0,17	0,29	0,36	0,45	0,48	0,53

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6

На практических занятиях предлагается выполнить расчет подруслового горизонтального водозабора, расположенного в среднезернистых песках (см. рис. 2.30).

Исходные данные принять по вариантам:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мощность грунтовых вод $H$ , м	4	2,5	3	3,5	4	3,6	3,8	4,2	2,9
Расстояние от водоупора до уровня воды в дрене $H_0$ , м	0,4	0,4	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6	0,8	0,7
Расстояние от водоупора до дрены $m$ , м	0,2	0,3	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,7	0,6
Мощность водоносного пласта $m_1$ , м	2,0	1,2	1,5	2,1	1,9	2,3	2,6	3,0	1,7
Диаметр дрены $D$ , мм	400	200	200	400	350	400	350	250	200

Рекомендации к выполнению задания:

1. Начертить расчетную схему горизонтального водозабора.
2. По формуле (2.33) определить приведенный диаметр водозабора.
3. Далее по формуле (2.34) определить удельный приток  $Q$  на 1 м длины дрены. Коэффициент фильтрации водоносной породы принять из приложения по таблице П.1 .

4. Определить фактическую скорость воды на входе в фильтр подрусловой дрены:

$$V_{\phi} = \frac{Q}{\pi D}.$$

Допустимая скорость входа определяется по аналогии со скважинными водозаборами (формула (2.2)).

5. При  $V_{\phi} \leq V_{дон}$  отбор воды дреной считается допустимым.
6. По формуле (2.38) посчитать необходимое количество отверстий на 1 м дрены. Отверстия принять круглые диаметром от 1 до 1,5 см,  $d_{17}$  принять 2,25 см.

## 3.2. ЛУЧЕВЫЕ ВОДОЗАБОРЫ

Лучевыми водозаборами называют горизонтальные скважины (трубчатые фильтры), расходящиеся в виде лучей в водоносном пласте от непроницаемых шахтных колодцев (шахт).

Лучевые водозаборы целесообразно применять:

а) в водоносных пластах, кровля которых расположена от дневной поверхности земли на глубине не более 10 м, а мощность водоносного пласта не превышает 20 м;

б) для захвата подземных вод подрусловых аллювиальных отложений в берегах и под руслом рек;

в) в неоднородных по высоте водоносных пластах, когда необходимо полнее использовать наиболее водообильные слои.

Не рекомендуется применять лучевые водозаборы:

а) в галечниковых грунтах при крупности фракций  $D_{60} \geq 70$  мм;

б) при наличии в водоносных породах включений валунов в количестве, превышающем 10%.

Во всех случаях применение лучевых водозаборов должно быть оправдано возможностью существенного увеличения производительности по сравнению со скважинами, шахтными колодцами и горизонтальными водозаборами и соответствующими технико-экономическими преимуществами.

### 3.2.1. Типы лучевых водозаборов

В зависимости от расположения относительно источника питания выделяют следующие типы лучевых водозаборов (рис. 2.32):

– подрусловый располагается под дном реки с шахтой на берегу (рис. 2.32, *а*) или в русле (рис. 2.32, *а'*);

– береговой – при расположении лучевого водозабора на берегу вблизи реки (рис. 2.32, *б*);

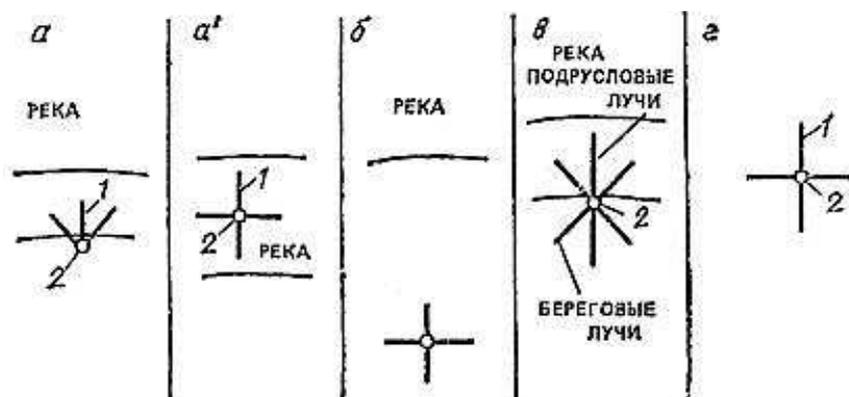


Рис. 2.32. Схемы лучевых водозаборов в плане:

1 – горизонтальная радиальная скважина; 2 – водосборный колодец (шахта)

– комбинированный – водосборная шахта и часть лучей на берегу реки, а другая часть лучей под руслом реки (рис. 2.32, з);

– водораздельный – при расположении лучевого водозабора на значительном расстоянии от источников питания (рис. 2.32, д).

В различных гидрогеологических условиях могут применяться следующие схемы лучевых водозаборов (рис. 2.33):

а) лучевой водозабор обычного типа с одним ярусом горизонтальных скважин-фильтров;

б) малый лучевой водозабор с центральной водосборной скважиной, осуществляемой бурением;

в) многоярусный лучевой водозабор с расположением фильтров на разных уровнях;

г) комбинированные водозаборы с одной или несколькими вертикальными и наклонными скважинами-усилителями, которые бурятся из водосборного колодца и каптируют нижележащий напорный горизонт подземных вод.

Многоярусные лучевые водозаборы в неоднородных в вертикальном разрезе водоносных пластах применяют для более полного захвата подземных вод. Устройство многоярусных водозаборов целесообразно также в мощных однородных пластах, когда один ярус лучей не обеспечивает необходимой производительности, а увеличение числа лучей в одном ярусе их длины и диаметра не дает эффекта или невозможно технически.

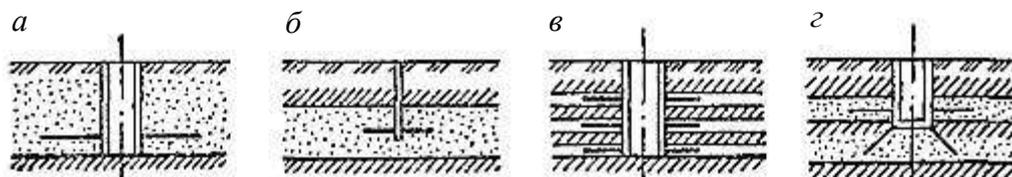


Рис. 2.33. Схемы лучевых водозаборов в разрезе

Для увеличения водоприемной поверхности возможно устройство в стенках и днище водосборной шахты водоприемных окон с заделкой их пористым бетоном.

### 3.2.2. Конструирование лучевых водозаборов

При сооружении лучевых водозаборов водоносный пласт полностью или частично прорезается шахтой, из которой бурят горизонтальные скважины, радиально расходящиеся в виде лучей. Шахта служит для сбора воды из скважин (рис. 2.34).

Водосборный шахтный колодец служит для сбора воды, забираемой из каптируемого водоносного пласта через лучевые горизонтальные фильтры-скважины. В колодце устанавливается насос для откачки воды, а

до начала эксплуатационного периода в процессе строительства – оборудование для проходки горизонтальных скважин.

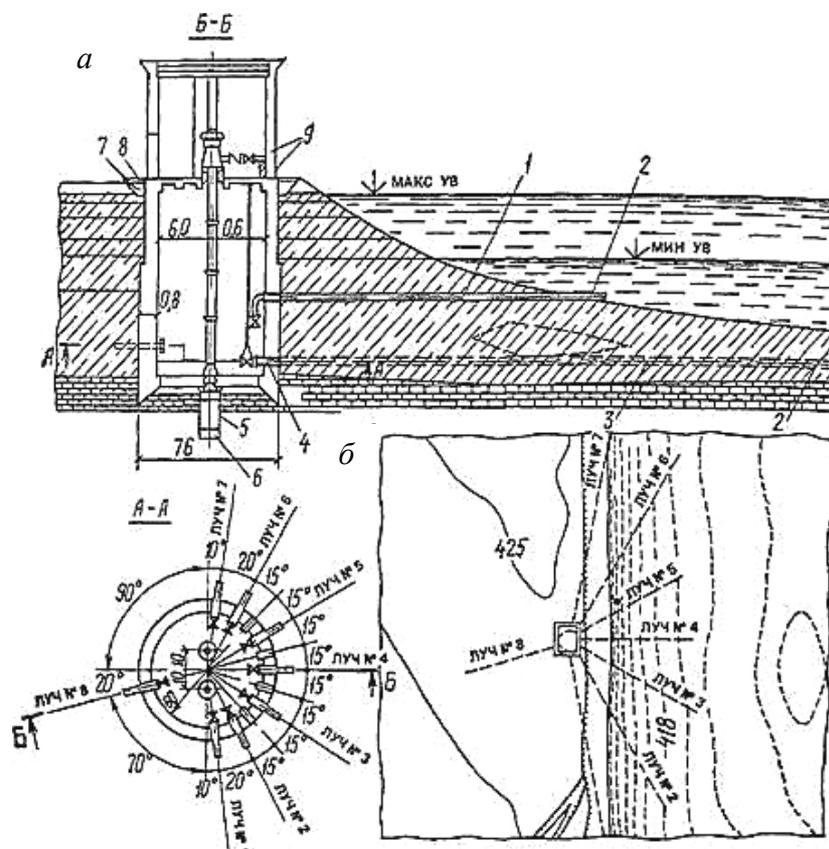


Рис. 2.34. Лучевой водозабор на берегу реки:

*a* – план и разрез, *б* – общая схема;

1 – глухая труба, 2 – конец трубы с буровой головкой, 3 – перфорированная стальная труба, 4 – закладной патрубкок, 5 – обсадная труба, 6 – бетонная пробка, 7 – шлак, 8 – покрытие (асфальт 3 см, песок 10 см, гравий 10 см); 9 – бетонная опора под водовод

Обычно колодец устраивается опускным способом, в особо тяжелых условиях – кессонным способом. Его высота зависит от глубины залегания водоупорного пласта, а также от глубины заложения лучей. В зависимости от условий эксплуатации водозабора лучи-скважины могут быть с затопленными устьями или со свободным изливом воды из них в колодец. Верх колодца должен иметь более высокую отметку, чем отметка максимального уровня воды в источнике. Внутренний диаметр колодца принимается в пределах 1,5 – 6 м в зависимости от оборудования для устройства лучей, условий эксплуатации. Колодцы выполняют из сборного и монолитного железобетона, а при малых диаметрах возможно использование стальных труб.

Число лучевых скважин, их длина, направление, глубина расположения назначаются в зависимости от гидрологических, строительных, инженерных и эксплуатационных условий.

Оставляемые в стенке водосборного колодца отверстия (гнезда) для последующей прокладки горизонтальных лучевых фильтров должны иметь раструбную форму (с расширением внутрь колодца), позволяющую при установке направляющих патрубков-кондукторов после устройства колодца компенсировать перекосы, возможные при его сооружении. С внешней стороны каждое отверстие закрывается стальным листом толщиной 1,5 – 2 мм, приваренным к арматуре. Эта перемычка пробивается направляющей буровой головкой, расположенной в начале колонны фильтровых труб и их проходки.

Существуют различные способы устройства горизонтальных скважин-лучей. Для большинства этих способов используется метод продавливания отдельных звеньев труб с помощью домкратов, устанавливаемых в шахте. По мере заглубления звенья наращиваются. Для облегчения проходки грунт из забойной зоны частично удаляют.

Длина вдавливаемых звеньев, определяемая размерами шахты-колодца, принимается равной 1 – 2,5 м. Диаметр вдавливаемых труб составляет 50 – 300 мм, а полная длина луча – от 5 до 80 м.

При производстве работ на конце первой секции устанавливают направляющую буровую головку (рис. 2.35).

Направляющая буровая головка продавливаемой в грунт колонны труб имеет форму цилиндра, переходящего в передней части в конус или параболоид. Шламосборные отверстия в буровой головке выполняются в ее лобовой или боковой части и имеют прямоугольную, круглую, овальную или кольцевую форму.

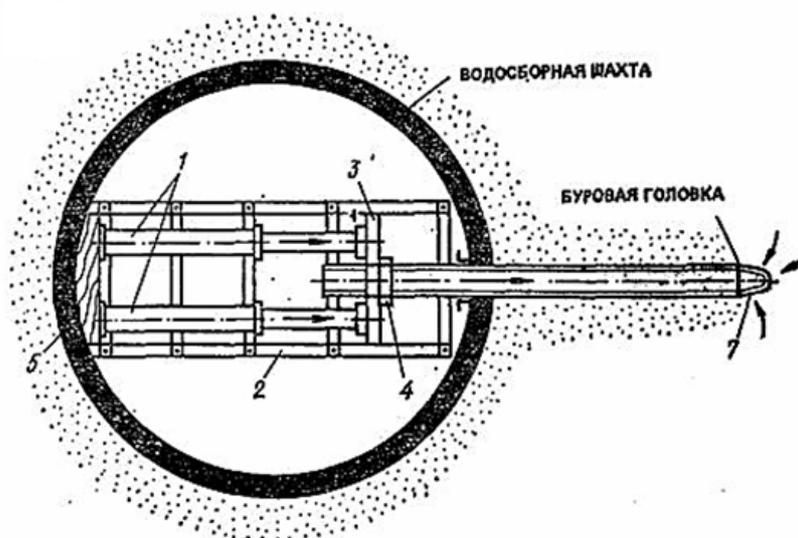


Рис. 2.35. Схема устройства скважин лучевого водозабора:

1 – гидравлические домкраты; 2 – опорная рама; 3 – нажимная балка; 4 – цанговый захват; 5 – упорный брус

В связи с часто наблюдающимся отклонением труб от горизонтали вверх целесообразно применение буровых головок с соотношением площади верхних и нижних отверстий для забора шлама 2:3. Для этих целей служат также буровые головки со скошенной вниз передней частью, с горизонтальными открьлками, с поворотной лобовой частью и т. д.

Ниже приведены две схемы конструкций буровых головок.

На рисунке 2.36 изображена буровая головка открытого типа, которая, двигаясь вперед, захватывает специальными шламозаборными отверстиями разжиженный грунт из водоносного пласта. Отличительной чертой головки является большая шламозахватная способность. Острые кромки шламозаборного отверстия врезаются в грунт, который вместе с водой по специальной трубе стекает в шахтный колодец строящегося водозабора.

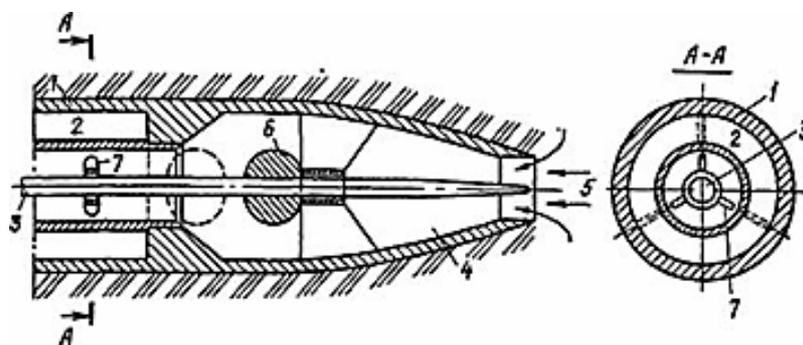


Рис. 2.36. Открытая буровая головка:

1 – залавливаемая в грунт фильтровая труба; 2 – шламовая труба; 3 – буровая штанга; 4 – ударный наконечник буровой штанги; 5 – шламозаборное отверстие; 6 – запорный клапан; 7 – фиксирующая шламозаборные трубы крыльчатка

Другой тип буровой головки (рис. 2.37) использует свойство грунта терять устойчивость и течь под воздействием вибрации. В конце обтекаемого стального насадка вмонтирован заостренный наконечник, на который передает удары управляемая из шахтного колодца штанга.

Помимо указанных существуют и другие способы проходки горизонтальных скважин.

Проходка горизонтальных скважин продавливанием в грунт фильтров (рис. 2.38. а, б, д) применяется преимущественно в разнородных песчано-галечных грунтах крупностью  $0,5 \leq D_{60} \leq 50$  мм. При этом фильтровые трубы подбираются с учетом их прочности, которая должна быть достаточной для восприятия усилий от домкратов. В связи с этим скважность фильтра должна быть возможно меньшей (не более 20%). В случае возможности подбора фильтров достаточной прочности, например, по

схеме (рис. 2.38, б), где малопрочный пористый материал заключен в кольцевом пространстве перфорированных труб, данный метод может применяться и в однородных песчаных грунтах, в том числе мелкозернистых и маловодообильных; пористый материал может применяться и многослойным.

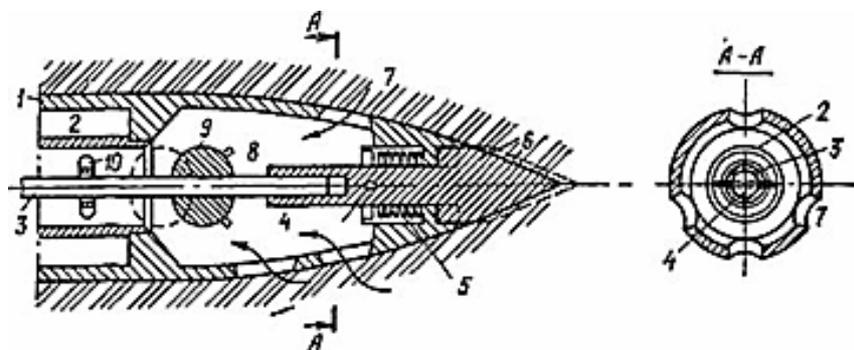


Рис. 2.37. Ударно-рыхлительная буровая головка:

1 – залавливаемая в грунт труба; 2 – шламовая труба; 3 – буровая ударная штанга; 4 – удерживающая пружину чека; 5 – пружина (работает на сжатие); 6 – ударно-рыхлительный наконечник; 7 – шламосборное отверстие; 8 – рыхлительше рожки; 9 – запорный клапан; 10 – фиксирующая крыльчатка

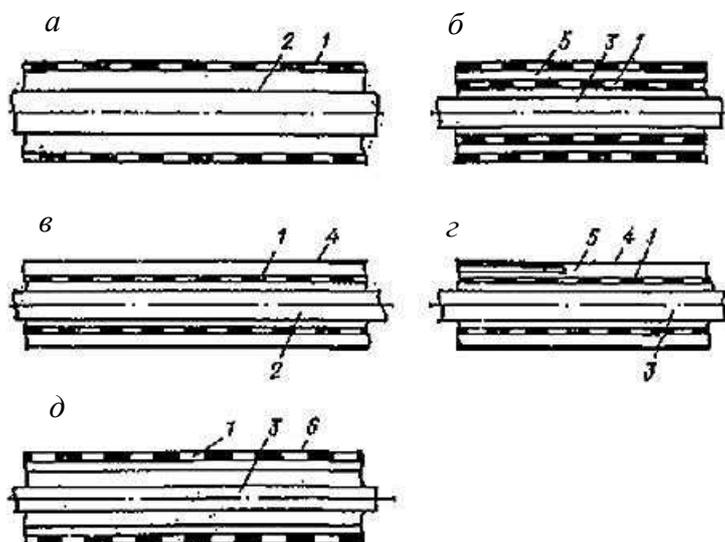


Рис. 2.38. Схемы основных способов устройства горизонтальных скважин:

а – вдавливание фильтровых труб; б – вдавливание фильтровых труб с кольцевым мелкозернистым заполнителем; в – проходка скважин с обсадкой; г – то же, с устройством песчано-гравийного фильтра методом намыва; д – проходка с предварительным вдавливанием толстостенной сплошной трубы;

1 – фильтровые трубы; 2 – шламовая труба; 3 – промывная труба; 4 – обсадная труба; 5 – песчано-гравийный фильтр (или связный пористый материал); 6 – толстостенная сплошная труба

Проходка горизонтальных скважин с использованием обсадных труб (рис. 2.38, з) применяется в мелкозернистых песчаных, супесчаных и суглинистых грунтах, а также в случае фильтрационной неоднородности грунтов по длине луча. После обсадки скважины и установки фильтров обсадные трубы извлекаются.

Одной из модификаций метода является устройство песчано-гравийного фильтра путем намыва песчано-гравийной массы в кольцевое пространство между обсадкой и фильтровой трубой (рис. 2.38, з). Недостатком данного метода является большая, чем в первом методе, сложность работ, связанных с возможным возникновением трудностей по извлечению обсадных труб.

Для отвода грунта из забоя горизонтальной скважины одновременно с фильтровыми и обсадными трубами на период проходки устанавливается шламовая труба, по которой грунт с водой выносится в шахтный колодец, откуда в последующем удаляется.

Оборудование лучевых водозаборов состоит из водоподъемной установки, соединительных всасывающих и напорных водоводов, задвижек и контрольно-измерительной аппаратуры.

Для подъема воды из водосборного колодца могут применяться обычные и погружные центробежные насосы с горизонтальным или вертикальным расположением вала.

Обычные насосы устанавливаются на специальном перекрытии, расположенном внутри шахты или на плавучем устройстве (например, на понтоне). В любом случае расстояние от оси насоса до уровня воды должно быть меньше высоты всасывания насоса. Всасывающие патрубки насосов могут быть опущены под уровень воды в колодце или могут подключаться непосредственно к концам скважин лучей. При этом в лучах создается пониженное давление, что способствует дополнительному притоку воды и увеличению производительности водозабора.

Глубинные насосы (в том числе и погружные) применяются при подъеме воды с глубины более 7 м. Наибольшее применение имеют погружные насосы марок ЭЦВ и ЭПН, которые устанавливаются под уровень воды в водосборном колодце.

Для контроля расхода и напора воды, поступающей из лучей, на каждом из них устанавливается водомерное устройство и пьезометр. Для контроля уровня воды в водосборном колодце он оборудуется уровне-

ром. Для учета расхода воды, поступающей из водозабора, на напорных патрубках насосов устанавливаются расходомеры.

### 3.2.3. Расчет лучевых водозаборов

Дебит лучевого водозабора зависит от гидрогеологических условий, понижения уровня воды в водосборном колодце, длины, числа, диаметра и глубины заложения лучевых горизонтальных скважин.

При выборе основных параметров лучевых водозаборов нужно учитывать следующее:

– по фильтрационным соображениям оптимальное число лучей, равномерно расположенных по периметру водосборного колодца, находится в пределах  $3 \leq N \leq 7$ ;

– производительность лучевого водозабора непрямо пропорциональна увеличению длины лучей;

– диаметр лучевых дрен и наружный диаметр водосборного колодца меньше влияют на производительность водозабора, чем длина, число и глубина заложения дрен.

Дебит лучевого водозабора определяется по следующей общей зависимости:

$$Q = 2\pi kmS \left( \frac{1}{R_{\bar{o}}} + \frac{1}{R_n} \right), \quad (2.40)$$

где  $R_{\bar{o}}$  и  $R_n$  – фильтрационные сопротивления радиальной системы соответственно береговых и подрусловых горизонтальных скважин;

$S$  – понижение уровня воды в водосборном колодце лучевого водозабора

$$S = H_e - H_o, \quad (2.41)$$

где  $H_e$  и  $H_o$  – напор воды соответственно в водоносном пласте до начала откачки и в водосборном колодце при эксплуатации лучевого водозабора (статический и динамический уровни воды);

$k$  – коэффициент фильтрации;

$m$  – мощность пласта.

При расчете берегового лучевого водозабора, т. е. когда подрусловые лучи отсутствуют, можно полагать  $R_n = \infty$ , следовательно,  $1/R_n = 0$ .

Фильтрационное сопротивление береговых скважин:

$$R_{\delta} = (\ln V_r + 2\eta \ln V_T) \frac{m}{lkN_{\delta}}, \quad (2.42)$$

где  $V = \sqrt{\frac{4L-l}{4L+l}}$ ;  $V_r = \frac{lV}{1,36r_0}$ ;  $V_T = \frac{l + \sqrt{l^2 + 4m^2}}{2m} V$ ;

$N_{\delta}$  – число лучей водозабора, расположенных равномерно по кругу;  
 $L$  – расстояние от вертикальной оси водосборного колодца до уреза воды в водоеме (водотоке);

$l$  – длина луча;

$r_0$  – радиус луча.

Значения коэффициентов взаимодействия лучей  $k$  и  $\eta$  приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Значения коэффициентов  $k$  и  $\eta$

$N_{\delta}$	$l/m$				
	2	4	6	8	10
коэффициент $k$					
3	0,63	0,67	0,70	0,71	0,72
4	0,48	0,52	0,57	0,60	0,63
6	0,33	0,38	0,40	0,45	0,47
8	0,28	0,33	0,36	0,42	0,45
$L/m$	коэффициент $\eta$				
50	4,5	5,0	6,2	7,0	8,0
25	4,2	4,5	5,5	6,2	7,0
10	2,8	3,5	4,0	4,5	5,0

Фильтрационное сопротивление подрусовых лучей:

$$R_n = (u_0 + u_n) \frac{m}{lN_n}, \quad (2.43)$$

где  $u_0 = \ln \frac{3cml \left[ l + \sqrt{l^2 + 16(m-c)^2} \right]}{r_0(m-c) \left( l + \sqrt{l^2 + 16m^2} \right) \left( \sqrt{l^2 + 16c^2} \right)}$ ;

$N_n$  – число лучей под руслом реки;

$c$  – заглубление лучей под русло реки.

Функция  $u_n$  для случаев, когда  $l/m \geq 3$  выражается так:

$$u_n = \frac{N_n + 2}{3} \ln \left\{ 1 + \left[ \frac{4m}{(t - 0,5m) \sin \theta} \right] \right\},$$

где  $\theta$  – угол между лучами.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 7

На практических занятиях предлагается

1. Выполнить расчет лучевого водозабора, расположенного на расстоянии 80 м от берега реки.

Исходные данные принять по вариантам:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мощность водоносного пласта, сложенного супесью $m$ , м	5	6	4	7	4	5	6	5	6
Величина понижения уровня воды $S$ , м	8	9	10	7	6	8	10	7	6
Количество лучей	4	5	6	7	4	5	6	7	4
Длина лучей, м	30	25	35	40	30	45	20	50	45
Диаметр лучей, мм	100	150	100	200	150	300	200	250	150

Рекомендации к выполнению задания:

1. Определить фильтрационное сопротивление береговых лучей по формуле (2.42).

2. По формуле (2.40) определить дебит руслового водозабора.

### Самоконтроль по УЭ-3:

1. Вспомните, при каких условиях применяются каменно-щебеночные и трубчатые горизонтальные водозаборы.

2. Вспомните, какие основные элементы входят в состав горизонтального водозабора.

3. Назовите типы лучевых водозаборов.

## УЭ-4. КАПТАЖИ

### Узловой вопрос для изучения УЭ-4

Каптаж источников (родников):

- конструкции каптажа;
- расчет каптажа.

### 4.1. КАПТАЖ ИСТОЧНИКОВ (РОДНИКОВ)

Родниковые воды характеризуются малой мутностью и высокими санитарными качествами по сравнению с поверхностными водами. Они широко используются как в системах водоснабжения небольших населенных пунктов, так и в крупных системах водоснабжения.

Родниковые воды, выходящие на дневную поверхность, отбирают специальными водозаборными сооружениями – каптажами.

Каптаж (захват) заключается во вскрытии и оборудовании таких источников, которые обеспечивают концентрированное поступление воды в водозаборное сооружение.

В зависимости от условий выхода на поверхность родники бывают двух типов – восходящие и нисходящие. Нисходящие источники образуются в местах выхода на поверхность водоносных пластов, лежащих на водонепроницаемых породах.

Восходящие родники образуются при выходе напорных вод в местах нарушения целостности перекрывающих их водонепроницаемых пластов.

#### **4.1.1. Конструкции каптажа**

Конструкция каптажных сооружений выбирается в зависимости от гидрогеологических условий выхода подземных вод на поверхность земли, морфологии места выхода источника, мощности отложений, покрывающих водоносный пласт, и расхода источника.

При сосредоточенном выходе подземных вод каптажное сооружение устраивается в виде камеры-колодца, расположенного над выходом восходящего источника или перед выходом нисходящего источника.

При рассредоточенном выходе подземных вод на поверхность земли в виде отдельных источников, отстоящих один от другого на расстоянии более 5 м, каптаж их осуществляется отдельно со сбором воды в общую водосборную камеру. Такой общей камерой может быть камера на основном (наибольшем по дебиту) выходе подземных вод или специальная сборная камера вне выхода подземных вод. При рассеянном сплошном, но слабо выраженном выходе подземных вод на участке каптаж их осуществляется с помощью горизонтальных трубчатых или галерейных водозаборов со сбором из них воды в общую водосборную емкость.

Каптаж источников подземных вод во избежание загрязнения осуществляется до их выхода на дневную поверхность с захватом, исключаящим выход вод в обход каптажа.

Нисходящие источники приурочены обычно к склонам горных возвышенностей и долин оврагов, балок, рек. Каптаж таких источников врезается в склон в расчете на прием воды через его нагорную стенку. Для этого в ней предусматриваются соответствующие отверстия. Перед отверстиями, т. е. между стенкой каптажа с водоприемными отверстиями и обнаженной поверхностью водоносного пласта, устраивается обратный фильтр, материал которого подбирается в зависимости от литологии и состава пород водоносного пласта. При небольшой мощности водоносного пласта и

близком залегании водоупора днище каптажной камеры заглубляется ниже подошвы пласта на величину, позволяющую расположить расходную трубу и создать над ней необходимый напор для дальнейшего транспортирования. При этом для более полного отбора воды из пласта уровень ее в каптажной камере не должен быть выше подошвы пласта.

При большой мощности водоносного пласта и глубоком залегании водоупора каптаж по глубине вскрытия пласта может быть несовершенным. Глубина заложения нижнего ряда водоприемных отверстий в стенке каптажа и заглубление его днища при этом определяются исходя из требуемой производительности каптажа с учетом создания в нем условий для дальнейшего транспорта воды.

Каптаж нисходящих источников сооружается при необходимости с водоулавливающими стенками-барражами, вдоль которых со стороны потока подземных вод выкладывается призма из фильтрующего материала, сопрягающегося с обратным фильтром каптажа.

Из восходящих источников прием воды осуществляется в соответствии с ее движением снизу вверх, через дно каптажного устройства. В случаях, когда восходящий источник выходит из водоносного пласта, представленного скальными трещиноватыми, но крепкими породами, прием воды днищем каптажа осуществляется через один слой фильтрующего материала – крупного гравия, гальки или щебня, неразмокаемых в воде пород. При выходе восходящего источника из рыхлых водоносных пород, в особенности из песков, прием воды в каптаж осуществляется через обратные фильтры, располагаемые под днищем каптажа, в расчете на исключение выноса из пласта мелких частиц породы.

Для нормальной работы каптажа необходимо:

- а) достаточно полно по площади и глубине вскрыть выход источника;
- б) предохранить источник от промерзания и попадания в него поверхностных загрязнений, насекомых, пресмыкающихся, животных;
- в) принять меры по предотвращению образования оползней, размывов и обвалов в месте расположения каптажа;
- г) обеспечить надежную вентиляцию каптажа.

Для эксплуатации каптажа в нем должны быть устройства для сброса излишков воды, осаждения и удаления выпавших из воды взвесей, замера и регулирования подачи воды потребителю.

Каптажные камеры чаще сооружаются из сборного железобетона, но находят применение кирпичные и глиняно-каменные каптажные камеры.

Конструкции железобетонных камер для каптажа восходящих и нисходящих источников показаны на рисунке 2.39.

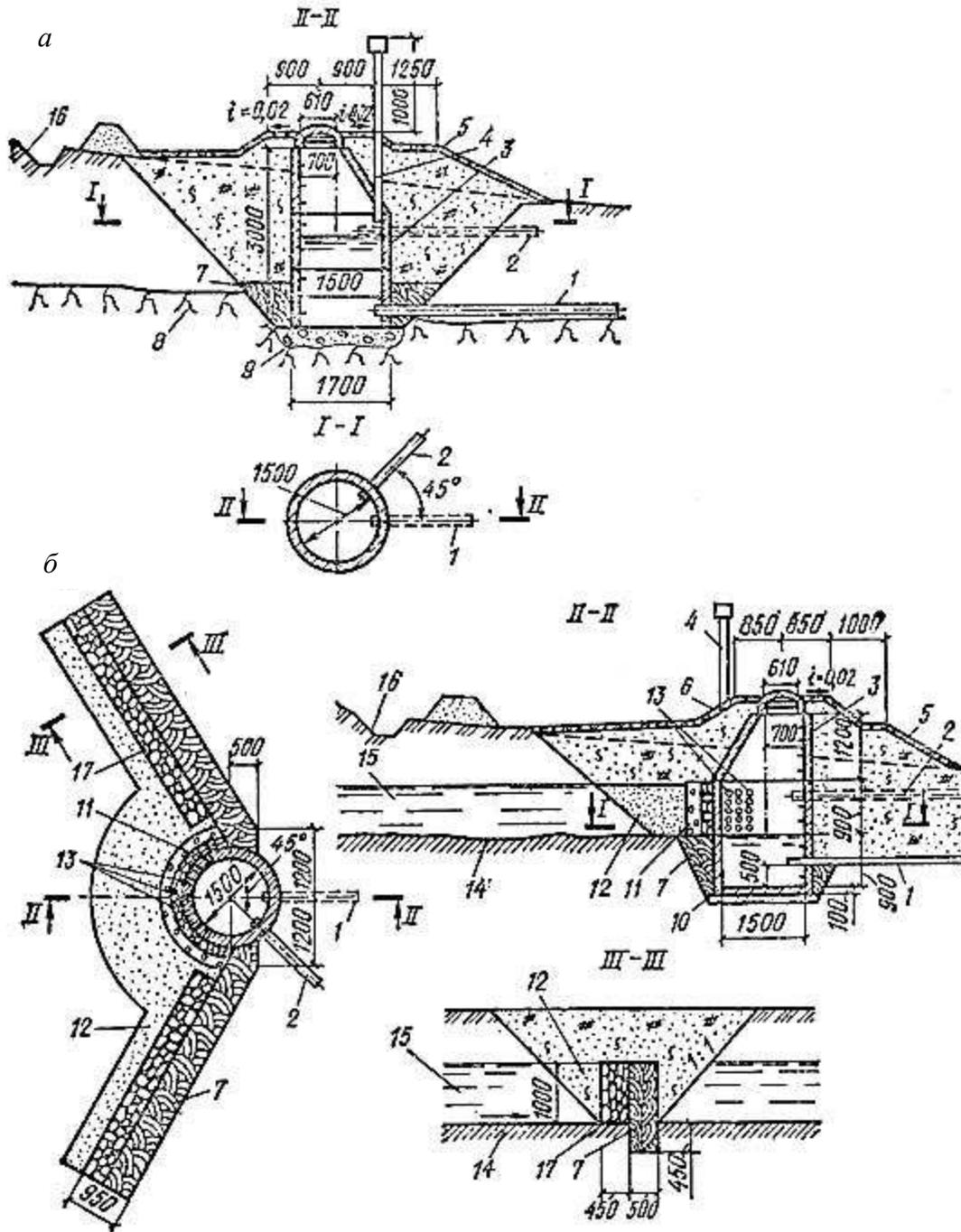


Рис. 2.39. Железобетонная каптажная камера:

*а* – для восходящего источника; *б* – для нисходящего источника;

1 – расходная труба; 2 – переливная труба; 3 – кольца; 4 – вентиляционная труба; 5 – растительный слой; 6 – глиняно-щебеночная отмостка; 7 – плотно утрамбованный глинистый грунт; 8 – скальный грунт; 9 – слой гравия; 10 – железобетонная плита дна; 11 – фильтр из гравия и гальки; 12 – засыпка песком; 13 – водоприемные отверстия; 14 – водоупорный пласт или нижняя граница каптируемой части водоносного пласта; 15 – водоносный пласт; 16 – нагорная канава; 17 – гравийная дренирующая отсыпка

Конструкции кирпичных камер для каптажа как восходящих, так и нисходящих источников показаны на рисунке 2.40.

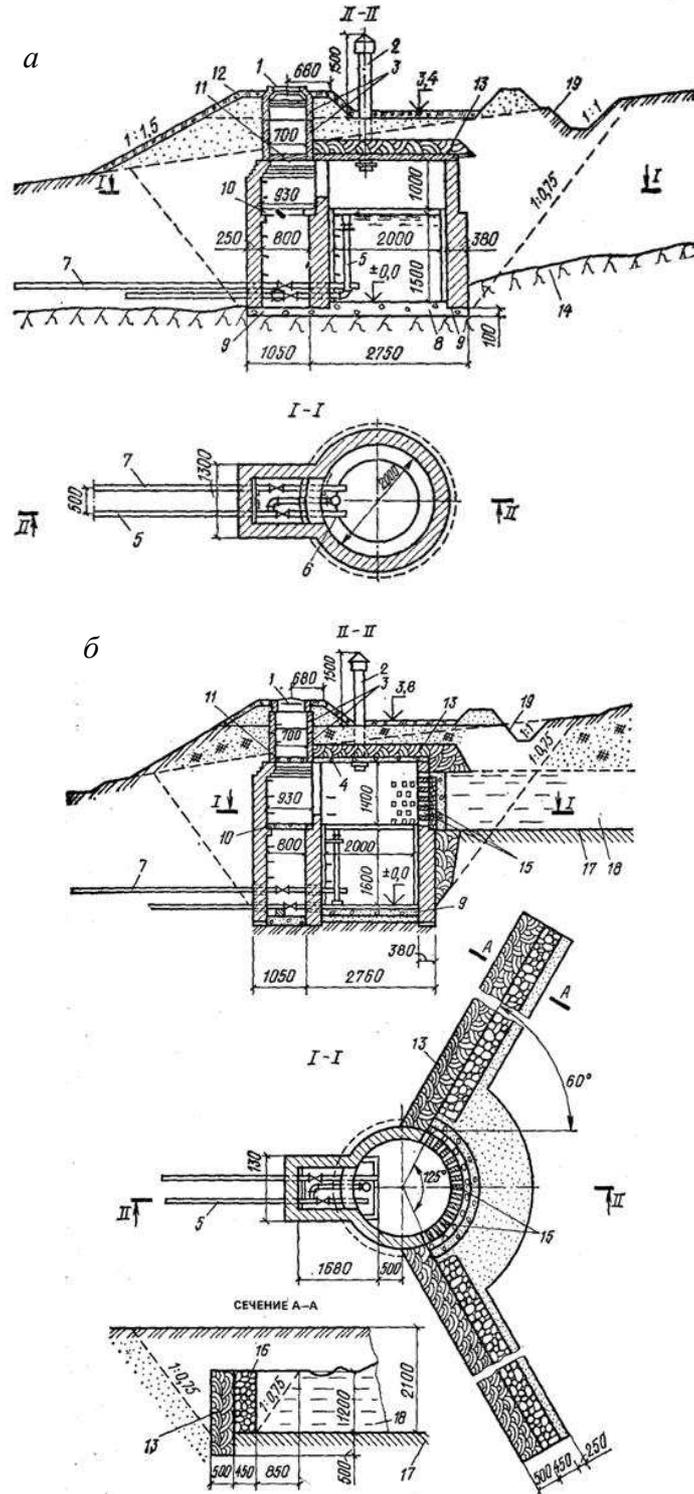


Рис. 2.40. Кирпичная каптажная камера:

*a* – для восходящего источника; *б* – для нисходящего источника;

1 – люк чугунный; 2 – вентиляционная труба асбестоцементная; 3 – железобетонные кольца; 4 – железобетонные плиты; 5 – переливная труба; 6 – грязевая труба; 7 – расходная труба; 8 – гравийная подушка; 9 – бетон; 10 – железобетонная труба; 11 – крышка из досок; 12 – растительный грунт; 13 – плотно утрамбованный глинистый грунт; 14 – скальный грунт; 15 – водоприемные отверстия; 16 – гравийная дренажная отсыпка; 17 – водоупорный пласт; 18 – водоносный пласт; 19 – нагорная канава

Конструкция глиняно-каменной камеры для каптажа неглубоко залегающих источников показана на рисунке 2.41. Она состоит из каменной наброски, закрытой сверху и с боков слоем плотно утрамбованной глины. Поверх каменной наброски укладывается гравийный или щебеночный слой для предохранения выноса грунта в каменную наброску.

В каптажной камере следует предусматривать переливную трубу, рассчитанную на наибольший дебит родника, с установкой на конце клапана-захлопки, вентиляционную трубу и спускную трубу диаметром не менее 100 мм.

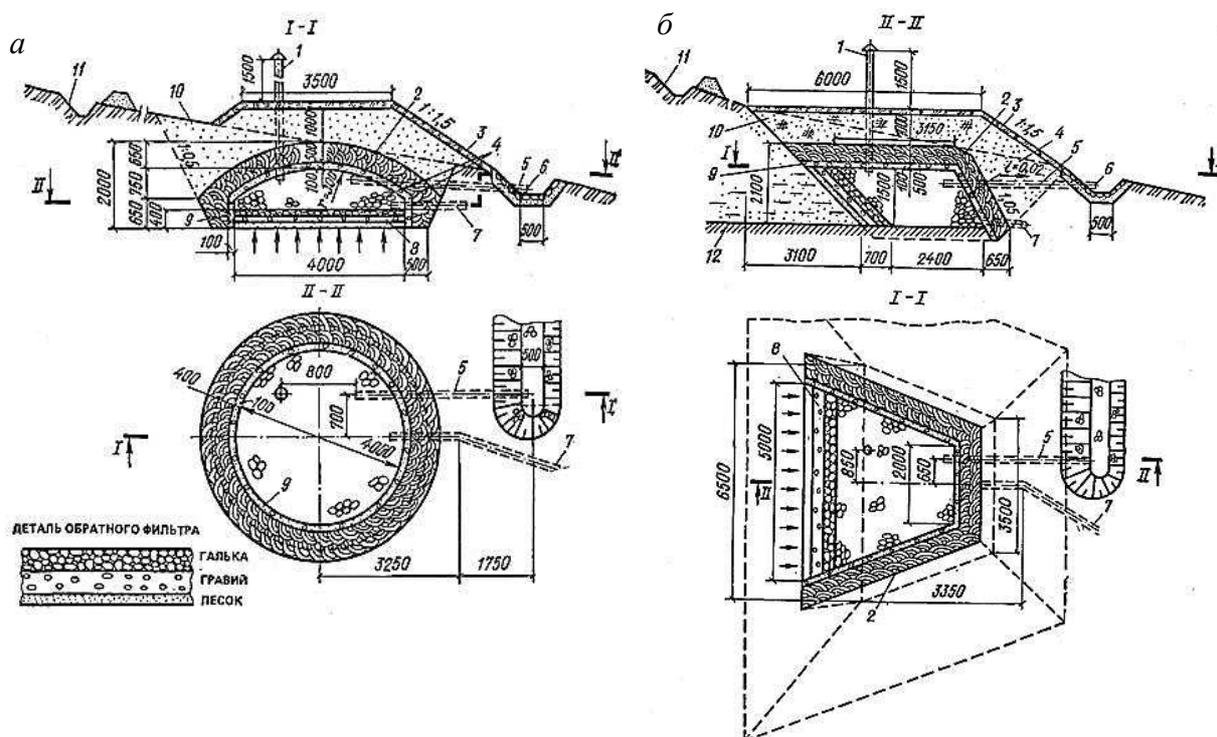


Рис. 2.41. Глиняно-каменная каптажная камера:

*а* – для восходящего источника; *б* – для нисходящего источника;

1 – вентиляционная труба,  $d = 150$  мм; 2 – утрамбованный глинистый грунт; 3 – крепление растительным грунтом; 4 – каменная наброска; 5 – переливная труба,  $d = 100$  мм; 6 – латунная сетка; 7 – расходная труба; 8 – обратный фильтр (галька –  $d = 1640$  мм, гравий –  $d = 37$  мм, песок –  $d = 0,5 - 1$  мм); 9 – гравийный защитный слой; 10 – насыпной грунт; 11 – нагорная канава; 12 – водоупорный пласт

#### 4.1.2. Расчет каптажа

Возможный дебит каптажных сооружений устанавливают на основе наблюдений за режимом выхода родниковых вод. В качестве расчетного принимается расход той или иной обеспеченности, величина которой должна составлять не менее 95 – 97%.

### **Самоконтроль по УЭ-4:**

1. Вспомните, как подразделяются родники по условиям выхода на дневную поверхность.
2. Назовите, какие основные требования предъявляются при устройстве каптажа для его нормальной работы.
3. Из каких материалов могут устраиваться каптажные камеры?

## **УЭ-5. ИСКУССТВЕННОЕ ПОПОЛНЕНИЕ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-5:**

1. Водозаборы в системах искусственного пополнения подземных вод: – типы инфильтрационных сооружений.
2. Проектирование и расчет водозаборов в системах искусственного пополнения подземных вод.

### **5.1. ВОДОЗАБОРЫ В СИСТЕМАХ ИСКУССТВЕННОГО ПОПОЛНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Длительная либо интенсивная эксплуатация водозаборов подземных вод может привести к истощению запасов подземных водоносных горизонтов и, в конечном счете, к снижению производительности либо к полному выходу из строя водозабора. Решением проблемы может быть искусственное пополнение запасов подземных вод. В практике водоснабжения все более широкое применение находят инфильтрационные водозаборы при искусственном пополнении подземных вод (ИППВ). Сущность этого метода состоит в переводе поверхностной воды в подземный водоносный горизонт через специально устраиваемые инфильтрационные сооружения. Кроме того, метод позволяет во многих случаях полностью или частично отказаться от устройства сооружений для предварительной очистки воды. Это позволяет рассматривать водозаборы с искусственным пополнением подземных вод как альтернативу водозаборам из поверхностных источников, например, при высокой мутности воды либо при обмелении источника в определенные периоды года.

Под искусственным пополнением подземных вод понимается комплекс инженерно-технических мероприятий, которые обеспечивают дополнительное по сравнению с естественными условиями питание подземных вод или формирование новых их запасов. В качестве источника искус-

ственного пополнения запасов подземных вод могут быть использованы поверхностные воды рек, водохранилищ, озер, каналов, а в отдельных случаях также шахтные и дренажные воды, используемые на установках кондиционирования воздуха или на системах охлаждения производственного оборудования и аппаратуры, и некоторые другие виды незагрязненных сточных вод. Источником пополнения водоносного горизонта может служить также другой водоносный горизонт.

Использование метода искусственного пополнения позволяет увеличивать производительность водозаборов подземных вод, обеспечивать более равномерную их эксплуатацию, улучшить качество подаваемой потребителю воды, предохранять эксплуатируемый водоносный горизонт от загрязнения и засоления, предотвращать, нежелательное понижение уровня подземных вод, приводящее к гибели растительности, высыханию водоемов и т.д.

Наиболее благоприятные условия для искусственного пополнения создаются в районах с теплым и умеренным климатом, при использовании в качестве источника пополнения озер и рек, обладающих достаточным стоком в течение всего года и требуемым качеством воды, при эксплуатации сложенного хорошо проницаемыми породами безнапорного водоносного горизонта (если исключена возможность его загрязнения), при малых мощностях покровных слабопроницаемых отложений и отсутствии в водоносном горизонте выдержанных прослоев слабопроницаемых грунтов, препятствующих или сильно затрудняющих фильтрацию воды.

Целесообразность применения метода искусственного пополнения подземных вод с учетом перечисленных факторов устанавливается на основании технико-экономических расчетов.

### **5.1.1. Типы инфильтрационных сооружений**

Инфильтрационные сооружения разделяются на два основных типа:

- 1) открытые (бассейны, каналы, площадки и др.);
- 2) закрытые (поглощающие скважины, шахты, колодцы, галереи).

Целесообразность применения инфильтрационных сооружений того или иного типа определяется климатическими и геолого-гидрологическими условиями участка, отведенного для сооружений искусственного пополнения, гидрологической характеристикой источника пополнения, наличием свободных площадей и целями пополнения. Одна и та же система искусственного пополнения (СИП) может включать в свой состав инфильтрационные сооружения различных типов.

#### 5.1.1.1. Открытые инфильтрационные сооружения

Инфильтрационными сооружениями открытого типа являются бассейны, каналы, площадки, канавы и борозды.

Открытые инфильтрационные сооружения являются наиболее подходящими для районов, характеризующихся короткими периодами отрицательных температур или их отсутствием.

В отдельных случаях может оказаться целесообразным использование открытых инфильтрационных сооружений и в районах с суровым климатом, особенно при наличии в водоносном пласте большой регулирующей емкости.

Наибольшее применение в СИП получили инфильтрационные бассейны, реже – каналы.

В качестве открытых инфильтрационных сооружений могут также использоваться естественные и искусственные понижения рельефа (овраги, балки, староречья, высохшие озера, карьеры, пруды), а также русла временных и постоянных водотоков, которые расчищаются, перегораживаются валами, земляными перемычками или каменными набросками.

**Инфильтрационные бассейны** (рис. 2.42) имеют, как правило, прямоугольную форму в плане и трапециевидное (реже прямоугольное) поперечное и продольное сечения.

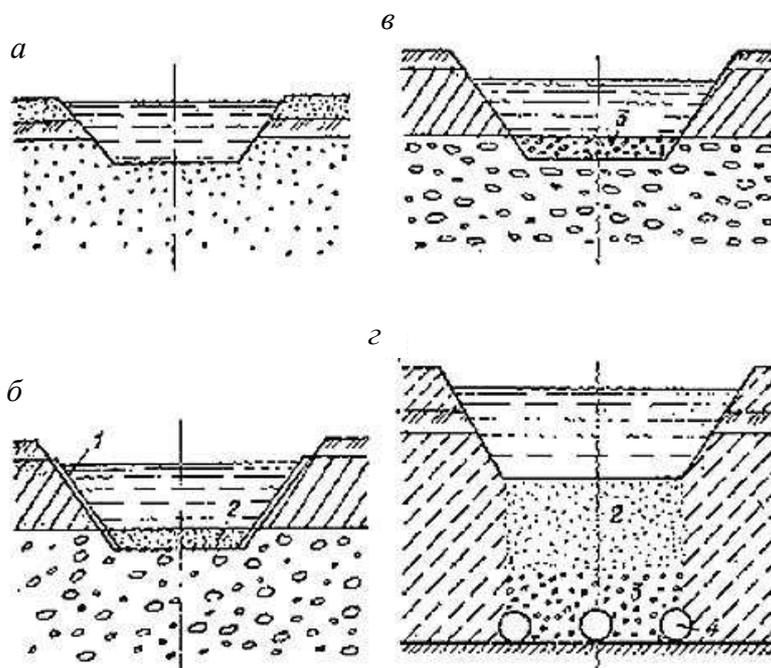


Рис. 2.42. Схемы инфильтрационных бассейнов:

*а* – без загрузки дна; *б* – с песчаной загрузкой дна; *в* – с гравийной загрузкой; *г* – с дренами под днищем бассейна;

1 – крепление; 2 – песчаная загрузка; 3 – гравийная загрузка; 4 – дренаи

На крупных установках искусственного пополнения применяются бассейны шириной по дну 15 – 30 м, длиной 200 – 400 м. Глубина бассейна обычно не превышает 3 – 4 м (чаще до 2,5 м). При наличии слабопроницаемых покровных отложений днища бассейнов должны врезаться в хорошо фильтрующие породы на глубину не менее 0,5 м. Общая глубина бассейна от днища до верха откоса должна превышать глубину его наполнения не менее чем на 0,5 м.

Заложение откосов бассейнов принимается в пределах от 1:1 до 1:3,5. Один из торцевых откосов бассейна может быть более пологим, чем остальные. Заложение его определяется возможностью съездов и въездов машин и механизмов, используемых для чистки бассейна. Иногда съезды и въезды предусматриваются на продольных откосах бассейна.

Инфильтрационные бассейны могут устраиваться:

- а) без загрузки дна;
- б) с песчаной загрузкой дна;
- в) с гравийной загрузкой дна;
- г) с укладкой под днищем бассейна дренажных труб и последующей обсыпки слоями гравия и песка.

Песчаная и гравийная загрузка дна предусматривается при устройстве бассейнов в гравийно-галечниковых отложениях. Толщина загрузки составляет 0,5 – 0,8 м. Крупность зерен песчаной загрузки 0,5 – 2 мм, гравийной 3 – 8 мм.

Подача воды в инфильтрационные бассейны может производиться с помощью:

- а) одного или двух водовыпусков, размещенных в середине продольного откоса бассейна или в его торцевых откосах;
- б) аэрационных каскадов, устраиваемых на одном или обоих продольных откосах бассейна;
- в) разбрызгивающих сопел.

**Инфильтрационные каналы** имеют большую длину, чем бассейны, и общее их число в составе СИП оказывается обычно малым. Это снижает маневренность СИП в целом.

**Инфильтрационные площадки** отличаются от бассейнов меньшей глубиной, при их сооружении растительный и почвенный слой не удаляются.

**Канавы и борозды** применяются в топографических условиях, характеризующихся большими уклонами поверхности и наличием неровностей, исключаящих или затрудняющих устройство бассейнов. По конструкции они сходны с ирригационными системами.

#### 5.1.1.2. Закрытые инфильтрационные сооружения

Закрытые инфильтрационные сооружения по сравнению с открытыми обладают преимуществами: возможностью пополнения относительно глубоко залегающих водоносных горизонтов или первого от поверхности земли водоносного пласта, прикрытого сверху мощным водоупорным слоем; малой зависимостью от климатических условий и др.

Однако из-за таких недостатков этих сооружений, как высокие требования к качеству подаваемой в них воды, создание больших инфильтрационных поверхностей, затруднительность восстановления их фильтрующей способности применение их рекомендуется лишь в тех случаях, когда нет возможности использовать инфильтрационные сооружения открытого типа.

В зависимости от характера размещения в водоносном пласте закрытые инфильтрационные сооружения подразделяются на горизонтальные и вертикальные.

Горизонтальные закрытые инфильтрационные сооружения – трубчатые дрены, галереи и штольни – не нашли широкого применения в практике пополнения запасов подземных вод, что объясняется отсутствием эффективных методов восстановления их производительности и несовершенством самих конструкций.

Наибольшее распространение получили вертикальные закрытые инфильтрационные сооружения – главным образом буровые скважины и сравнительно редко шурфы и шахтные колодцы.

Буровые скважины по назначению и условиям эксплуатации можно подразделить на следующие типы:

- поглощающие скважины;
- дренажно-поглощающие скважины.

Конструкции поглощающих и дренажно-поглощающих скважин показаны на рисунке 2.43.

Поглощающие скважины подают воду непосредственно в эксплуатируемый пласт. Они эксплуатируются как в режиме (налива) при самотечной подаче воды, так и в режиме принудительной закачки под давлением.

Поглощающие скважины, как правило, сооружаются большим диаметром с установкой фильтров из антикоррозионных материалов и устройством гравийной обсыпки.

Дренажно-поглощающие скважины предназначены для дренирования верхнего водоносного горизонта с подачей воды в нижний пласт. Эти скважины оборудуются фильтрами на оба горизонта. Для улучшения усло-

вий дренирования или перетока гравийная обсыпка может устраиваться не только в интервале установки фильтров, но и в пределах слабопроницаемой прослойки.

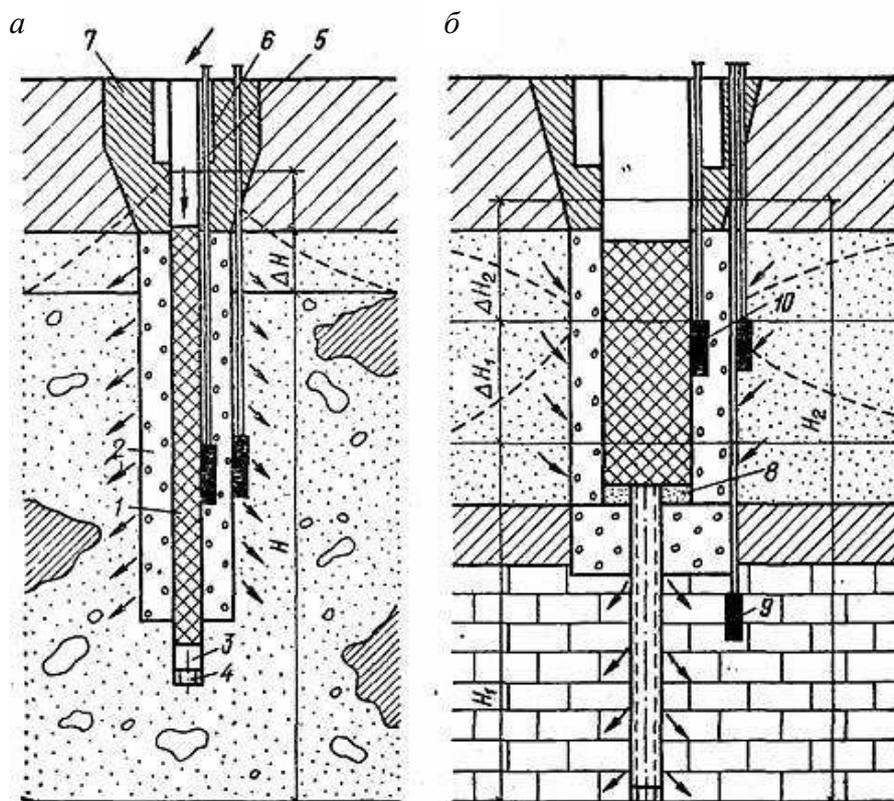


Рис. 2.43. Конструкции поглощающих и дренажно-поглощающих скважин:  
*а* – поглощающая скважина; *б* – дренажно-поглощающая скважина;  
 1 – фильтровый каркас; 2 – обсадка; 3 – отстойник; 4 – пробка; 5 – эксплуатационная колонна; 6 – кондуктор; 7 – затрубная цементировка; 8 – сальник; 9 – наблюдательная скважина; 10 – затрубный пьезометр

Помимо указанных выше типов скважин в ряде случаев используются установки двойного назначения, работающие попеременно в режиме закачка-откачка. Такие установки используются, например, для обогащения подмерзлотного водоносного горизонта.

Для контроля за работой скважин необходимо предусмотреть соответствующее оборудование:

- а) для измерения расхода и количества воды, поступившей в пласт за время эксплуатации скважин;
- б) для регулирования подачи воды в скважину и полного отключения скважины от питающего водовода;
- в) для измерения динамических уровней воды в скважине на контуре обсыпки и вблизи скважины.

## **5.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВОДОЗАБОРОВ В СИСТЕМАХ ИСКУССТВЕННОГО ПОПОЛНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Под искусственным пополнением подземных вод понимается комплекс инженерно-технических мероприятий, которые обеспечивают дополнительное, по сравнению с естественными условиями, питание подземных вод или формирование новых их запасов.

При проектировании СИП подземных вод производят:

- выбор технологической схемы системы;
- выбор типа, конструкции, режима эксплуатации и способа регенерации инфильтрационных сооружений, определение их производительности;
- расчет дебита каптажных сооружений и изменений уровней воды в зоне их влияния с учетом поступления воды из инфильтрационных сооружений;
- определение необходимой степени подготовки воды из источника пополнения, схемы и состава очистных сооружений с учетом прогнозирования качества воды в водозаборах подземных вод.

Система искусственного пополнения подземных вод включает: источник пополнения, сооружения для подготовки воды, установки для подачи воды на инфильтрационные сооружения, водозаборы подземных вод, а также сооружения подготовки воды для потребителей.

На рисунке 2.44 показан пример схемы СИП подземных вод.

Инфильтрационные сооружения подразделяются на 2 основных типа:

- 1) открытые (бассейны, наколы);
- 2) закрытые (поглощающие скважины, шахты и т. д.).

При проектировании открытых инфильтрационных сооружений решаются следующие основные задачи:

- а) выбор типа инфильтрационных сооружений;
- б) назначение их габаритов и конструкций;
- в) установление режима эксплуатации;
- г) прогноз производительности отдельных инфильтрационных сооружений;
- д) определение способа регенерации сооружений и соответствующих технических средств.

Прогноз производительности инфильтрационных бассейнов может осуществляться следующими способами:

- по аналогии с сооружениями уже действующих СИП;
- расчетами.

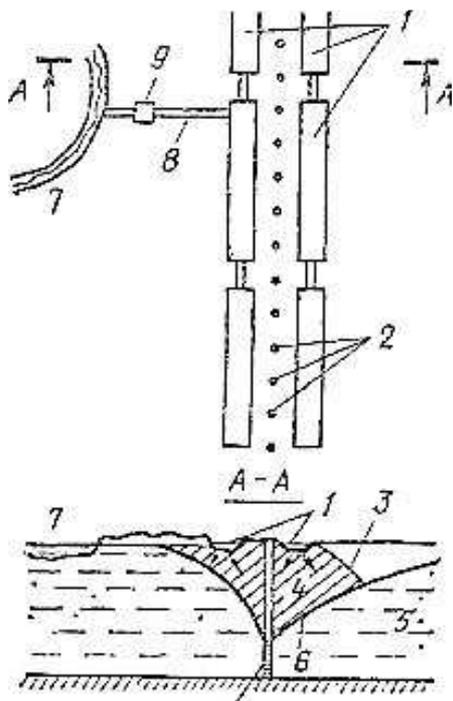


Рис. 2.44. Схема СИП подземных вод:

1 – фильтрационные бассейны; 2 – водозаборные скважины, 3 – граница растекания воды из фильтрационного бассейна; 4 – объем грунта, заполняемый водой из фильтрационных бассейнов (призма регулирования запасов грунтовых вод), 5 – грунтовые воды; 6 – депрессионная поверхность грунтовых вод; 7 – источник поверхностных вод (озеро); 8 – водоводы; 9 – насосная станция

длительности каждого периода и общего количества воды за фильтроцикл  $W$  (отдача бассейна). При этом следует исходить из следующего, справедливого для каждого периода соотношения

$$q_0 = q + q_e, \quad (2.44)$$

где  $q_0$  – расход воды, подаваемой в бассейн;

$q$  – фильтрационный расход из бассейна;

$q_e$  – расход на заполнение (опорожнение) емкости бассейна.

Все эти величины здесь и далее относятся к единице площади бассейна и имеют размерность скорости.

Первый способ требует использования за длительное время данных по эксплуатируемой установке, сходной по факторам, влияющим на величину производительности бассейна (по качеству воды источника пополнения, по общей схеме предварительной подготовки воды; по нагрузке днища сооружения, по свойствам подстилающего его грунта и т. д.), с вновь проектируемой.

Этот путь может оказаться наиболее рациональным тогда, когда вновь проектируемая установка находится в районе действующей или проектируется расширение уже эксплуатируемой СИП.

Для применения расчетного метода необходимо иметь данные о свойствах намечаемой к использованию воды (мутность, гранулометрический состав взвеси и т. д.), составе и проницаемости грунтов основания инфильтрационных бассейнов, конструктивных особенностях бассейнов и заданном режиме их эксплуатации.

Основной задачей расчета инфильтрационных бассейнов является определение скорости инфильтрации или с учетом площади бассейнов фильтрационного расхода, который будет поступать в водоносный пласт в каждый период их работы,

Очевидно, что в первый и третий периоды ( $t_1, t_2$ )  $q_0 = q$  ( $q_e = 0$ ). Период  $t_1$  – время затопление дна бассейна тонким слоем, период  $t_3$  – период поддержания этого уровня постоянным.

Во второй период ( $t_2$  – период наполнения до предельного уровня)  $q_0 > q$ .

Однако расчеты и опыт эксплуатации бассейнов показывают, что, как правило  $q \gg q_e$ , и расходом, идущим на наполнение бассейна, можно поэтому пренебречь, и считать  $q = q_0$ . Такой подход приводит к некоторому завышению расчетной скорости инфильтрации и отдачи (на величину емкости бассейна) во второй период. Оно может быть, однако, компенсировано, если не учитывать фильтрационный расход в период сработки уровня воды в бассейне ( $q = -q_e$ ) и его отдачу в этот период, полностью совпадающую с емкостью бассейна.

Такой подход целесообразен, так как при этом не изменяется общая отдача и средняя скорость инфильтрации за фильтроцикл, а техника расчета значительно упрощается.

Время опорожнения бассейна может быть задано. Обычно оно не превышает 5 – 10 сут.

Если сработка уровня воды в бассейне идет недопустимо медленно, то целесообразно принудительное его опорожнение.

При расчетах производительности инфильтрационных бассейнов необходимо учитывать рост сопротивления грунтов вследствие выпадения из воды содержащихся в ней взвешенных частиц механического и органического происхождения.

В связи с тем, что грунты основания бассейнов в большинстве случаев представлены песками, а в гравийно-галечниковых отложениях устраивается песчаная загрузка, рост сопротивления их обуславливается в основном образованием на поверхности дна бассейна (или загрузки) слоя илистой пленки (осадка). Процессы собственно кольматажа, т. е. отложения взвешенных частиц в порах грунта песчаного основания, обычно происходят лишь в первый, сравнительно короткий период, продолжительность которого оценивается по так называемой гряземкости грунта  $N$ . Допустимо принять, что период кольматации песков основания бассейнов совпадает с периодом растекания воды по его дну тонким слоем ( $t_1$ ).

Только в отдельных случаях (например, в гравелисто-галечниковых грунтах с крупным заполнителем и при гравийной загрузке дна) кольматаж может иметь место в течение более или менее длительного времени.

В соответствии со сказанным, расчеты фильтрации из бассейнов в основные периоды его работы (второй и третий) в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения, как правило, производятся по схеме пленочной фильтрации.

Восстановление производительности открытых инфильтрационных сооружений осуществляется обычно путем съема вручную или механизмами пленки и наиболее загрязненного слоя песка толщиной 1,5 – 3 см.

Значительно реже применяются гидравлические способы регенерации.

Наиболее часто применяемыми типами закрытых коптажных сооружений в системах ИППВ различным образом расположенные взаимодействующие скважины.

Дебит водозаборного сооружения в условиях пополнения подземных вод или расход воды из инфильтрационных сооружений может быть найден по следующим соотношениям:

$$Q_{\text{с}} = \left( \frac{\eta}{\zeta} \right) Q_{\text{с}}; \quad Q_{\text{с}} = \left( \frac{\zeta}{\eta} \right) Q_{\text{с}}, \quad (2.45)$$

где  $\eta$  – гидродинамический коэффициент полезного действия инфильтрационных сооружений;

$\zeta$  – гидродинамический коэффициент эффективности пополнения подземных вод.

Одним из основных показателей гидродинамической эффективности работы водозаборных и инфильтрационных сооружений в СИП подземных вод является коэффициент полезного действия инфильтрационных сооружений  $\eta$ .

Параметр  $\eta$  представляет собой отношение расхода воды, дополнительно поступающей к водозабору при работе инфильтрационных сооружений, к общему среднему расходу подаваемой на пополнение воды, т. е.

$$\eta = \frac{Q_{\text{дв}}}{Q_{\text{с}}}, \quad (2.46)$$

где  $Q_{\text{дв}}$  – расход воды, дополнительно привлекаемый водозабором в условиях пополнения.

Величина коэффициента определяется не только параметрами и расположением инфильтрационных сооружений, но также типом и расположением водозаборных скважин.

Величина коэффициента  $\eta$  в соотношении (2.46) изменяется от нуля до единицы. При значениях  $\eta$ , близких к нулю, инфильтрационные бассейны не оказывают существенного влияния на производительность водозаборного сооружения. Значения же коэффициента  $\eta$ , близкие к единице, свидетельствуют о весьма высокой эффективности инфильтрационных сооружений. При этом следует иметь в виду, что ввод в действие инфильтрационных сооружений приводит к перераспределению источников питания водозабора. Количество воды, поступающей в водозабор, например, из бы-

тового потока или из реки, в результате фильтрации из бассейнов и других типов инфильтрационных сооружений может как уменьшаться, так и увеличиваться, поэтому коэффициент нельзя рассматривать как показатель использования только инфильтрационных вод.

Коэффициент эффективности  $\zeta$  определяет гидродинамическую эффективность мероприятий по искусственному пополнению подземных вод на участке проектируемого водозабора в целом. Он представляет собой отношение расхода воды, дополнительно поступающей к водозабору при работе инфильтрационных бассейнов  $Q_{обв}$ , к общему расходу водозабора, т. е.

$$\zeta = \frac{Q_{обв}}{Q_в}. \quad (2.47)$$

Коэффициент  $\zeta$ , как и коэффициент  $\eta$ , изменяется от нуля, когда влияние инфильтрационных бассейнов на производительность водозабора невелико, до единицы.

В последнем случае мероприятия по искусственному пополнению полностью обеспечивают водоотбор.

#### **Самоконтроль по УЭ-5:**

1. Вспомните, что понимается под искусственным пополнением подземных вод.
2. Назовите типы инфильтрационных сооружений.
3. Вспомните, для каких целей предназначаются дренажно-поглощающие скважины.

Итак, вы изучили учебный модуль М-2 «Забор воды из подземных источников». Теперь проверьте еще раз свои знания и умения в этой сфере и обобщите их.

### **УЭ-Р. ОБОБЩЕНИЕ ПО МОДУЛЮ**

#### **Учебные цели УЭ-Р:**

Обобщить наиболее существенные знания по модулю, выразить их в форме краткого резюме. Для этого ответьте на следующие основные вопросы:

1. Какие условия влияют на выбор типа водозаборных сооружений из подземных источников?
2. От чего зависит схема конструкции водозаборной скважины?
3. Какой колодец называется совершенным?

4. Как называется установившийся уровень воды в скважине в процессе откачки?
5. Какие горизонтальные водозаборы вы знаете?
6. Какие сооружения служат для захвата вод родников?
7. Какие сооружения входят в состав СИП подземных вод?
8. Какие типы инфильтрационных сооружений вы знаете?

При составлении резюме опирайтесь на основное содержание узловых вопросов УЭ-1, УЭ-2, УЭ-3, УЭ-4 и УЭ-5.

### **УЭ-К. ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПО МОДУЛЮ**

После изучения данного модуля вы должны:

- знать особенности конструирования водозаборных сооружений из подземных источников;
- владеть навыками расчета элементов водозаборных сооружений с целью обеспечения их стабильной работы.

Повторите учебный материал по лекциям в учебно-методическом комплексе к данному модулю и предлагаемому списку литературы.

1. ТКП 45-4.01-30-2009 (02250) Водозаборные сооружения. Строительные нормы проектирования. – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск 2009.
2. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение / Н.Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1982.
3. Старинский, В.П. Водозаборные и очистные сооружения коммунальных водопроводов / В.П. Старинский, Л.Г. Михалик. – Минск: Вышш. шк., 1989. – 269 с.
4. Курганов, А.М. Водозаборные сооружения систем коммунального водоснабжения / А.М. Курганов. – М.; СПб, 1998.
5. Курганов, А.М. Водозаборы подземных вод: учеб. пособие для специальности 270112 «Водоснабжение и водоотведение» всех форм обучения / А.М. Курганов, Е.Э. Вуглинская. – СПб., 2009.
6. Башкатов, Д.Н. Бурение скважин на воду: учеб. пособие / Д.Н. Башкатов, В.П. Роговой. – М.: Колос, 1976.
7. Пособие по проектированию сооружений для забора подземных вод (к СНиП 2.04.02-84). – М.: Стройиздат, 1986.

Если вы уверены в своих знаниях, умениях и навыках, вам необходимо пройти «выходной тест», предложенный преподавателем.

Если вы испытали трудности в выполнении «выходного теста», то изучите соответствующий материал повторно.

### М-3. ЗАБОР ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Приступая к изучению модуля, необходимо проверить свои знания по следующим вопросам:

1. Какую роль в системе водоснабжения играют водозаборные сооружения?
2. Какими показателями характеризуются поверхностные источники водоснабжения?

Если вы правильно ответили на эти вопросы, можете переходить к изучению модуля.

В случае неуверенности в правильности своих ответов на эти вопросы и наличия затруднений, целесообразно проконсультироваться у преподавателя и повторить ранее изученный материал.

*Место и значение* модуля «Забор воды из поверхностных источников» в системе курса – решение всех вопросов, связанных с забором воды из поверхностных источников водоснабжения, необходимо учитывать такие важнейшие факторы, как гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режимы, природные, санитарные требования, а также требования технико-экономической целесообразности.

*Цель изучения* модуля изучить:

- факторы, влияющие на выбор источника и места забора из воды из этого источника;
- специфические особенности забора воды из разных источников водоснабжения, расположенных в различных климатических районах;
- знать принципы гидравлического расчета водозаборных сооружений из поверхностных источников.

#### Структура модуля

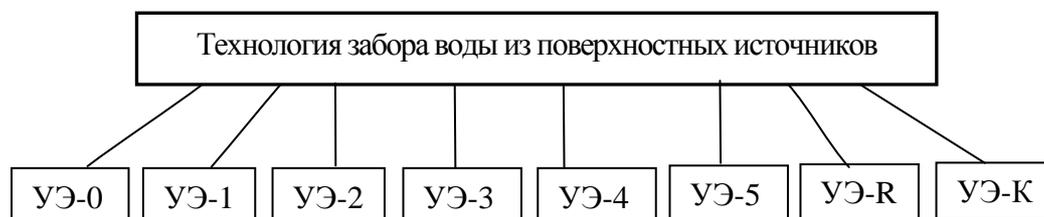


Схема иллюстрирует структуру модуля и его УЭ. Следует обратить внимание на название УЭ и их последовательность – это порядок, в котором их целесообразно изучать.

Названия учебных элементов:

УЭ-0. Введение.

УЭ-1. Водозаборные сооружения из поверхностных источников.

УЭ-2. Технологическое оборудование водозаборов.

УЭ-3. Проектирование водозаборов берегового и руслового типов.

УЭ-4. Мероприятия по рыбозащите, борьбе с наносами и шугой.

УЭ-5. Забор воды в специфических условиях.

УЭ-Р. Обобщение.

УЭ-К. Итоговый контроль по модулю.

## **УЭ-0. ВВЕДЕНИЕ В МОДУЛЬ**

*Ключевая проблема:* при выборе технологии забора воды из поверхностных источников должна решаться задача обеспечения получения необходимых количеств воды с учетом возможного роста водопотребления и бесперебойность снабжения водой потребителей, а также учитываться соответствие качества воды требованиям потребителей, условия забора воды и технико-экономические показатели, определяющие эффективность принятого решения.

*Ведущая идея:* водозаборные сооружения могут успешно выполнять свои функции, если фактическая надежность подачи ими воды будет не ниже требований к надежности подачи воды, предъявляемых потребителями. Фактическая надежность подачи воды водозаборными сооружениями определяется нагрузками на сооружения, гидрологическими особенностями источника, доступностью осмотра и ремонта водоприемника.

*Основные понятия:* водозаборы руслового типа, водозаборы берегового типа, водоприемники, водоприемный колодец, сороудерживающие решетки и сетки, водоприемные ковши, самотечные и сифонные линии.

Проработайте основные понятия модуля по мере знакомства с материалом.

## **УЭ-1. ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

**Узловые вопросы для изучения УЭ-1:**

1. Основные определения и классификация водозаборов:
  - классификация водозаборов;
  - требования, предъявляемые к водозаборам;
  - природные условия забора воды.

## 2. Выбор места и типа поверхностных водозаборов:

- выбор места расположения водозабора;
- выбор типа водоприемника;
- водозаборные сооружения берегового типа;
- водозаборные сооружения руслового типа;
- водозаборы островного типа;
- комбинированные водозаборы.

### **1.1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДОЗАБОРОВ**

Водозаборное сооружение представляет собой комплекс сооружений, предназначенных для забора воды из источника в необходимых количествах, предварительной ее очистки с целью защиты системы водоснабжения от биологических обрастаний и попадания в нее наносов, сора, планктона, шуги, а также рыбной молоди; транспортирования воды к месту назначения.

#### **1.1.1. Классификация водозаборов**

Сооружения для забора вод из поверхностных источников разделяют следующим образом:

1. По типу водоема: речные, водохранилищные, озерные, морские и канальные.

2. По назначению: хозяйственно-питьевые, производственные (технические), оросительные.

3. По длительности периода эксплуатации: постоянные, временные.

4. По производительности: малые – до 1 м<sup>3</sup>/с, средние – 1 – 6 м<sup>3</sup>/с, большие – более 6 м<sup>3</sup>/с.

5. По категории надежности подачи воды:

а) первой категории – допускается снижение подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды не более 30% и на производственные нужды до предела, устанавливаемого аварийным графиком; длительность снижения подачи не свыше 3 сут. Перерыв в подаче воды или снижение подачи ниже указанного предела допускается на время выключения поврежденных и включения резервных элементов, но не более чем на 10 мин.;

б) второй категории – снижение подачи воды допускается в тех же пределах, что и при I категории; длительность снижения подачи не свыше

15 сут. Перерыв в подаче воды или снижение подачи ниже указанного предела допускается на время выключения поврежденных и включения резервных элементов или проведения ремонта, но не более чем на 6 ч;

в) третьей категории – допускается снижение подачи воды в тех же пределах, что и при I категории; длительность снижения подачи не свыше 15 сут. Перерыв или снижение подачи ниже указанного предела допускается на время проведения ремонта, но не более чем на 24 ч.

В зависимости от требований надежности подачи воды обеспеченность среднемесячных или среднесуточных расходов источников водоснабжения, а также максимальных и минимальных уровней воды должны приниматься по данным, приведенным в таблице 3.1.

Таблица 3.1

**Обеспеченность расходов и уровней поверхностных источников  
в зависимости от требований бесперебойности подачи воды потребителю**

Категория надежности подачи воды	Обеспеченность среднемесячных или среднесуточных расходов воды, %	Расчетная обеспеченность уровней, %	
		максимальный	минимальный
I	95	1	97
II	90	2	95
III	80	3	90

6. По компоновке основных сооружений: совмещенные (все в одном сооружении), отдельные, комбинированные.

7. По месту расположения водоприемника: береговые; русловые.

У береговых водозаборов водоприемные отверстия всегда доступны для обслуживания, что важно для обеспечения бесперебойной подачи воды. У русловых водозаборов водоприемные отверстия находятся на некотором расстоянии от берега. Они не всегда доступны для обслуживания, особенно в период ледостава и ледохода. Поэтому по надежности подачи воды береговые водозаборы на категорию выше, чем русловые.

8. По характеру подвижности: стационарные; фуникулерные; плавучие.

### **1.1.2. Требования, предъявляемые к водозаборам**

Для нормальной работы водозабора необходимо выполнение следующих основных требований:

– обеспечивать забор из вод источника расчетного расхода воды и подачу его потребителю;

- защищать систему водоснабжения от попадания в нее сора, планктона, наносов, ракушки, шугольда и пр.;
- обеспечивать защиту молоди рыб от гибели и травмирования, пропуск проходных рыб к нерестилищам на водоисточниках рыбохозяйственного назначения;
- быть прочной, устойчивой и долговечной.

Водоприемные устройства водозабора должны сохранять работоспособность в условиях возникновения возможных осложнений, вызванных:

- снижением глубин или расходов воды в водоисточнике;
- образованием в потоке внутриводного льда и шуги, шугозаполнением русла, а также транспортированием потоком наносов, сора, карчей, топляков и т. п.;
- судоходством, лесосплавом, регулированием стока на ГЭС;
- отбором воды для других целей;
- захватом загрязнений водоема;
- переформированием русла или побережья водоема;
- волнением, вдольбереговыми перемещениями наносов, нагоном сора и льда;
- развитием ракушки, планктона, захватом водорослей;
- развитием или деградацией границы вечномерзлых грунтов, наледеобразованием, заторами, торошением и навалами льда.

### **1.1.3. Природные условия забора воды**

Надежность забора воды водозаборными сооружениями, как свидетельствует опыт их эксплуатации, определяется в первую очередь совокупностью топографических, геологических, гидрологических, гидроморфологических, гидротермических и других факторов и процессов или местных условий избранного участка водотока.

Взаимодействие упомянутых факторов и процессов способствует неодновременности, неоднородности и нестационарности русловых процессов – образования ледостава, распределения наносов, шуги, мусора и молоди рыб по глубине и по длине водотока.

Условия забора воды из водотоков определяются в зависимости от устойчивости ложа и берегов или русловых процессов, шуголедовых режимов, засоренности источника и других показателей.

Гидрологические, гидроморфологические, гидротермические, гидробиологические и прочие процессы, развивающиеся в водоемах, существенно отличаются от аналогичных процессов в условиях водотоков.

В отличие от водотоков в прибрежной зоне водоемов одновременно с волнением появляются сосредоточенные вдольбереговые, инерционные, градиентные, плотностные и другие разновидности течений. Вследствие взаимодействия с сопутствующими факторами и процессами эти течения обычно транспортируют массы воды с чрезмерно повышенным содержанием наносов, водорослей, мусора, а в предледоставные периоды еще и переохлажденные, что и явилось причиной упомянутых последствий.

Основными факторами, определяющими условия отбора воды из водоема, являются сосредоточенные течения, периодически появляющиеся в прибрежных зонах водоема.

Таким образом, условия забора воды из поверхностных источников подразделяют на легкие средние, тяжелые и очень тяжелые.

## **1.2. ВЫБОР МЕСТА И ТИПА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЗАБОРОВ**

При выборе места расположения, типа и конструктивной схемы водозаборных сооружений необходимо учитывать:

- назначение водозабора и предъявляемые к нему требования;
- наличие в источнике необходимых глубин для размещения водозабора;
- качество воды в источнике должно соответствовать санитарным требованиям;
- возможность организации зон санитарной охраны;
- требования надежности и бесперебойности подачи воды потребителю;
- требования судоходства и органов рыбоохраны;
- гидрологические, топографические, геологические, гидрогеологические условия;
- условия строительства сооружений и их последующей эксплуатации и перспективы водохозяйственных мероприятий на данном водоемном источнике;
- возможность наиболее простого и экономичного способа забора воды.

### **1.2.1. Выбор места расположения водозабора**

При выборе места расположения водозабора должен составляться и учитываться прогноз:

- качества воды в источнике;
- руслового процесса;
- ихтиологической обстановки;
- гидротермического режима.

При выборе места водозабора для районов распространения вечномерзлых грунтов дополнительно необходимо учитывать: степень промерзания водоемов, наличие талых подруслых зон грунтов, температуру воды в водоисточнике в зимний период, влияние оттаивающих грунтов на качество забираемой воды, возможность расположения водозабора вблизи источника тепла (ТЭЦ, котельных и т. п.), защищенность от ветра и снегозаносимость площадок для размещения сооружений.

Не допускается расположение водоприемника водозаборного сооружения:

- в пределах зон движения судов;
- в зоне отложения донных наносов;
- в местах зимовья и нереста рыб;
- на участках возможного разрушения берега;
- в местах скопления водорослей;
- на участках возникновения шугозажоров, заторов и перемерзания водотока;
- на участках нижнего бьефа ГЭС, непосредственно прилегающих к гидроузлу;
- в зоне оползней;
- в верховьях водохранилищ;
- на участках, расположенных ниже устьев притоков рек и в устьях подпертых рек.

Место забора воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения должно приниматься выше по течению водотока:

- выпусков сточных вод (с учетом возможного подпора и нагона воды против течения);
- населенных пунктов (с учетом перспективы развития);
- расположенных на берегу кладбищ и скотомогильников;
- стоянок судов;
- оврагов, ручьев, островов, балок;
- и ниже притоков с большим количеством наносов;
- товарно-транспортных баз и складов, лесных бирж и т.п.

На реках с легкими шуголедовыми условиями наиболее благоприятными для размещения водозаборов являются участки реки с руслом криволинейного очертания в плане. Водозаборное сооружение в этом случае располагается на вогнутом берегу, в зоне наибольших глубин русла. При этом необходимо предусматривать мероприятия по сохранению берегового откоса и его укреплению.

На реках с тяжелыми шуголедовыми условиями наиболее благоприятными для размещения водозабора являются сравнительно прямолинейные участки, суженные участки реки с наибольшими глубинами либо участки сразу за излучинами.

На морях, озерах и водохранилищах водоприемники водозаборов размещают за пределами прибойных зон; в местах, укрытых от волнения; за пределами сосредоточенных течений, выходящих из прибойных зон, скопления плавника и водорослей.

При этом водозабор должен быть максимально приближен к потребителю с целью уменьшения строительной стоимости коммуникаций и эксплуатационных расходов. Для технологических нужд промышленных предприятий, не предъявляющих высоких требований к качеству воды, допускается устройство водозаборных сооружений на территории объекта.

Во всех случаях большие глубины являются благоприятным фактором для устройства водозабора, так как в этом случае повышается эффективность методов борьбы со льдом, наносами и тому подобное.

### **1.2.2. Выбор типа водоприемников**

Водозаборное сооружение, как правило, состоит из водоприемника, сеточного колодца и насосной станции.

Основными факторами, влияющими на выбор типа и конструктивной схемы водозаборных сооружений, являются:

- гидрологические характеристики источника водоснабжения в естественном его состоянии – скорости, расходы, глубины и колебания уровней воды, наносы, ледовый режим;
- топография русла и берегов – плановое очертание, извилистость русла, высота берегов, удаленность от потребителя;
- геология русла и берега в районе водозабора (влияют на выбор схемы ввиду необходимости выбора основания под сооружения, определения степени размываемости русла и установления мероприятий для защиты водозабора от наносов);
- система водоснабжения предприятия – прямоточная, обратная и пр.;
- потребление и качество воды;
- категория водозабора по надежности подачи воды;
- особенности местных условий строительства сооружений;
- требуемый расход воды и намечаемое увеличение производительности водозабора;
- ихтиологическая обстановка в месте расположения водозабора: видовой состав рыб, время нереста и ската рыбной молоди.

На тип водозабора большое влияние оказывают природные условия забора воды [1].

Наиболее широкое распространение получили водозаборы берегового и руслового типа, отличающиеся месторасположением водоприемника по отношению к берегу.

Влияние величины расхода воды, забираемого из реки, обычно учитывают по относительному водоотбору, выражаемому в долях минимального расчетного расхода воды в водотоке. Исходя из опыта считают, что при  $Q_в / Q_{min} \leq 0,25$  можно забирать воду из русла равнинного водотока с помощью самых простых и недорогих сооружений типа затопленного руслового водоприемника. При  $0,25 < Q_в / Q_{min} \leq 0,75$  требуются специальные водозахватные или руслорегулирующие сооружения.

### 1.2.3. Водозаборные сооружения берегового типа

Береговые водозаборные сооружения (рис. 3.1) применяют при наличии у берега глубин, обеспечивающих нормальные условия забора воды, или при наличии возможности их увеличения с помощью руслорегулирующих сооружений.

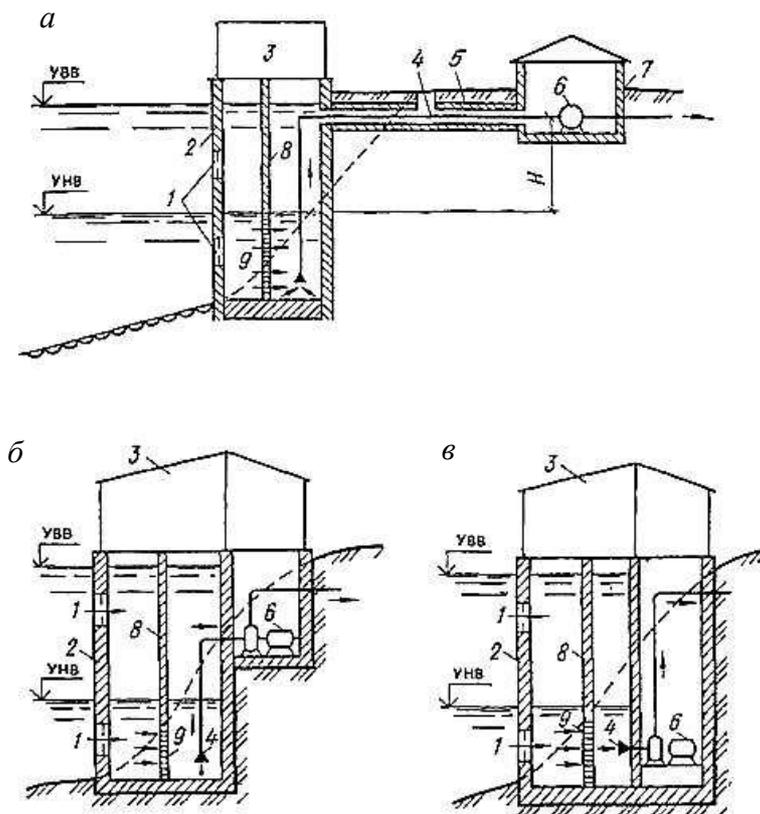


Рис. 3.1. Схемы водозаборных сооружений берегового типа:

*а* – раздельного типа; *б, в* – совмещенного типа;

1 – водоприемные отверстия; 2 – береговой колодезь; 3 – служебный павильон; 4 – всасывающий трубопровод; 5 – галерея; 6 – насос; 7 – павильон насосной станции; 8 – разделительная стенка; 9 – сетка

Береговой водозабор представляет собой комплекс сооружений по приему воды непосредственно у берега. Он состоит из водоприемника, совмещенного с сеточным зданием, и насосной станции I подъема. Прием воды и ее предварительная очистка осуществляются в береговом колодце:

- расположенном у берега (при колебании уровней до 10 м);
- несколько выдвинутым в русло и соединенным с берегом дамбой (при колебании уровней более 10 м);
- вдвинутым в берег и соединенным с рекой каналом или ковшом (при незначительных глубинах реки и тяжелых шуголедовых условиях).

В зависимости от места расположения насосной станции по отношению к береговому водоприемнику береговые водозаборы подразделяются на водозаборы с отдельной компоновкой и совмещенные с насосной станцией.

Береговые водозаборы с отдельной компоновкой проектируют при достаточных в случае горизонта низких вод глубинах воды у берега, амплитуде колебания уровня воды в реке до 6 – 8 м, высоте всасывания насосов не выше 3 – 4 м, производительности водозабора до 1 – 1,5 м<sup>3</sup>/с при не скальных грунтах в основании сооружений.

Береговые водозаборы совмещенные с насосными станциями применяют при любой амплитуде колебаний уровней воды в реке и различной производительности водозабора.

Водоприемные отверстия располагаются в передней стенке водоприемника в один или несколько ярусов по вертикали. Это позволяет забирать воду из различных слоев потока, обеспечивая прием воды лучшего качества. Водоприемные отверстия перекрываются съемными сороудерживающими решетками, устанавливаемыми в пазах с наружной стороны водоприемника. Поскольку водоприемные отверстия всегда доступны для осмотра и очистки, то береговые водоприемники обеспечивают высокую надежность подачи воды. В средних природных условиях они относятся к I категории водозаборных сооружений. С целью обеспечения бесперебойной работы сооружения, а также возможности проведения его осмотра, очистки и ремонта без прекращения подачи воды водоприемник делят на секции.

Внутри берегового водоприемного колодца находятся сороудерживающие сетки (плоские съемные или вращающиеся), обеспечивающие более полную очистку воды от сора и практически разделяющие колодец на два отделения: водоприемное и всасывающее.

#### 1.2.4. Водозаборные сооружения руслового типа

Водозаборы руслового типа применяют при пологих берегах и дне реки, когда требуемые для забора воды глубины находятся на большом расстоянии от берега. Схема компоновки насосной станции с водоприемным сооружением может быть отдельной или совмещенной.

Русловые водозаборы с отдельной компоновкой применяют при амплитуде колебаний уровня воды в реке до 6 – 8 м, высоте всасывания насосов не выше 3 – 4 м, производительности водозабора до 1 – 1,5 м<sup>3</sup>/с, а также в случае низкой, затапливаемой в паводок поймы реки, ограниченной крутым откосом надпойменной незатапливаемой террасы, на которой сооружается насосная станция I подъема (рис. 3.2).

Русловые водозаборы совмещенного типа целесообразно применять при амплитуде колебаний уровней воды в реке свыше 6 м и производительности водозабора до 1 м<sup>3</sup>/с; при любой амплитуде колебаний уровней воды в реке и производительности от 1 до 6 м<sup>3</sup>/с.

Русловые водозаборы состоят из трех основных элементов (см. рис. 3.2.): водоприемного устройства – оголовка 1, располагаемого непосредственно в русле реки; берегового колодца 3 и связывающих их самотечных (сифонных) линий 2. Они обеспечивают при отсутствии специальных мероприятий только II и III степень надежности забора воды.

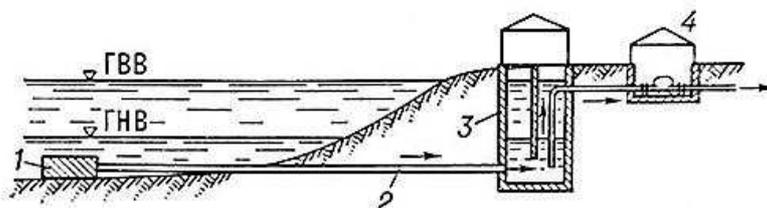


Рис. 3.2. Русловой водозабор раздельного типа:

1 – оголовок; 2 – самотечные линии; 3 – береговой колодец; 4 – насосная станция; ГВВ – горизонт высоких вод; ГНВ – горизонт низких вод.

Как правило, водоприемник соединяется с береговым колодцем самотечными водоводами. Однако при большой глубине берегового колодца, устраиваемого в скальных или водонасыщенных грунтах, экономически целесообразно (из-за значительной стоимости земляных работ) устройство сифонных водоводов. Максимальная высота от ГНВ до точки перелома сифонной линии – 8,0 м. Для запуска таких линий в работу требуется создание вакуума в верхней точке трубы. Надежность работы таких линий снижается, так как при образовании трещин, свищей, неплотностей стыков

вакуум срывается и прекращается прием воды. Поэтому степень надежности приема воды русловыми водозаборами с сифонными линиями ниже на единицу, чем самотечными. Их допускается применять в водозаборных сооружениях II и III категорий, а также при обосновании в условиях, когда по геологическим и гидрогеологическим условиям прокладка самотечных водоводов затруднена.

Самотечные или сифонные водоводы внутри берегового колодца оканчиваются задвижками или затворами.

На рисунке 3.3. показаны схемы руслового водозабора совмещенного и раздельного типов с самотечной и сифонной линиями.

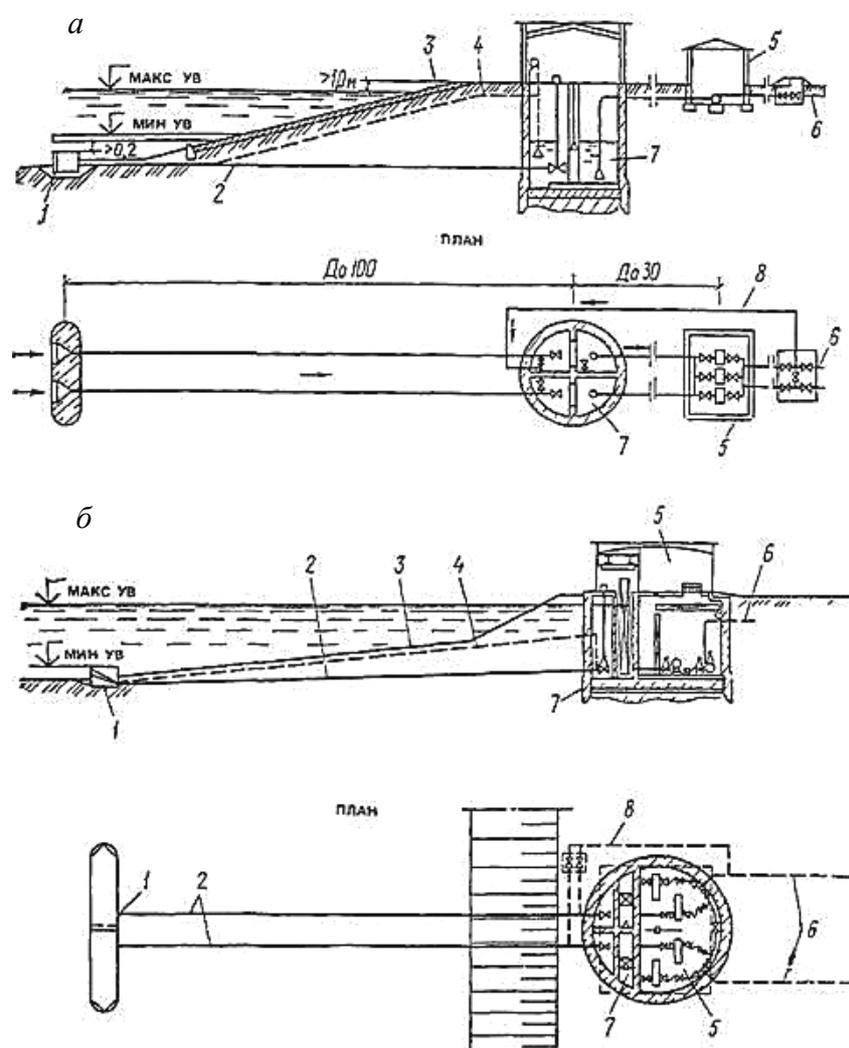


Рис. 3.3. Схема руслового водозабора раздельного (а) и совмещенного (б) типов

Русловые водозаборные сооружения имеют один или несколько водоприемников 1, расположенных в водоисточнике на некотором расстоянии от берега. Водоприемники соединяются с береговым сеточным колод-

цем 7, оборудованным сетками для процеживания воды, самотечными линиями 2 или сифонным трубопроводом 4. Из берегового колодца вода насосами, расположенными в насосной станции 5, по напорным водоводам 6 подается к месту дальнейшего ее потребления. Водозаборные сооружения оборудуются камерой переключения и напорными трубопроводами 8 для возможности подачи воды для промывки водоприемников и самотечных линий обратным током воды. На водозаборах I и II категорий могут предусматриваться системы подачи горячей воды, воздуха, хлора или медного купороса для предотвращения закупорки решеток водоприемника шугой и обрастания креплений берегов откоса 3. В водозаборных сооружениях III категории береговой водоприемный колодец может отсутствовать. В этом случае всасывающие трубопроводы насосов напрямую соединяют с водоприемниками. Строительство и эксплуатация русловых водозаборных сооружений сложнее, чем береговых, а надежность в работе меньше, так как водоприемник и расположенные в нем решетки труднодоступны для осмотра и очистки.

### 1.2.5. Водозаборы островного типа

В условиях интенсивной переработки берегов, вдольбереговой и поперечной миграции наносов, переохлаждения воды в прибойной зоне в предледоставные периоды целесообразно устраивать водозаборы островного типа – крибы (рис. 3.4.).

Водозабор островного типа позволяет:

- исключить нарушение бытового режима течений и миграции наносов на избранном участке водоема;
- обеспечить доступность технического обслуживания водоприемных устройств, повысить категорию водоотбора;
- повысить качество отбираемой воды;
- в зависимости от складывающейся в водоеме обстановки изменять глубину забора воды, используя селективный водоотбор;
- содержать в работоспособном состоянии резервные водоприемные устройства.



Рис. 3.4. Водозабор островного типа

Водозабор островного типа должен быть вынесен за пределы возможного разрушения волн при минимальных уровнях воды на участок водоема с незначительной миграцией и аккумуляцией наносов.

К недостаткам водозабора островного типа следует отнести:

- тяжелые условия обслуживания в штормовые и предштормовые периоды, что в ряде случаев приводит к длительным периодам отсутствия связи между берегом и крибом;

- прекращение водоотбора из-за шуголедовых помех вследствие взламывания льда судами после ледостава;

- ограниченную общую площадь водоприемных окон из-за предъявляемых требований к рыбозащите;

- чрезмерно высокую стоимость строительства водозабора.

Исключить или ослабить шуголедовые помехи при водоотборе можно:

- снижением скорости входа воды в водоприемные устройства до 0,05 м/с;

- установкой электрообогрева сороудерживающих или поддерживающих решеток;

- созданием восходящих токов воды с помощью гидравлической или пневматической завесы;

- установкой козырьков над водоприемными устройствами, позволяющими ослабить подсос поверхностных слоев воды и создать более равномерное распределение скоростей;

- переходом на отбор воды с глубинных водоприемных окон, расположенных на подветренной стороне криба и др.

### **1.2.6. Комбинированные водозаборы**

В тяжелых природных условиях целесообразно использовать водозаборные сооружения комбинированного типа.

Используя несколько водоприемников разного типа, размещаемых различных местных условиях, комбинированный водозабор позволяет обеспечить более экономичное проектное решение и повысить степень обеспеченности подачи воды.

Самыми распространенными являются водозаборы, имеющие русловой и береговой водоприемники, при этом береговой водоприемник работает только в паводки и половодья (рис. 3.5.), когда в реке проходит наибольшее количество наносов, а русловой – только в межень и в периоды шугохода.

Одним из дополнительных требований, предъявляемых к комбинированным водозаборам, является необходимость выбора такого участка прибрежной зоны водоема, в пределах которого его водоприемники могли

бы быть размещены в существенно отличающихся местных условиях, исключающих возможность одновременного появления той или иной разновидности помех.

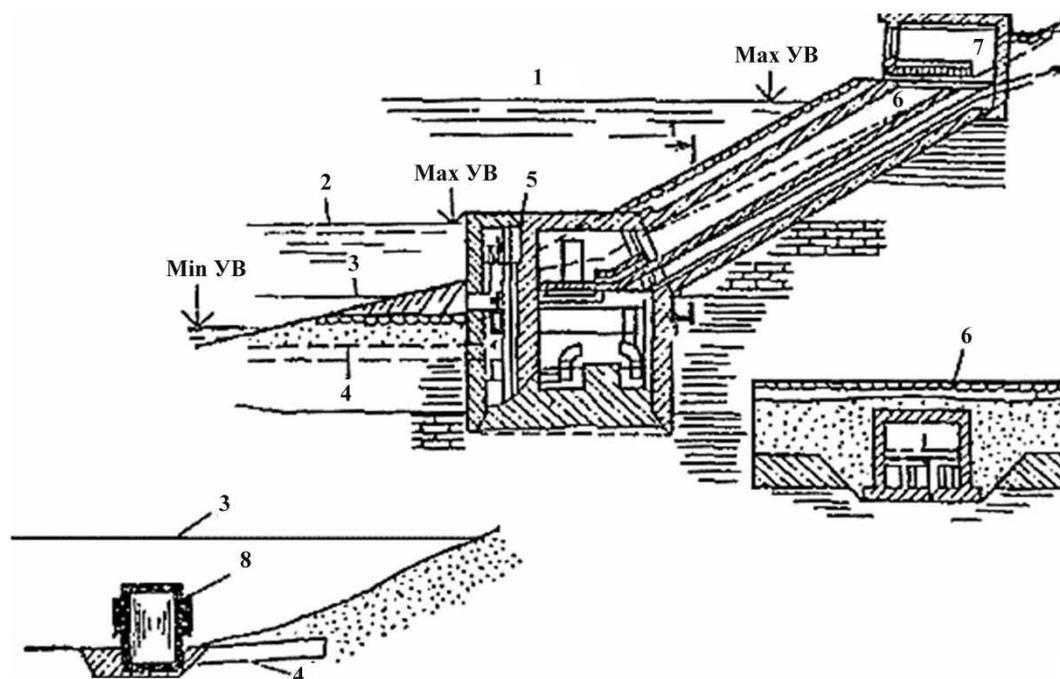


Рис. 3.5. Водозабор комбинированного типа:

1 – высокий уровень воды; 2 – высокий уровень воды осенних паводков; 3 – меженный уровень воды; 4 – самотечный водовод затопленного водоприемника; 5 – водоприемник, совмещенный с насосной станцией; 6 – галерея; 7 – павильон для входа; 8 – русловые водоприемники

Выбор типа и конструктивной схемы водоприемников комбинированного водозабора должен определяться одновременно природными и местными условиями избранных участков водоема.

В тяжелых природных условиях каждая группа водоприемников должна обеспечивать отбор из водоема полного расчетного расхода воды водозабора.

В состав комбинированного водозабора целесообразно включать фильтрующие затопленные водоприемники.

### Самоконтроль по УЭ-1:

1. Вспомните, как классифицируются водозаборы.
2. Какие вы знаете природные условия забора воды?
3. Назовите условия, при выполнении которых может работать водозаборное сооружение, относящееся к I категории надежности.
4. Вспомните, в каких природных условиях целесообразно устройство комбинированных водозаборов.

## **УЭ-2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОДОЗАБОРОВ**

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-2:**

1. Оборудование водоприемных окон и сеточных отверстий:
  - сороудерживающие решетки;
  - водоочистные сетки.
2. Основное и вспомогательное оборудование водозаборов:
  - насосное оборудование;
  - промывные устройства;
  - грузоподъемное оборудование;
  - гидроэлеваторы.
3. Водоприемники:
  - классификация водоприемников;
  - конструктивные особенности водоприемников;
  - затопленные водоприемники;
  - затопляемые водоприемники;
  - незатопляемые водоприемники.
4. Промывка самотечных линий и водоприемных отверстий.

### **2.1. ОБОРУДОВАНИЕ ВОДОПРИЕМНЫХ ОКОН И СЕТОЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ**

Поверхностные источники водоснабжения особенно в период паводков содержат большое количество загрязнений. Крупные загрязнения представляют собой стволы и ветки деревьев и кустарников, щепки, пластиковые бутылки и т.п. Мелкие загрязнения – мелкий мусор, остатки растений, водоросли и т.п. Как крупные, так и мелкие загрязнения могут вызвать нарушение работы насосных станций, очистных сооружений и водоводов. Поэтому система водоснабжения должна быть защищена от попадания в нее различных загрязнений из источника.

Для грубой предварительной механической очистки воды от крупного мусора водоприемные отверстия оборудуют решетками. Для удаления из воды мелкого мусора водозаборные сооружения оборудуют сетками.

#### **2.1.1. Сороудерживающие решетки**

Сороудерживающими решетками (рис. 3.6.) оборудуются водоприемные отверстия водозаборов. Решетки представляют собой сварную раму из уголковой стали или швеллера со стержнями из полосовой (5 на 60 мм) или круглой (6 – 12 мм) стали. Расстояние между стержнями решетки (прозоры) обычно принимается 50 – 100 мм. Размеры решеток ко-

леблются в пределах от 400 на 600 мм до 1250 на 2500 мм. Прутья могут представлять собой арматурную сталь диаметром 6 – 20 мм (при небольшом размере решеток) или прямоугольные прокатные профили (6...10)×(40...60) мм (большие решетки). Оптимальным является сечение прутьев с округлениями со стороны движения потока, при этом будет минимальным гидравлическое сопротивление. Сверху к каркасу приваривается петля для их подъема, снизу крепится деревянный брус-амортизатор для мягкого опускания решетки на порог окна.

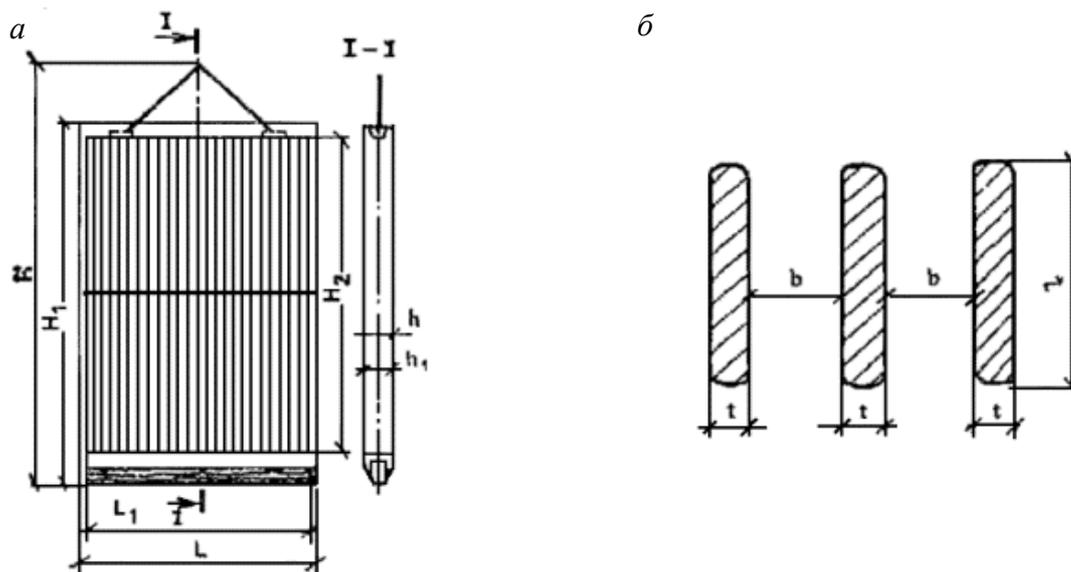


Рис. 3.6. Сороудерживающая решетка:  
*a* – сороудерживающая решетка; *б* – сечение и размеры стержней решетки

В передней стенке сеточного колодца предусматриваются направляющие из швеллера, в которые устанавливается решетка. Решетка опускается в район водоприемного окна специальным подъемным механизмом, крюк которого цепляется за скобу в верхней части решетки. Для того чтобы водоприемные отверстия всегда были перекрыты решеткой, направляющие дублируются.

Для чистки решеток от загрязнений они поднимаются по пазам в павильон берегового колодца и очищаются граблями вручную. На время чистки проемы перекрываются щитовыми затворами.

Вместо сороудерживающих решеток находят применение объемные решетки, выполняемые в виде контейнеров толщиной 20 – 25 см, которые заполнены щебнем, керамзитом, резиновыми или пластиковыми шариками. Решетки такого типа носят название фильтрующих кассет. Они выполняют роль сороудерживающих и рыбозащитных устройств (РЗУ). Кассеты

обеспечивают забор воды, свободной от шуги и сора. Однако они имеют большее сопротивление, что требует увеличения площади водоприемных отверстий или уменьшения забираемого расхода воды. Кроме того, их можно применять только в том случае, если существует надежная промывка обратным током воды.

Помимо фильтрующих кассет могут применяться пакетно-реечные кассеты, создающие эффект сплошности. Они имеют меньшее сопротивление по сравнению с фильтрами и не подвержены кольматации. Они выполняются из деревянных реек в 3 – 5 слоев с зазорами, равными или меньшими ширины рейки. Эти кассеты не обмерзают и хорошо промываются обратным током воды.

### **2.1.2. Водоочистные сетки**

Сетки устанавливаются между водоприемным и всасывающим отделениями берегового колодца. Они могут быть двух типов: плоские (съемные) и вращающиеся.

#### **2.1.2.1. Плоские сетки**

Плоская (съемная) сетка применяется при малой производительности (до 1 м<sup>3</sup>/с) и малой мутности воды. По конструкции они подобны решеткам. Размеры каркаса (размеры перекрываемого окна) от 800×1000 мм до 2000×3000 мм. Плоская (съемная) сетка имеет раму из уголкового стали с натянутой на него рабочей сеткой. Рабочая сетка изготавливается из коррозионно-стойкого материала (нержавеющая сталь, бронза, латунь или капрон и т. п.) с размером ячеек от 2×2 до 5×5 мм из проволоки толщиной 1 – 2 мм.

Рабочая сетка опирается на поддерживающую сетку (из стальной оцинкованной проволоки 2 – 3 мм с ячейками 20×20 или 25×25 мм), которая предотвращает ее разрыв под действием давления воды или загрязнений. Сетки крепятся к раме металлическими полосами и зажимаются болтами. Сетки, также как и решетки, устанавливаются в специальные направляющие из швеллера. Очистка плоских сеток производится вручную. Для этого сетку поднимают по пазам в верхнюю часть водозаборного сооружения подъемным механизмом, устанавливают в специальный поддон и промывают струями воды из брандспойта от напорного технического водопровода. Для перехвата струй с загрязнениями устанавливаются ванны-экраны, от которых грязная вода отводится по лоткам или трубам. Эта операция довольно трудоемкая, поэтому и применяется при малой производительности водозаборных сооружений.

### 2.1.2.2. Вращающиеся сетки

Вращающиеся ленточные сетки используют при заборе больших расходов воды на засоренных водоемах. Вращающиеся сетки по конструкции бывают каркасными и бескаркасными. Вторые проще, легче, дешевле, но ненадежны, поэтому чаще применяют каркасные.

Вращающаяся каркасная сетка (рис. 3.7) представляет собой бесконечную замкнутую ленту (типа транспортерной), состоящую из отдельных небольших секций в виде рамок с натянутыми на них сетчатыми полотнами (наподобие плоских съемных сеток), соединенных шарнирами. Секции крепятся к цепи натянутой на верхнюю и нижнюю приводные звездочки, которые вращаются электродвигателем. Концы шарниров перемещаются в направляющих пазах каркаса, шарниры переламываются на верхних (приводных) и нижних (натяжных) звездочках. В рабочем состоянии сетки неподвижны, вращение от электропривода включается только для чистки. Скорость движения полотна при этом 10...100 мм/с. Одновременно подводится промывная вода к устройству, создающему плоскую ножевую струю, перехватываемую кожухом. Для улучшения чистки полотна его загрязненная поверхность дополнительно очищается капроновой вращающейся щеткой в виде вала. Чистка сеток может быть автоматизирована – при предельном засорении полотна в нем создается предельный перепад уровней, фиксируемый датчиками уровня. Загрязненная вода отводится за пределы первого пояса ЗСО водозабора.

Сетка изготавливается из некорродирующей проволоки диаметром 0,2 – 0,4 мм с просветами 0,5 – 6 мм. Величина просвета зависит от требований к качеству воды и соответствует номеру сетки.

В бескаркасных сетках (рис. 3.8) сеточное полотно непосредственно крепится к цепи.

### 2.1.2.3. Схемы установок вращающихся сеток

Подвод воды на вращающиеся сетки и отвод воды из них производится различными способами. Схемы подвода – отвода воды имеют свои преимущества и недостатки.

Сетки с лобовым подводом воды (рис. 3.9) имеют компактное устройство сеточного колодца, удобны для осмотра. Однако при выходе из строя промывного устройства эти сетки переносят загрязнения в приемную камеру. Их рекомендуется использовать при заборе воды из шугоносных рек и относительно чистой воде в источнике. Применение их на сильно загрязненных водоисточниках возможно в случаях, когда к качеству воды не предъявляют высоких требований.

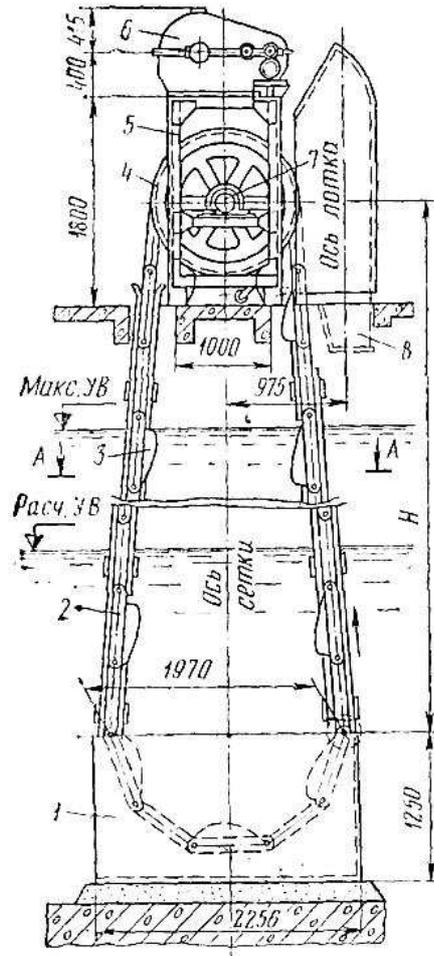
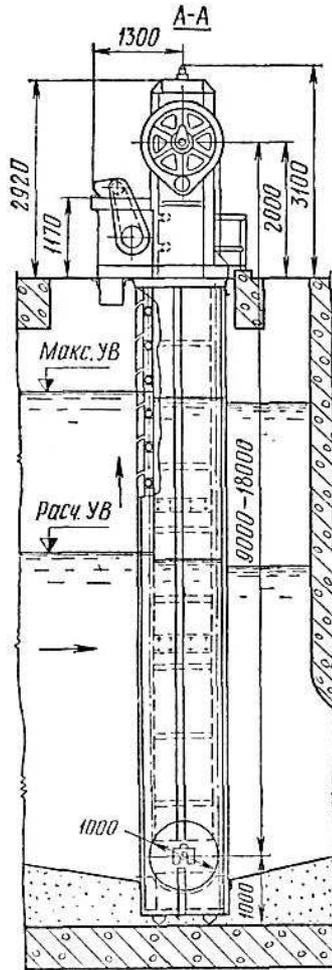


Рис. 3.7. Вращающаяся каркасная сетка      Рис. 3.8. Бескаркасная вращающаяся сетка

Благодаря применению сеток с внутренним подводом и внешним отводом воды (рис. 3.10) сеточное отделение становится более компактным. Однако их очистка затруднена, они плохо выносят загрязнения на поверхность, не могут извлекать шугу, которая скапливается в межсеточном пространстве. Их применяют при средних и больших расходах воды, когда требуется хорошее качество очистки при отсутствии шуги.

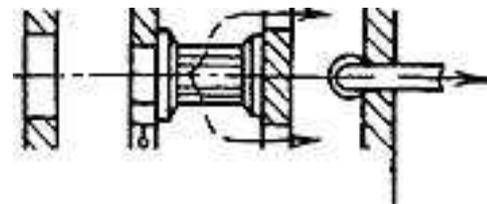
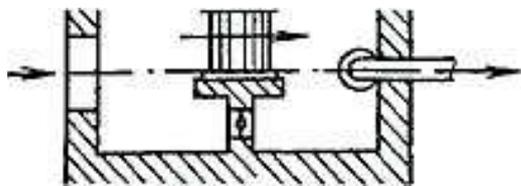


Рис. 3.9. Вращающиеся сетки с лобовым подводом воды

Рис. 3.10. Вращающиеся сетки с внутренним подводом и внешним отводом воды

Сетки с внешним подводом и внутренним отводом (рис. 3.11) хорошо очищают воду, обеспечивают доступ к загрязненным поверхностям, но

малоэффективно удаляют шугу, попавшую в водоприемную камеру. Их используют при большой производительности водозаборов и среднем количестве шуги.

Сетки с внешнелобовым подводом воды (рис. 3.12) дают наилучший эффект очистки. Их использование в достаточной степени гарантирует удаление шуги. Однако для их установки сеточный колодец должен иметь более сложную конфигурацию.

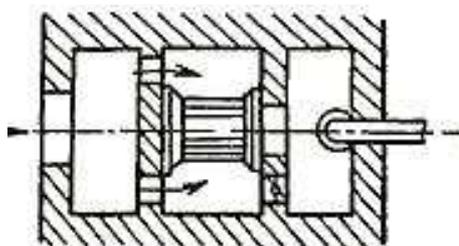


Рис. 3.11. Сетки с внешним подводом и внутренним отводом воды

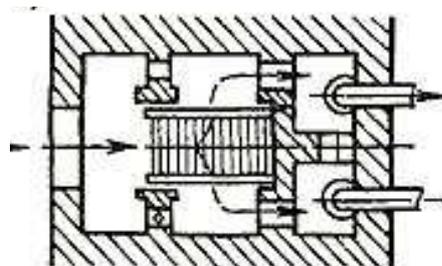


Рис. 3.12. Сетки с внешнелобовым-подводом воды

## 2.2. ОСНОВНОЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОДОЗАБОРОВ

К основному оборудованию водозаборов из поверхностных источников относятся решетки, сетки, насосы, арматура и промывные устройства.

Вспомогательное оборудование составляют гидроэлеваторы для откачки осадка из водоприемных камер, компрессоры, вакуум – насосы, дренажные насосы, грузоподъемные устройства, оборудование для обогрева решеток, устройства для промыва сеток, решеток, самотечных линий и т.д.

### 2.2.1. Насосное оборудование

Параметры основных насосов находят из требований надежности подачи воды на очистные сооружения. Режим постоянной или переменной подачи насосной станции I подъема зависит от режима работы очистных сооружений в течение суток. При постоянном режиме работы ее подачу рассчитывают исходя из среднего часового расхода в сутки с максимальным водопотреблением с учетом расхода воды на собственные нужды очистных сооружений:

$$Q_{\text{ч}} = \frac{\alpha \cdot Q_{\text{макс. сут}}}{T}, \quad (3.1.)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды очистных сооружений ( $\alpha = 1,04 - 1,1$ );

$Q_{\text{макс. сут}}$  – максимальный суточный расход, м<sup>3</sup>/сут;

$T$  – количество часов работы очистных сооружений (как правило,  $T = 24$  ч).

Напор, который должны создавать насосы, определяется по формуле

$$H = Z_{o.c.} - Z_{вс. мин} + \frac{s_0 l_в}{n_в^2} Q_в^2 + \zeta_{вс} \frac{v_{вс}^2}{2g} + h_u, \quad (3.2)$$

где  $Z_{o.c.}$  – отметка точки излива воды из водовода на очистных сооружениях, м;

$Z_{вс. мин}$  – минимальная отметка воды во всасывающем отделении берегового колодца, м;

$s_0$  – коэффициент удельного гидравлического сопротивления водовода,  $c^2/m^5$ ;

$l$  – длина водовода, м;

$n_в$  – число ниток водовода;

$Q_в$  – общая расчетная подача воды,  $m^3/c$ ;

$\zeta_{вс}$  – коэффициент сопротивления во всасывающем трубопроводе;

$\frac{v_{вс}^2}{2g}$  – скоростной напор;

$h_u$  – свободный напор на изливе из водовода,  $h_u = 0,5 \dots 1$  м.

Обычно принимают горизонтальные центробежные насосы типа К или Д – минимум два рабочих и соответствующее число резервных агрегатов с всасывающими линиями для каждого насоса.

В связи со значительными колебаниями уровня воды в источнике следует отдавать предпочтение насосным агрегатам с крутопадающими характеристиками.

Насосные агрегаты в основном располагаются параллельно и перпендикулярно продольной оси здания, либо по дуге, что позволяет уменьшить размер машинного зала; последнее характерно для насосных станций, совмещенных с береговым колодцем.

### 2.2.2. Промывные устройства

Промывные устройства применяются для удаления загрязнений с сеток. Плоские сетки грузоподъемным оборудованием поднимают по пазам в наземный павильон берегового колодца, устанавливают в ванну с экраном и промывают струей воды из брандспойта или из перфорированной трубы диаметром  $d = 40 - 50$  мм. Из ванны смытые загрязнения отводят в канализацию. Перед подъемом рабочей сетки на промыв устанавливается запасная сетка.

Расход воды на промывку определен по формуле

$$Q_{np} = n \cdot \mu \cdot \omega_0 \sqrt{2gH}, \quad (3.3.)$$

где  $n$  – число одновременно работающих промывных устройств;  
 $\mu$  – коэффициент расхода отверстий промывных устройств;  
 $\omega_0$  – площадь отверстий, через которые происходит истечение промывной воды,  $m^2$  ( $\omega_0 = 0,0002 m^2$  – при промывке пожарным спрыском);  
 $H$  – напор воды в промывном устройстве, м.

### 2.2.3. Грузоподъемное оборудование

В павильоне берегового колодца следует предусмотреть установку устройств для подъема сеток и затворов. Необходимое усилие для подъема сеток (а также решеток в береговом водоприемнике) составляет

$$G = (G_p + p_b \cdot f \cdot \Omega) K, \quad (3.4)$$

где  $G_p$  – вес решетки (или сетки) с тросом, т;  
 $p_b$  – давление воды на  $1 m^2$  поверхности решетки или сетки; принимается  $p_b = 0,15 t/m^2$  – для сеток и  $p_b = 0,5 t/m^2$  – для решеток;  
 $f$  – коэффициент трения металла по смоченному металлу, равный 0,44;  
 $\Omega$  – площадь сетки или решетки,  $m^2$ ;  
 $K$  – коэффициент запаса, равный 1,5.

Обычно для подъема сеток применяют подвесные кран-балки с кошками, а для подъема арматуры и щитов – тали и лебедки.

Наибольшее распространение получили червячные тали (рис. 3.13, а). Ручные тали применяют для подъема грузов на высоту 3 – 12 м. Грузоподъемность таких талей от 0,5 до 12 т, тяговое усилие 250 – 750 Н, (25 – 75 кгс), скорость подъема 0,1 – 0,6 м/мин.

### 2.2.4. Гидроэлеваторы

Для удаления осадка из приемной части берегового колодца в ней предусматривается установка водоструйного насоса (гидроэлеватора), который питается водой от насосной станции НС-I; производительность гидроэлеватора  $q_{эл}$  ( $m^3/ч$ ) составляет

$$q_{эл} = \frac{W_{ос}}{t}, \quad (3.5)$$

где  $W_{ос}$  – объем удаляемого осадка, принимаемый равным объему одной секции водоприемной части колодца при высоте слоя осадка 0,5 – 1 м,  $m^3$ ;  
 $t$  – время удаления осадка, принимаемое 1 – 1,5 ч.

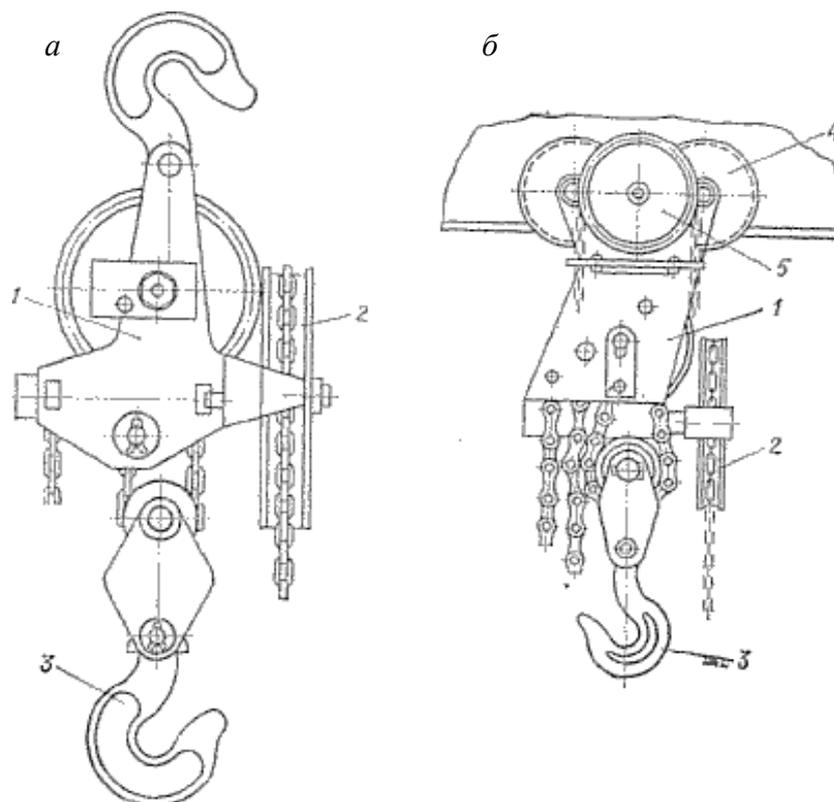


Рис. 3.13. Тали: *а* – червячная с ручным приводом; *б* – кошка с ручным приводом механизма перемещения;

1 – подъемный механизм; 2 – цепной блок; 3 – крюк; 4 – ходовые колеса; 5 – тяговые колеса

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 8

На практических занятиях предлагается выполнить расчет гидроэлеватора.

Исходные данные принять по вариантам:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Высота приямка для осадка $h$ , м	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	1,0	0,6	0,5
Размер приямка в плане по низу, м	4×4,5	4×4	4×4,6	5×5	4×4,5	4×5	4×4,2	3,5×5	3,5×4
Длина откоса приямка, м	0,7	0,8	0,85	0,75	0,85	0,95	1,1	0,85	0,75

Рекомендации к выполнению задания:

1. Определить объем осадка, подлежащий удалению, равный объему приямка.

2. По формуле (3.5) определить производительность гидроэлеватора  $g_3$ .

3. Расход воды рабочего потока гидроэлеватора и общего потока в системе откачки взвесей на выходе гидроэлеватора равны

$$g_p = g \cdot g_{\text{э}} \cdot g_{\text{см}} = (1 + g) g_{\text{э}},$$

где  $g$  – отношение расхода  $g_{\text{э}}$  к расходу воды рабочего потока, обычно  $g$  равно 0,3...0,6.

4. Подобрать типоразмер элеватора [6].

## 2.3. ВОДОПРИЕМНИКИ

Водоприемник (оголовок) – гидротехническое сооружение, расположенное в водоеме (водотоке), предназначенное не только для приема воды из источника, но и для укрепления и защиты от повреждений концов трубопроводов в русле источника.

С целью обеспечения нормальных условий работы водозаборных сооружений водоприемники должны быть защищены от попадания в них соря, взвешенных веществ, шуги, донного льда и т. п., а на водоемах рыбохозяйственного значения необходимо предусматривать мероприятия, исключающие захват и травмирование рыб и ее молоди. Осуществление мероприятий зависит от конкретных условий. Так, некоторые из них предназначаются для защиты от определенного вида загрязнений, другие носят комплексный характер.

### 2.3.1. Классификация водоприемников

Водоприемники можно классифицировать по ряду признаков, а именно:

1. По способу приема воды – открытые поверхностные, глубинные, донные, фильтрующие, инфильтрационные, комбинированные.
2. По расположению относительно уровня воды – затопленные, затопляемые при высоких уровнях воды, незатопляемые (крибы).
3. По расположению водоприемных отверстий и направлению втекающего потока воды:
  - а) с отверстиями – горизонтальными, вертикальными, наклонными;
  - б) с втеканьем – лобовым, боковым, низовым;
  - в) с приемом воды – односторонним, двусторонним.
4. По конструкции – ряжевые, свайные, трубчатые, бетонные, бетонные в металлическом кожухе, железобетонные, с вихревыми камерами.
5. По числу секций – двухсекционные, трехсекционные и более.

### **2.3.2. Конструктивные особенности водоприемников**

Эффективность работы водоприемников, оборудованных сороудерживающими решетками, фильтрующими кассетами или рыбозащитными сетками, зависит от скорости втекания воды в них, их расположения относительно направления течения и поверхности уровня воды в водоисточнике, а также от наличия у отверстия козырьков, порогов, ребер и других элементов.

Наибольшее распространение получили водоприемники, водоприемные отверстия которых расположены вертикально. Применяют также водоприемники с наклонно и горизонтально расположенными отверстиями с поступлением воды сверху вниз и в обратном направлении.

В условиях мелководных зон водоемов при заборе через горизонтально расположенные отверстия с поступлением воды сверху вниз бывает трудно избавляться от появления воронок и вихрей, захвата переохлажденных в предледоставные периоды или нагретых и засоренных планктонном поверхностных слоев воды. Забор воды в вертикально расположенные отверстия, в особенности снабженные горизонтальными козырьками, лишен этих недостатков и наиболее удобен для селективного водоотбора, не нарушающего температурную стратификацию воды.

Горизонтально расположенные отверстия с поступлением воды снизу вверх усиливают забор воды из придонных слоев и создают наилучшие условия для удаления засорений с решеток.

Для вертикально расположенных водоприемных отверстий необходимо различать схемы бокового, низового (против направления течения речного потока) и лобового (по направлению течения речного потока). Эти схемы следует рассматривать для промываемого и непромываемого порогов водоприемных отверстий.

Горизонтально расположенные в речном потоке отверстия могут быть приподнятыми над дном с поступлением воды или сверху вниз, или снизу вверх и донными, т. е. с поступлением воды только сверху вниз.

Отверстия для приема воды находятся в разных частях толщи набегающего потока. Различно ориентированные отверстия по-разному засоряются плавающим в воде сором, поверхностной и глубинной шугой и донными наносами. Это важное обстоятельство требует учета при проектировании водоприемников.

При лобовом заборе воды в водоприемники обычно водоприемные отверстия забиваются сором и глубинной шугой, а при низовом заборе с непромываемым порогом – донными наносами.

Низовой отбор с промываемым порогом оказывается наиболее эффективным, так как обеспечивает наилучшие условия для транзита по руслу шуги и наносов.

Донный забор воды, который применяют при очень малых глубинах потока, всегда оказывается вынужденным.

Наиболее распространен боковой прием воды, при котором могут быть созданы благоприятные условия для ее забора.

В схеме бокового забора на равномерность втекания воды в отверстие большое влияние оказывает конструкция сороудерживающей решетки. Втекание воды в отверстия оказывается весьма неравномерным в случаях установки в них решеток с круглыми вертикальными стержнями и горизонтальными стержнями любой формы. Если вертикальные стержни решетки выполнены из полос, а ширина стержней не меньше просвета между ними, решетка становится своеобразным струенаправляющим аппаратом, который создает по всей ширине водоприемного отверстия вполне равномерное втекание воды.

### **2.3.3. Затопленные водоприемники**

В системах хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения наиболее широко применяют затопленные водоприемники, имеющие невысокую стоимость. Однако невозможность осмотра и очистки сороудерживающих решеток водоприемных отверстий при высоком уровне воды, шуго- и ледоходе делают их недостаточно надежными для обеспечения бесперебойного снабжения водой потребителей. Их необходимо оборудовать средствами для наблюдения за их работой и состоянием, для промывки сороудерживающих решеток и борьбы с обледенением и обрастанием, а также средствами защиты рыб от травмирования и попадания ее молоди в водоприемник.

По конструкции затопленные водоприемники делятся на незащищенные (деревянные, стальные, тонкостенные железобетонные) и на защищенные, выполняемые из бетона и железобетона. Водоприемники располагают, как правило, ниже минимального расчетного уровня воды не менее чем на 0,3 м и на 0,2 м ниже нижней кромки льда.

Незащищенные водоприемники применяются на реках с легкими условиями забора воды; на судоходных и лесосплавных водоемах и реках со сложными условиями ледохода применяются защищенные водоприемники.

Ниже приведены конструкции различных оголовков, область их применения и сравнительный анализ.

Простейшими и самыми дешевыми являются раструбные свайные незащищенные оголовки. Их раструб может располагаться не только вертикально, но и наклонно или горизонтально. Иногда для их защиты от плавущих предметов выше по течению забивают защитные сваи.

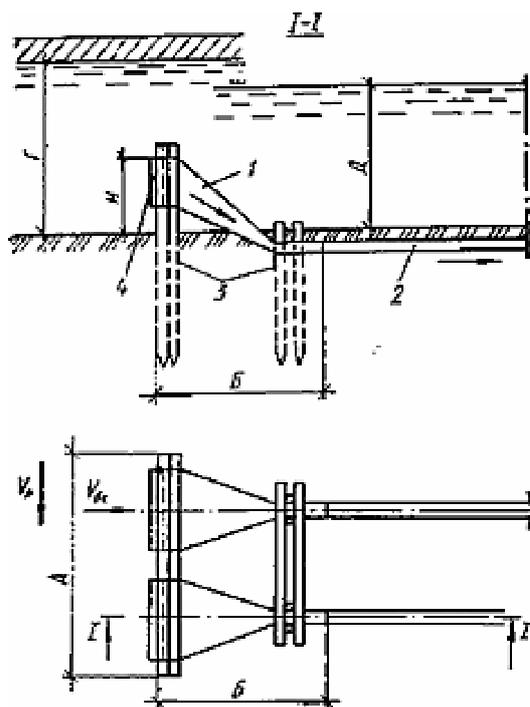


Рис. 3.14. Раструбный свайный незащищенный оголовок:

1 – раструб; 2 – самотечный или сифонный водовод; 3 – сваи; 4 – сороудерживающая решетка

Раструбный свайный незащищенный оголовок (рис. 3.14) применяется на небольших реках, не используемых для лесосплава и судоходства с относительно легкими природными условиями, при малой (от 0,02 до 0,2 м<sup>3</sup>/с) производительности водозабора.

Достоинства: простой, компактный, экономичный.

Недостатки: вносит возмущения в поток, труднодоступный, боится ударов, требует установки рыбозаградителей.

На реках, не используемых для лесосплава и судоходства с относительно легкими природными условиями, при небольшой (до 0,4 м<sup>3</sup>/с) производительности водозабора применяются раструбные стальные незащищенные оголовки (рис. 3.15).

Достоинства: сборные, простые, недорогие, быстросменяемые.

Недостатки: вносят значительные возмущения в поток, труднодоступные, требуют устройства рыбозаградителей.

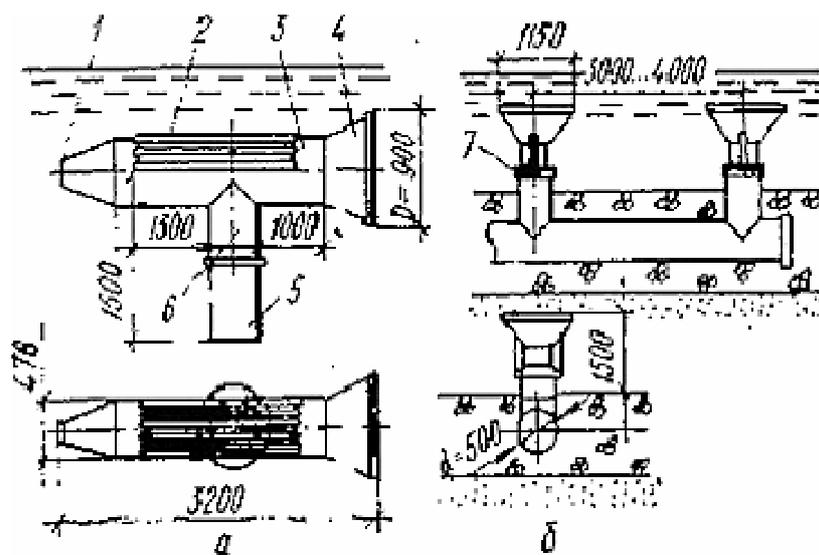


Рис. 3.15. Стальные незащищенные оголовки: а – трубчатый; б – тарельчатый; 1 – заглушка; 2 – сороудерживающая решетка; 3 – водоприемная труба; 4 – приемный раструб; 5 – вертикальный патрубок; 6 – врезной соединительный патрубок; 7 – фланец

Ряжевые оголовки изготавливаются в виде сруба из бревен на берегу со смонтированными раструбами и концами самотечных линий. Такая плавучая конструкция буксиром транспортируется к месту установки и за-тапливается с пригрузом камнями.

На реках с небольшими глубинами, средними природными условиями при небольшой (до  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ ) производительности водозабора нашли применение деревянные ряжевые оголовки с боковым приемом воды (рис. 3.16).

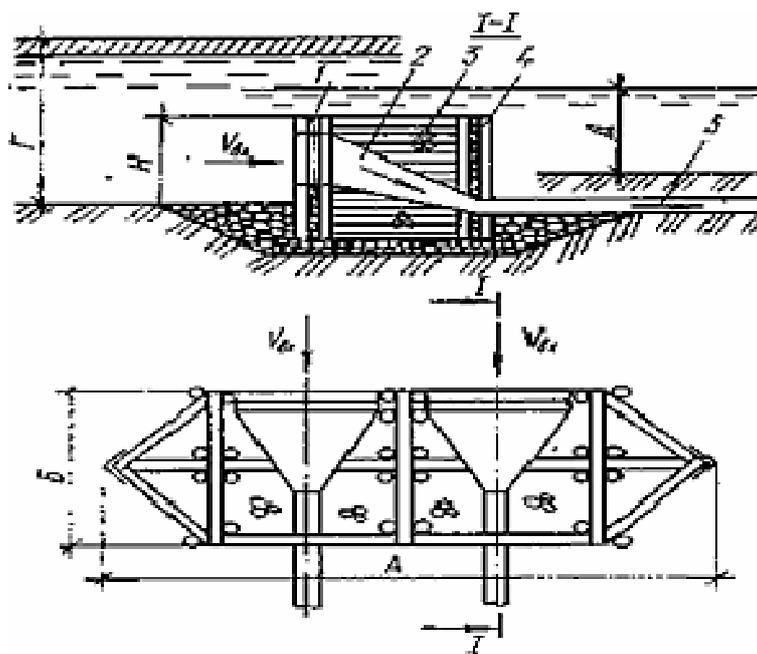


Рис. 3.16. Деревянный ряжевый оголовок с боковым приемом воды:  
1 – сороудерживающие решетки; 2 – водоприемный раструб; 3 – каменная наброска; 4 – ряж; 5 – самотечные или сифонные водоводы

Достоинства: простой, недорогой.

Недостатки: трудоемкий в изготовлении, неиндустриальный, труднодоступный для осмотра и замены сороудерживающих решеток, требует устройства рыбозаградителей.

Ряжевый оголовок может быть устроен без раструбов, а с фильтрующей засыпкой из гравия или щебня в полости сруба. Такой оголовок частично осветляет воду и обеспечивает рыбозащиту. Прием воды осуществляется передним фронтом сооружения, который может иметь большую площадь и обеспечивать среднюю производительность водозабора.

Так, на рисунке 3.17 представлена конструкция деревянного ряжевого фильтрующего оголовка, который применяется на небольших реках с тяжелыми шуголедовыми условиями при небольшой (до  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ ) производительности водозабора.

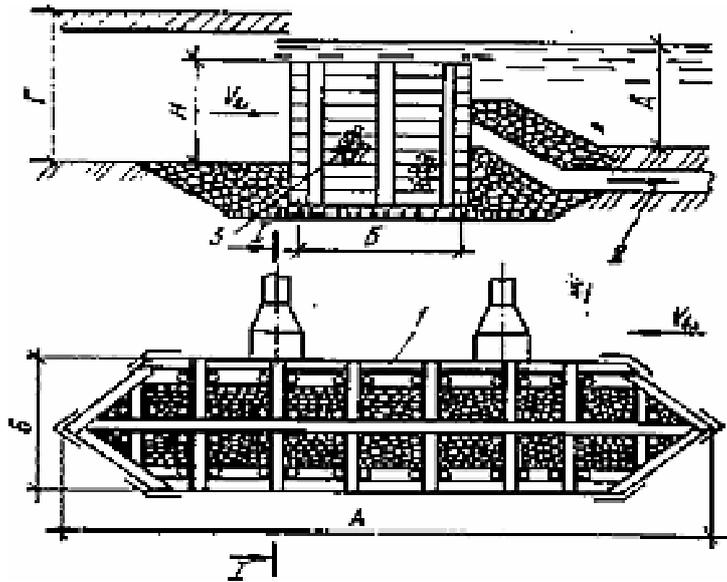


Рис. 3.17. Деревянный ряжевый фильтрующий оголовок:  
1 – ряж; 2 – самотечные или сифонные водоводы; 3 – каменная наброска

Достоинства: простой, недорогой, не требует устройств рыбозаградителей.

Недостатки: трудоемкий в изготовлении, неиндустриальный, труднодоступный, подвержен засорению и заилению.

На небольших лесосплавных реках с легкими и средними природными условиями при небольшой (до  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ ) производительности водозаборов применяются железобетонные раструбные защищенные оголовки с боковым приемом воды (рис. 3.18).

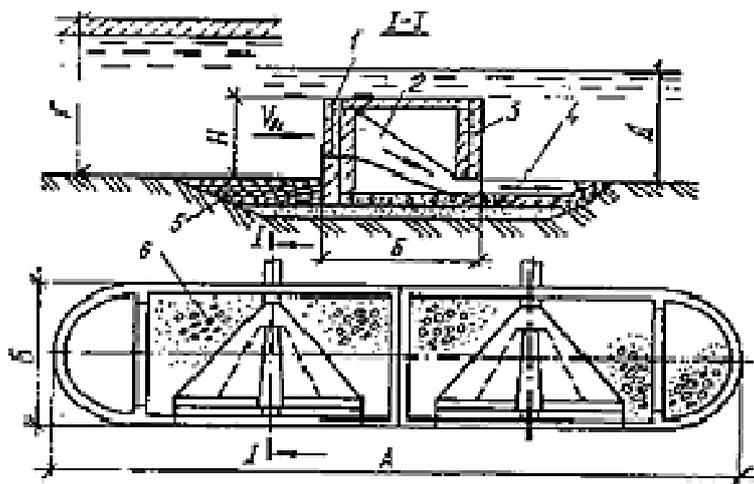


Рис. 3.18. Железобетонный раструбный защищенный оголовок с боковым приемом воды:

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

Достоинства: надежно защищает концы самотечных или сифонных водоводов, позволяет забирать воду с небольшими входными скоростями, может выполняться индустриальным способом.

Недостатки: громоздкий и тяжелый в монтаже, требует установки рыбозаградителей, труднодоступен.

Для приема больших количеств воды применяют водоприемники с вихревой камерой и щелевые. Они обеспечивают равномерный забор воды в отдельные панели водоприемных отверстий, а также равномерный промыв всей поверхности сороудерживающих решеток. Их производительность составляет  $0,7 - 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$  на одну секцию.

Вихревые водоприемники бывают двух типов – с закрытой и открытой камерой.

Закрытая вихревая камера (рис. 3.19) представляет собой вихревой коллектор 1, расположенный за водоприемными отверстиями 3 и имеющий продольную входную щель 2 переменного сечения по длине. Вихревая камера располагается в бетонном оголовке 4. Коллектор имеет переменное сечение по длине и обслуживает несколько панелей водоприемных отверстий.

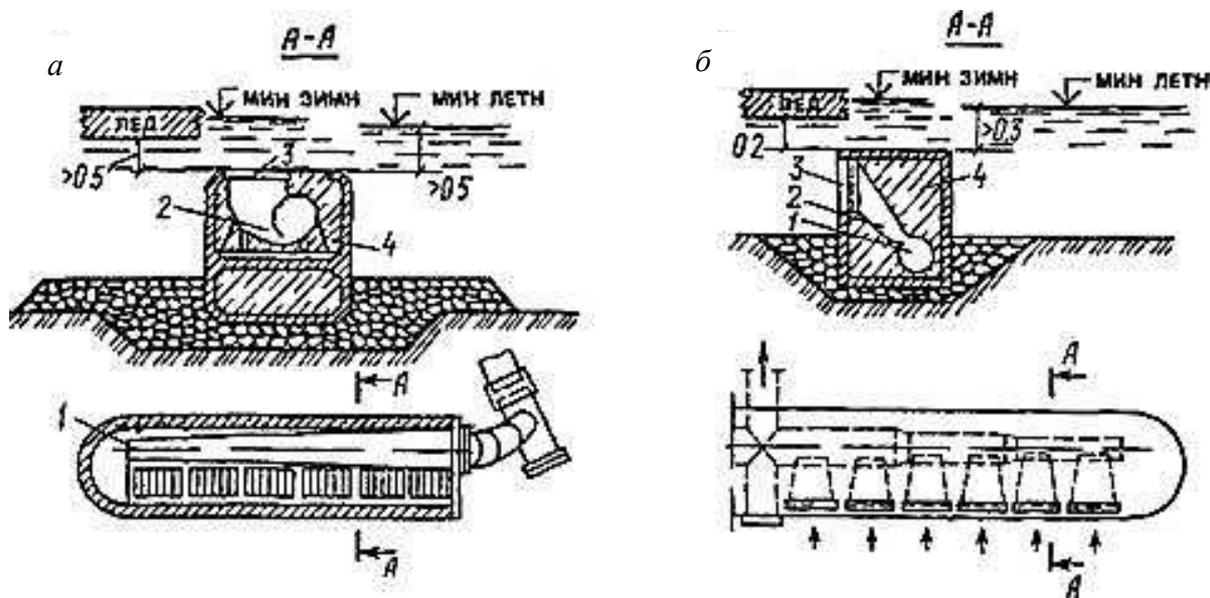


Рис. 3.19. Водоприемники с закрытой вихревой камерой:

*а* – защищенный бетонный, *б* – бетонный в железобетонном кожухе с боковым приемом воды

Водоприемник с открытой вихревой камерой (рис. 3.20) имеет пирамидальный лоток 5, размещенный под порогом водоприемных отверстий 2 за их сороудерживающими решетками. В этом случае вихревая камера

в поперечном сечении не имеет ограничивающей стенки над уровнем порога. Это и позволило назвать камеру открытой. Отвод воды из вихревой камеры в самотечный трубопровод 1 происходит через вихревой патрубок 4 под уровнем порога водоприемных отверстий. Эти водоприемники бывают с односторонними и двухсторонними отводами воды. На концах самотечных линий устанавливаются заглушки 3. Водоприемник указанного типа может иметь фильтрующую загрузку. Это позволяет применять его на реках с тяжелыми шуголедовыми условиями и не предусматривать специальных устройств по рыбозащите.

Достоинства: хорошо обтекаемая форма, малые входные скорости, что дает возможность забирать воду из сильно шугоносных рек, хорошо промывается.

Недостатки: сложный в монтаже, дорогостоящий, труднодоступный, требует установки рыбозаградителей.

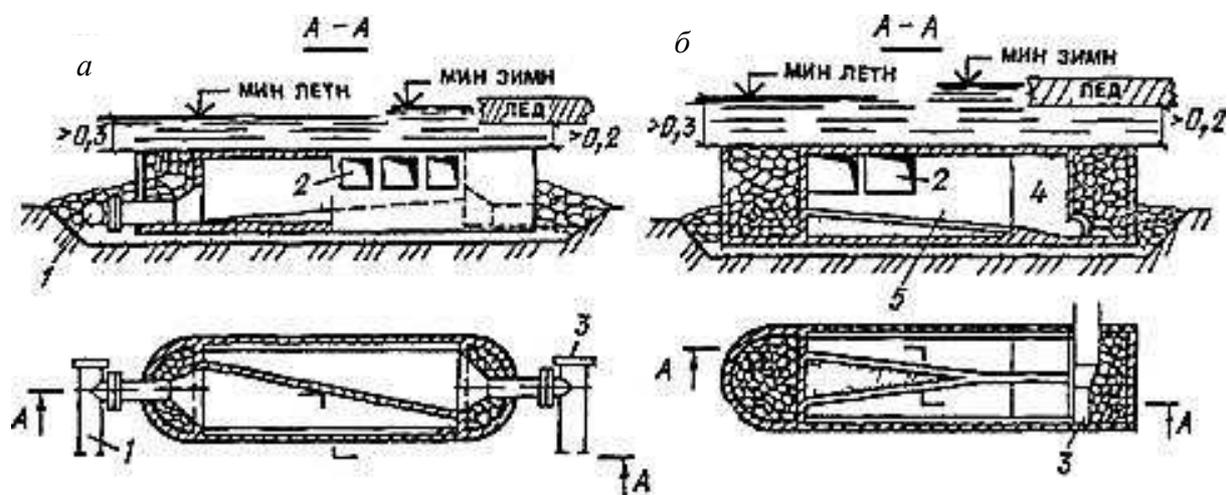


Рис. 3.20. Водоприемники с открытой вихревой камерой:

*а* – с двухсторонним отводом, *б* – с односторонним отводом воды

На реках со средними природными условиями при недостаточных глубинах используют металлические водоприемники с верхним приемом воды (рис. 3.21).

Достоинства: обеспечивает небольшие одинаковые по всей длине входного отверстия скорости входа воды в оголовки, может работать при шуге, хорошо промывается.

Недостатки: сложный в исполнении, недоступный для осмотра, требует устройства рыбозаградителей.

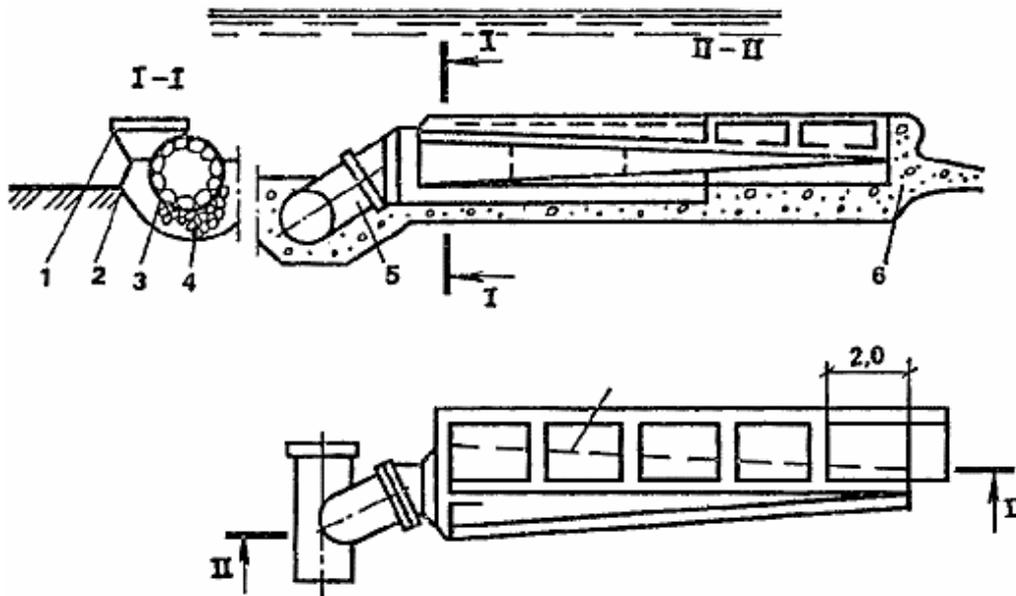


Рис. 3.21. Водоприемник с вихревой камерой и верхним приемом воды:

1 – сороудерживающая решетка или фильтрующая кассета; 2 – металлический корпус водоприемника; 3 – вихревая коническая камера; 4 – постель; 5 – патрубок с диафрагмой

На реках с легкими и средними природными условиями при неустойчивом направлении течения воды с малой и средней производительностью водозаборов применяют монолитные железобетонные оголовки (рис. 3.22).

Достоинства: хорошо обтекаемый, устойчивый.

Недостатки: сложный в изготовлении, недоступный для осмотра, требует устройства рыбозаградителей.

В определенных условиях (при заборе воды из рек с малой глубиной) наиболее подходящими являются донные оголовки с расположением входных окон в горизонтальной плоскости. Оголовки могут представлять собой дырчатые трубы в щебеночной обсыпке. Разработано множество конструкций различных оголовков.

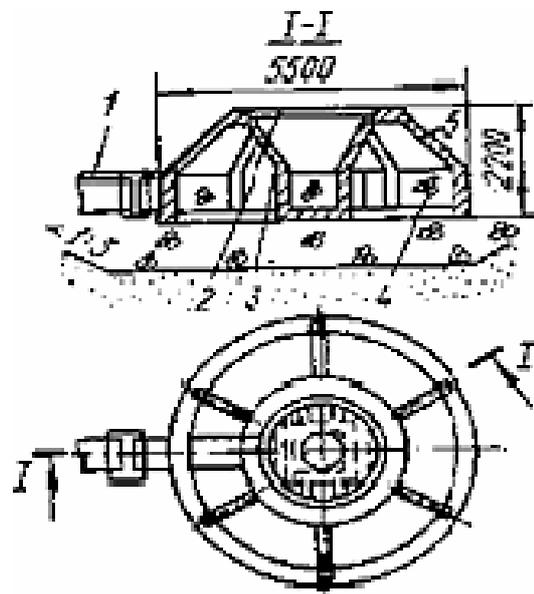


Рис. 3.22. Круглый монолитный железобетонный оголовок:

1 – самотечный или сифонный водовод; 2 – сороудерживающие решетки; 3 – наклонная стойка; 4 – загрузка щебня, галечника или камня; 5 – верхнее кольцо оголовка

### 2.3.4. Затопляемые оголовки

Затопляемые оголовки (рис. 3.23) недоступны для обслуживания только в отдельные периоды времени – половодье, паводок. Однако эти периоды непродолжительны. Кроме того, в это время не бывает осложнений с обмерзанием решеток.

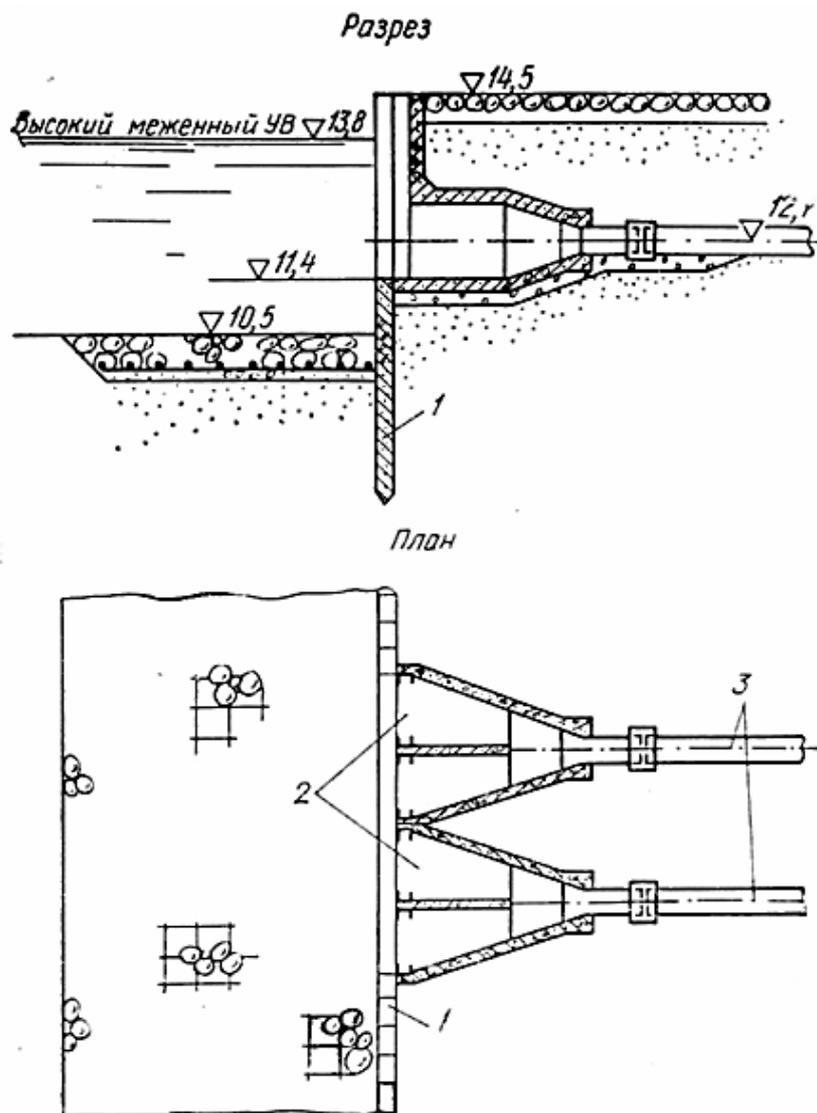


Рис. 3.23. Затопляемый оголовок:  
1 – береговая шпунтовая стена; 2 – водоприемные отверстия; 3 – самотечные водоводы

### 2.3.5. Незатопляемые водоприемники

Незатопляемые оголовки (рис. 3.24) создают наиболее благоприятные условия эксплуатации сооружений и отличаются высокой надежностью. Но они являются сложными с точки зрения производства работ и наиболее дорогими.

Верх незатопляемого оголовка-колодца располагается на 0,5...1,0 м выше самого высокого уровня воды. Окна с решетками располагаются по периметру в два или даже в три яруса. В таких незатопляемых оголовках-колодцах иногда располагаются и насосные станции.

Незатопляемые водоприемники применяют на больших реках со значительными колебаниями уровней (более 10 м) для водоснабжения крупных объектов с расходом 5...8 м<sup>3</sup>/с.

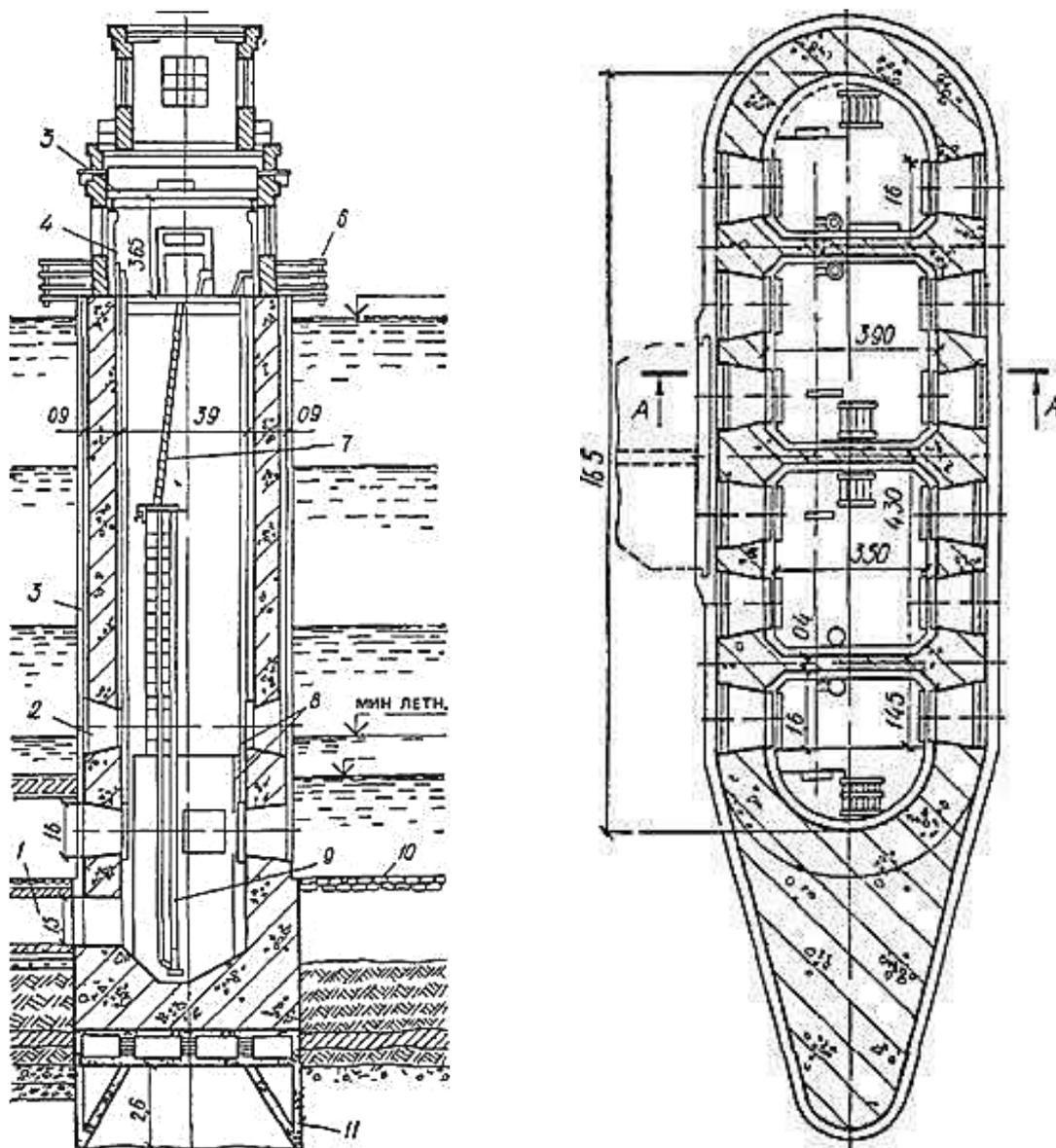


Рис. 3.24. Незатопляемый водоприемник речного водозабора:

1 – самотечная галерея; 2 – водоприемные отверстия; 3 – сороудерживающие решетки; 4 – служебное помещение; 5 – мостовой кран; 6 – служебный мостик; 7 – лестница-стремянка с ограждением; 8 – затворы; 9 – эжектор; 10 – каменная наброска дна реки вокруг водоприемника; 11 – стальной нож кессона

## 2.4. ПРОМЫВКА САМОТЕЧНЫХ ЛИНИЙ И ВОДОПРИЕМНЫХ ОТВЕРСТИЙ

Необходимость промывки этих элементов водозабора обусловлена тем, что по ним транспортируется неочищенная вода. Кроме того, во многих случаях решетки и трубы могут зарастать водорослями, моллюсками и т.п.

Прочистка самотечных линий может осуществляться:

1) механическим способом (совками, скребками и т.п. по типу прочистки канализационных коллекторов); метод связан с длительным выключением водоводов из работы, трудоемкий, но при больших диаметрах предпочтителен;

2) гидравлическим методом – созданием повышенных скоростей движения воды в трубе, промывной способ наиболее распространен.

Скорость промывной воды можно определить по формуле

$$V = A(\delta \cdot d)^{0,35}, \quad (3.6)$$

где  $A = 7,5 \dots 10$  – безразмерный коэффициент,

$\delta$  – крупность отложений, м,

$d$  – диаметр трубы, м.

Известно, что для разрушения и выноса отложений нужны скорости, на 25 – 50% превышающие нормальные.

Существует несколько способов промывки подающих линий и оголовка: прямая, обратная; импульсная.

При прямой промывке одну из подающих линий отключают, насосы работают в нормальном режиме, и весь расход движется по оставшимся в работе линиям. Из-за этого уровень в колодце падает, увеличивается перепад отметок в источнике и в колодце, т. е. создается увеличенный напор на работающей трубе, вследствие чего скорости движения воды в ней возрастают, смывая загрязнения в береговой колодец, откуда удаляются эжектором.

Достоинства этого способа:

- 1) простота эксплуатации
- 2) отсутствие специальных устройств для промывки;
- 3) подача потребителю при промывке проектного расхода.

Недостатки:

1) не промываются решетки (от мусора и шуги) (вода прижимает к решетке задержанные загрязнения);

2) загрязнения из трубы выносятся в береговой колодец, и часть из них поступает в очистные сооружения, увеличивая нагрузку на них;

3) промывка невозможна при низких уровнях воды в реке, т. е. не обеспечивается надежность.

Поэтому в большинстве проектов предусматривают и обратную промывку.

При обратной промывке к подающим линиям подводят дополнительный трубопровод от насосной станции 1 подъема, связывающий напорные водоводы с самотечными линиями. Этот трубопровод может подключаться как внутри, так и вне колодца.

При промывке одна из самотечных линий отключается и по ней в обратном направлении подается вода из напорных водоводов.

Также обратная промывка может осуществляться за счет разницы уровней в береговом колодце и реке.

Достоинства обратной промывки:

- 1) одновременная промывка решеток;
- 2) возможность отбрасывать шугу от входных окон (автоматическая обратная промывка обеспечивает русловому водозабору 1 степень надежности забора воды);
- 3) промывка может быть осуществлена в любое время (обеспечивается надежность);
- 4) загрязнения уносятся промывным потоком в реку.

Недостатки:

- 1) снижение подачи воды;
- 2) потери воды.

Обратная промывка эффективнее прямой, однако, как показал опыт эксплуатации, решетки оголовка промываются недостаточно. Объясняется это тем, что площадь решеток в 10 и более раз превышает площадь подводящих труб, поэтому вода промывает часть этой площади, и далее поступает в эту промытую зону. Остальная же часть решеток не промывается. Поэтому была предложена импульсная промывка, при которой возбуждается волна давления, воздействующая на всю площадь решетки. Схема импульсной промывки представлена на рис. 3.25.

Для этого в водоприемном колодце на подающем трубопроводе 5 устанавливают колонну 1 высотой 6...8 м и диаметром в 1,5 – 3 раза большим диаметра самой промываемой линии. Вверху к колонне подключают вакуум-насос 3 для создания в ней разрежения. Если на самотечной линии в период промывки закрыть задвижку и создать в колонне 1 вакуум, то вода в ней поднимется до соответствующего этой степени разрежения уровня. Если открыть затвор 2 и впустить воздух, то в колонне произойдет срыв вакуума и находящаяся в ней вода устремится в самотечную линию.

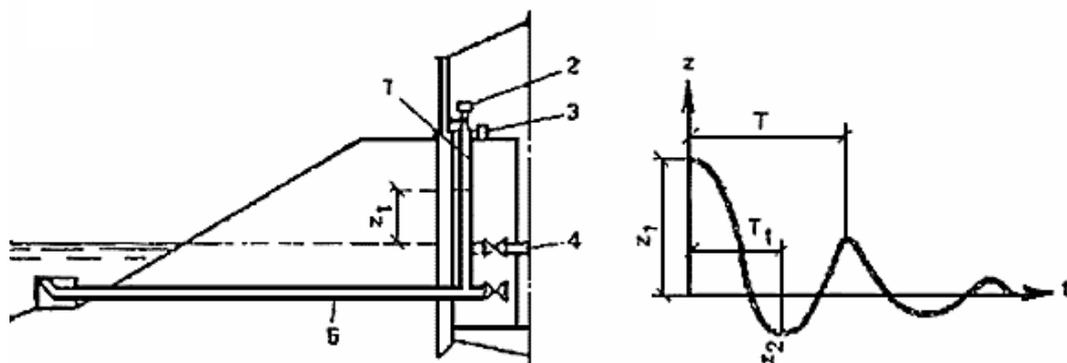


Рис. 3.25. Схема импульсной промывки водоприемных отверстий:

1 – колонна на самотечном водоводе; 2 – патрубок с затвором для впуска воздуха; 3 – вакуум-насос; 4 – водовод для промывки решеток обратным током воды; 5 – самотечный водовод; 6 – столб воды, поднятый вакуумом

При расчете импульсной промывки исходят из того, что волна колебания массы воды, заключенной в установленный перед задвижкой колонне, вызывается с помощью срыва вакуума, который был ранее создан в колонне вакуум-насосами. Основой расчета импульсной промывки является определение амплитуды колебания масс воды в колонне.

Начальную высоту подъема воды в колонне  $z_1$  принимают меньшей или равной 5 м.

Для эффективной импульсной промывки требуется совершенная герметичность всей водоподводящей системы, расположенной между колонной и водоприемными отверстиями.

Этот вид промывки недостаточно эффективен для промывки горизонтальных отверстий, принимающих воду сверху. В этом случае используется гидropневматический способ промывки с помощью подачи в водный поток сжатого воздуха в количестве 15 – 25 л/(с·м<sup>2</sup>).

Для этого на патрубке подключения колонны к самотечной линии устанавливается специальный быстрооткрывающийся вентиль. Если в напорную колонну закачать сжатый воздух, а затем быстро открыть вентиль, то вода и воздух по самотечной линии устремятся к оголовку. При этом скорость водовоздушной смеси настолько велика, что отложившиеся в трубопроводе взвеси хорошо взмучиваются. Высокий эффект промывки самотечных линий достигается за счет того, что сжатый воздух играет роль шара. Он отжимает воду вниз, площадь живого сечения водного потока уменьшается, а скорость увеличивается. Причем движение это носит импульсный характер и способствует улучшению самоочищающей способности линий.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 9

На практических занятиях предлагается определить необходимую скорость промывной воды для промывки самотечных трубопроводов водозабора руслового типа.

Исходные данные принять по вариантам:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Диаметр самотечной линии, мм	400	600	500	600	400	300	400	350	400
Крупность отложений, мм	4	3,5	4,2	3,8	2,6	4,1	3,9	3,7	3,0

Рекомендации к выполнению задания:

1. Определить необходимую скорость промывной воды по формуле (3.6).
2. Для обеспечения требуемой промывной скорости необходимы расходы, намного превышающие расходы при нормальной работе водозаборов. Требуется определить величину этого расхода  $Q_{np}$ .
3. Определить, достаточно ли будет этого расхода для очистки рязевого фильтрующего водоприемника с боковым приемом воды, при устройстве которого должно соблюдаться условие  $Q_{np} = (1,5...2) \cdot Q_p$ .

### Самоконтроль по УЭ-2:

1. Вспомните, чем оборудуются водоприемные окна.
2. Назовите, какие типы сеток для очистки воды вы знаете.
3. Вспомните, какое оборудование водозаборов относится к основному.
4. Вспомните классификацию водоприемников.
5. Вспомните, как осуществляется импульсная промывка самотечных линий и решеток.

## УЭ-3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОЗАБОРОВ БЕРЕГОВОГО И РУСЛОВОГО ТИПОВ

### Узловые вопросы для изучения УЭ-3:

1. Водоприемные колодцы:
  - устройство водоприемного колодца;
  - определение размеров приемной и всасывающей камер.
2. Самотечные, сифонные и всасывающие водоводы.

### 3. Гидравлический расчет водозаборов:

- расчетный расход водозабора;
- определение площади водоприемных окон;
- определение площади сеточных отверстий;
- расчет самотечных и сифонных линий;
- определение уровней воды и отметки дна в водоприемном колодце;
- определение отметки оси насоса.

### 4. Устойчивость водозаборных сооружений:

- статическая устойчивость водоприемных оголовков;
- расчет береговых колодцев на всплытие;
- расчет самотечных линий на всплытие.

## 3.1. БЕРЕГОВЫЕ ВОДОПРИЕМНЫЕ КОЛОДЦЫ

Береговые водоприемные колодцы устраивают отдельными или совмещают с насосными станциями. При устройстве водозаборов берегового типа приемный колодец играет роль водоприемника, и его конструкция несколько отличается от конструкции приемного колодца для водозабора руслового типа.

### 3.1.1. Устройство водоприемного колодца

Раздельный водоприемник для берегового водозабора (рис. 3.26, *a*) представляет собой колодец 2, обычно железобетонный, передняя стенка которого выходит непосредственно в русло реки. Вода поступает в водоприемник через входные окна 1, расположенные в передней стенке колодца, и забирается насосами через всасывающие трубы 4.

Обычно в речных водоприемниках осуществляется предварительная грубая механическая очистка воды. В этих целях входные окна снабжаются решетками, предотвращающими занесение внутрь водоприемника относительно крупных предметов. Кроме того, на пути от входных окон к всасывающим трубам вода проходит через сетки 9, установленные в перегородке 8, разделяющей водоприемный колодец на два отделения: переднее (приемное) и заднее (всасывающее). На сетках задерживается значительная часть загрязнений, содержащихся в воде: планктон, водоросли, мелкий сор и т. д. Подобная механическая очистка (процеживание) воды значительно облегчает работу сооружений для осветления воды, предотвращает возможное засорение труб и насосов, а в ряде случаев в системах производственного водоснабжения дает возможность использовать воду без какой-либо дополнительной очистки.

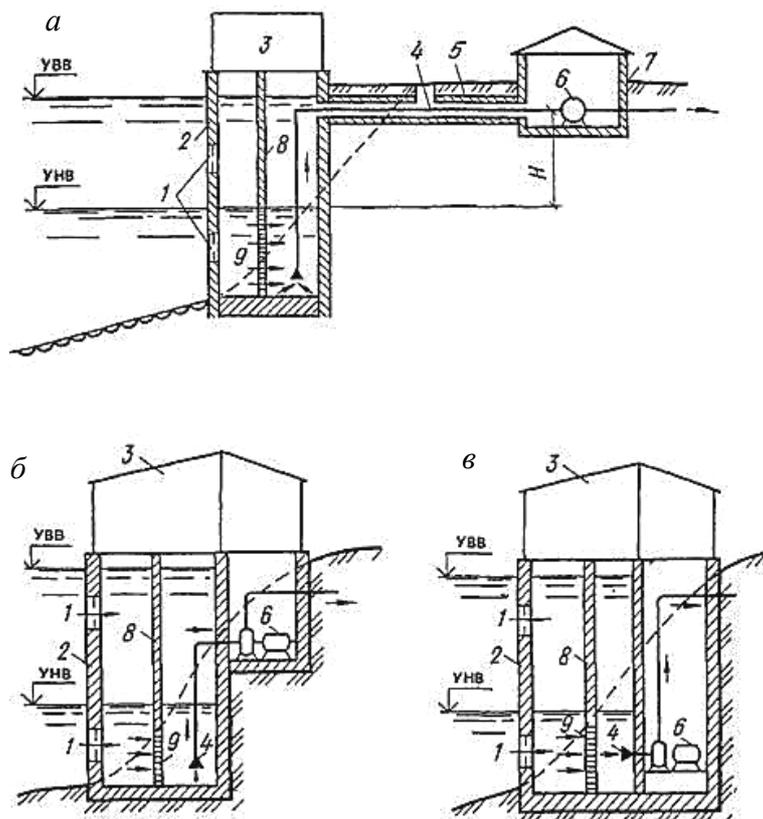


Рис. 3.26. Схемы водозаборных сооружений берегового типа:  
*а* – с отдельным водоприемником; *б* – здание насосной станции совмещено с водоприемным колодезем; *в* – конструктивно полностью объединено с водоприемником;  
 1 – водоприемные отверстия; 2 – береговой колодец; 3 – служебный павильон; 4 – всасывающий трубопровод; 5 – галерея; 6 – насос; 7 – павильон насосной станции; 8 – разделительная стенка; 9 – сетка

Над водоприемным колодезем устраивается служебный павильон 3 из которого осуществляются управление арматурой и механизмом очистки сеток, а также другие операции, связанные с эксплуатацией водоприемных сооружений.

Вода, прошедшая через сетки, забирается насосами 6 через всасывающие трубы 4. Устройство насосной станции в отдельно стоящем здании 7, которое соединено с приемным колодезем галереей 5 может быть обусловлено геологическими условиями, характером рельефа берега и степенью его затопления паводковыми водами.

Для обеспечения лучших условий всасывания желательно располагать станцию возможно ближе к водоприемнику.

Характер здания насосной станции, необходимость и степень ее заглубления зависят от амплитуды колебаний уровня воды в реке и допустимой высоты всасывания насосов. Отметка оси насосов определяется от-

меткой низкого расчетного уровня воды в реке и допустимой высотой всасывания (с учетом потерь напора во всасывающих линиях).

В целях обеспечения большей надежности и улучшения условий эксплуатации сооружения следует, как правило, устанавливать насосы под заливом, т. е. ниже минимального расчетного уровня воды в реке.

При благоприятных геологических, топографических и гидрологических условиях целесообразно устройство совмещенных водоприемников. Благодаря своей относительной экономичности эти водоприемники имеют значительно большее распространение, чем отдельные водоприемники. Основные принципиальные схемы таких водоприемников показаны на рисунке 3.26. Здание насосной станции может примыкать к водоприемному колодцу (рис. 3.26, б) или может быть конструктивно полностью объединено с водоприемником (рис. 3.26, в). При первой схеме уменьшается общий объем сооружения, но применение ее возможно лишь при наличии достаточно плотных грунтов. Вторая схема практически приемлема при любых грунтах, но вызывает увеличение объема сооружения.

Водоприемники берегового типа могут иметь в плане круглую, эллипсоидную или прямоугольную форму, выбираемую в зависимости от места расположения водоприемника, условий обтекания его водами реки, условий производства работ по его сооружению и от используемого оборудования насосной станции.

Размеры водоприемного колодца, его основных элементов и оборудования (сеток, решеток, труб и т. д.) определяют частично путем гидравлического расчета и частично по соображениям конструктивного и эксплуатационного характера. Кроме того, водоприемник должен быть проверен на действие сил давления воды, льда и грунта (на всплывание, на опрокидывание, на сдвиг), а также на прочность при действии заданных нагрузок.

Применение вертикальных центробежных насосов (рис. 3.27) позволяет уменьшить объем сооружения. При данной схеме возможно обеспечение работы насосов под заливом даже при самых низких уровнях воды.

Береговые водоприемные сетчатые колодцы русловых водозаборов по устройству аналогичны водоприемным колодцам береговых водозаборов, однако оборудование их сложнее. Прежде всего, водоводы, входящие в колодец, оборудуются запорной арматурой (задвижками или клапанами), устройствами по зарядке и поддержанию вакуума при применении сифонных водоводов. В колодце располагаются трубопроводы обратной промывки водоводов, а также арматура управления промывкой.

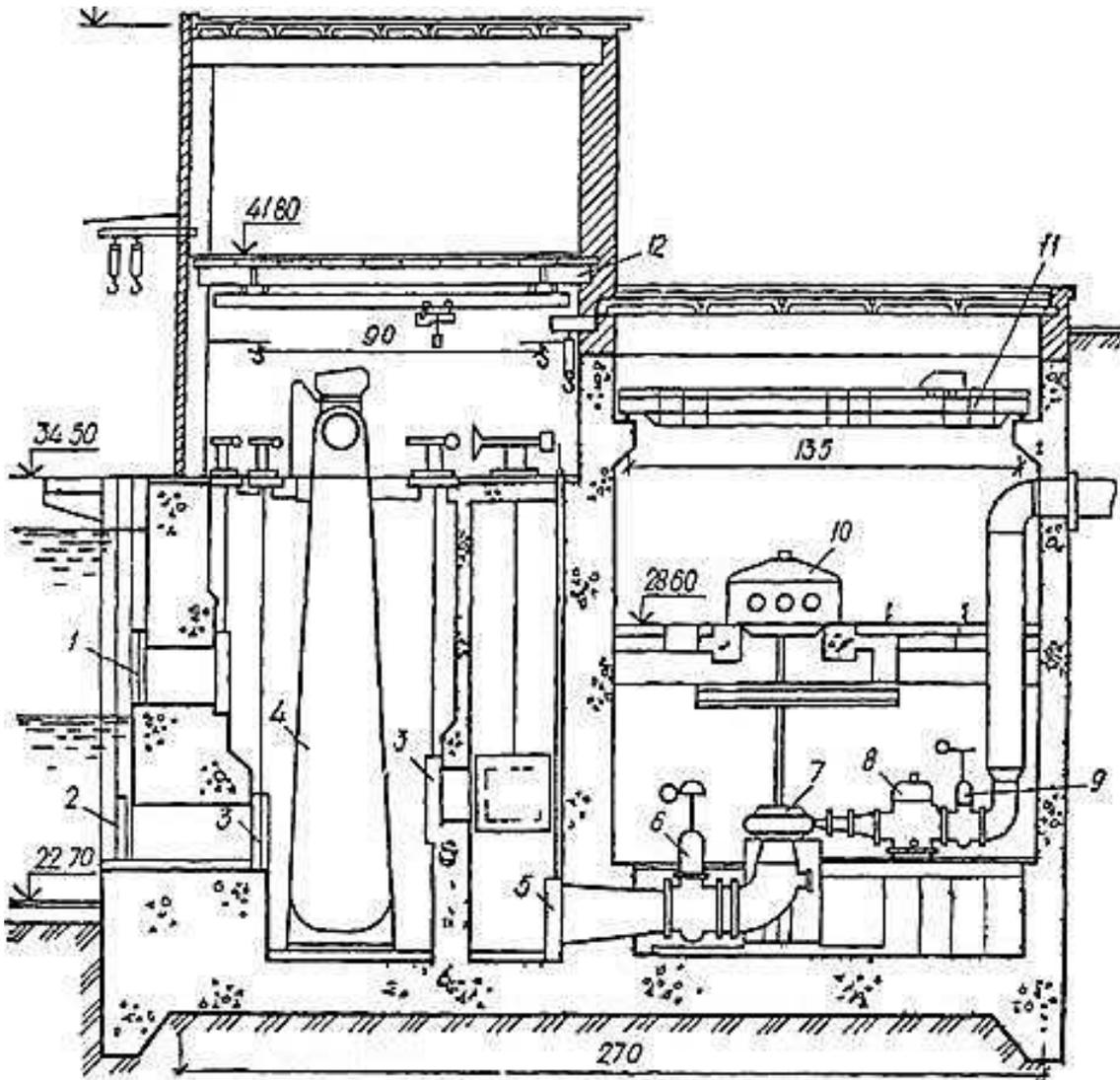


Рис. 3.27. Совмещенный водозабор берегового типа с вертикальными насосами:  
 1 и 2 – водоприемные отверстия соответственно верхнего и нижнего ярусов, 3 – сороудерживающая решетка, 4 – вращающаяся сетка, 5 – всасывающая труба, 6 – задвижка (затвор), 7 – насос, 8 – обратный клапан, 9 – задвижка, 10 – электродвигатель, 11 – мостовой кран, 12 – кран подвесной одноблочный

На рисунке 3.28 представлен отдельный береговой приемный колодец водозабора руслового типа. В подземной части располагаются водоприемные *a* и всасывающие *б* отделения. Вода в водоприемную камеру поступает по самотечным трубопроводам 1, оборудованным задвижками и трубопроводами для обратной промывки 2. Первое и второе (*a* и *б*) отделения разделяет стенка с вмонтированными в нее вращающимися сетками 9.

В наземной части находятся помещение приводных механизмов, сеток, электроподстанция и бытовые помещения. Подземная часть может иметь глубину 12 – 20 м, что определяется колебаниями уровней воды в источнике.

### 3.1.2. Определение размеров приемной и всасывающей камер

Основой для гидравлического расчета водоприемного колодца является заданная расчетная производительность сооружения. Общее расчетное количество забираемой воды в свою очередь влияет на выбор типа, оборудования и конструкции водоприемника.

Независимо от типа водоприемника его проектирование производится в тесной увязке с проектированием насосной станции и подбором насосного оборудования.

Это позволяет наиболее рационально выбрать число насосных агрегатов и установить число секций берегового колодца (по фронту).

Для обеспечения бесперебойной работы водозабора береговые колодцы устраиваются из двух независимо работающих секций; между секциями предусматривается окно с дисковым затвором или задвижкой.

Размеры колодца в плане и вертикальные размеры определяют из условия размещения в нем механического оборудования и трубопроводов, а также из условия удобства их обслуживания.

Объем воды в каждой секции колодца при минимальном расчетном ее уровне должен быть определен из условий запуска насосов и совместной работы самотечных и всасывающих трубопроводов и берегового колодца и не должен быть менее 30 – 35 кратного секундного расхода воды, забираемой насосами из секции.

Высота слоя воды в береговом колодце должна быть достаточной для расположения под минимальным уровнем воды приемных воронок всасывающих труб.

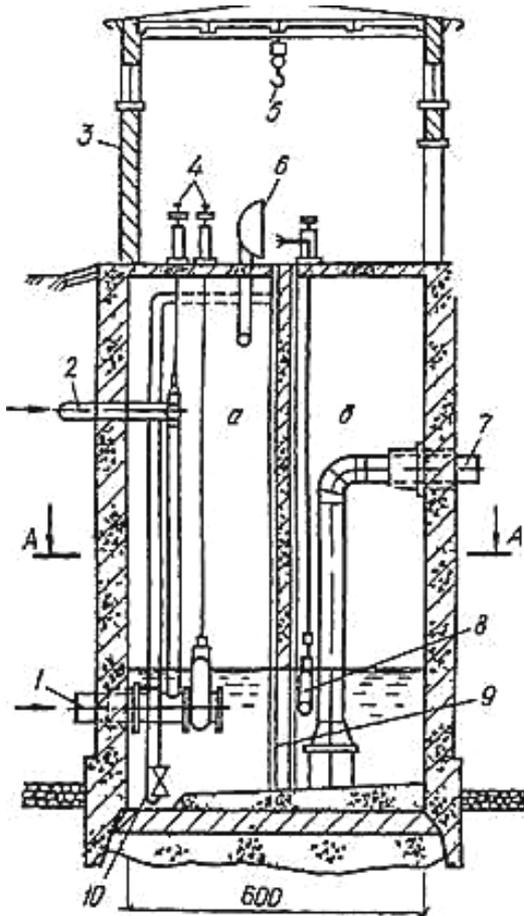


Рис. 3.28. Водоприемный колодец раздельного руслового водозаборного сооружения:

*a* – приемная камера; *б* – камера всасывающих труб; 1 – самотечный водовод; 2 – труба для промывки самотечного водовода; 3 – надземный павильон; 4 – управление задвижками; 5 – кран; 6 – экран для промывки сеток; 7 – всасывающий патрубок насоса; 8 – перепускное отверстие с задвижкой; 9 – сетка; 10 – эжектор для удаления наносов

### 3.2. САМОТЕЧНЫЕ И СИФОННЫЕ ВОДОВОДЫ

Линии, подводящие воду из оголовка в береговой колодец, бывают самотечные и сифонные. Число этих линий должно быть не меньше 2, обычно число линий равно числу секций берегового колодца. Сифонная линия прокладывается на значительно меньшей глубине, чем самотечная. Однако надежность водозабора с сифонными линиями меньше, чем при самотечной линии. Объясняется это тем, что при повреждении сифонной линии вакуум в ней срывается и подача воды прекращается. При самотечных трубах это не происходит. Поэтому сифонные линии допускается устраивать в водозаборах II и III категорий, применение таких линий для I категории должно быть обосновано.

При работе насосов уровень воды в приемном отделении берегового колодца опускается ниже уровня воды в реке на высоту, равную потерям напора, обусловленным гидравлическими сопротивлениями при движении воды по самотечным линиям. Потери напора зависят от скорости движения воды по самотечным линиям. Во избежание больших потерь напора, а следовательно и излишне большого заглубления берегового колодца, скорость движения по самотечным линиям не должна быть большой. Вместе с тем она не должна быть настолько малой, чтобы обуславливать обильное выпадение взвеси в трубах.

Действующие строительные нормы рекомендуют принимать для самотечных линий водоприемников руслового типа расчетную скорость движения воды при нормальной работе сооружения (при отборе заданного расчетного расхода и включении всех линий) в пределах от 0,7 до 1,5 м/с. Большие значения следует принимать для больших расчетных расходов, при большом содержании взвеси и при относительно малой длине линий.

Самотечные линии должны быть проверены на незаиляемость при принятой скорости движения воды, принятом диаметре труб и характеристиках взвеси, содержащейся в воде, забираемой из источника.

Самотечные линии следует по возможности укладывать без каких-либо поворотов в плане или в вертикальной плоскости. Они могут располагаться горизонтально, а также с прямым или обратным уклоном.

Для самотечных линий используют обычно стальные или железобетонные трубы. В пределах русла реки трубы укладывают в специально устроенную траншею (ниже дна реки). Расстояние между трубопроводами должно быть от 0,7 до 1,5 м. На участке примыкания к оголовку трубы должны быть уложены на достаточно прочное основание.

Укладка труб самотечной линии на всей длине по дну реки и обсыпка их приводят к образованию донной полузапруды, вызывающей местное увеличение скоростей движения воды и создающей опасность подмыва основания оголовка. При необходимости прокладки труб по дну требуется особо тщательное устройство основания под ними и укрепление самих труб.

В настоящее время их чаще укладывают способом свободного погружения (аналогично дюкерам), что существенно сокращает сроки строительства и объем ручного труда водолазов. Эти водоводы обязательно должны быть присыпаны защитным слоем из камня толщиной не менее 0,5 м вровень с поверхностью дна реки.

Сифонные линии позволяют снизить глубину заложения труб, что особенно важно при прокладке их в сильно водоносных грунтах или в твердых породах. Сифонные линии укладывают с подъемом 0,001...0,005 в сторону берегового колодца. При проектировании сифонных линий водозабором в верхней точке сифона

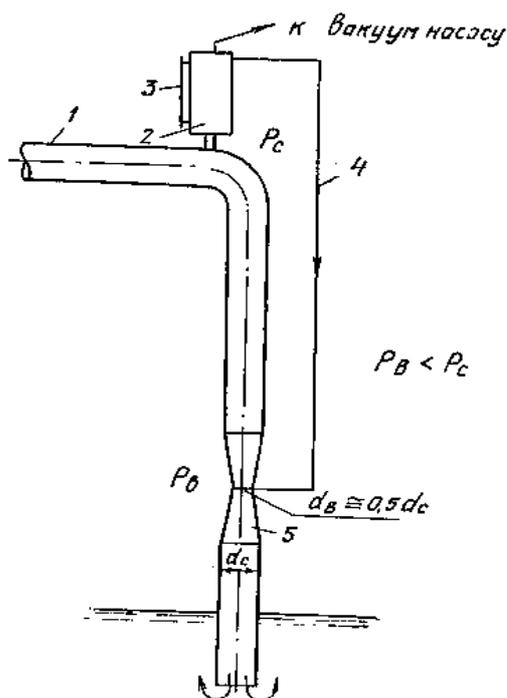


Рис. 3.29. Схема удаления воздуха из сифонного водовода:

1 – сифонный водовод; 2 – вакуум-колпак; 3 – водомерное стекло; 4 – соединительная трубка; 5 – вставка Вентури

рекомендуется устанавливать колпак с водомерным стеклом; к высшей точке колпака присоединяют трубу вакуум-насоса (рис. 3.29). Во время работы сифона выделившийся из воды воздух собирается в колпак, из которого по соединительной трубке поступает к вставке Вентури, а затем выносится вместе с водой и по выходе из трубы выделяется в атмосферу.

Для запуска сифонной линии в работу закрывают задвижку на нисходящей ветви сифона, запускают вакуум-насос, затем, после заполнения всей трубы водой (из вакуум-насоса поступает вода) отключают вакуум-насос и открывают задвижку. К сифонным линиям предъявляют повышенные требования по герметичности стыков.

### 3.3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОЗАБОРОВ

#### 3.3.1. Расчетный расход водозабора

Гидравлические расчеты всех элементов водозаборов производят на два возможных эксплуатационных режима:

– нормальный, когда все  $n_c$  секций работают; при этом расчетный расход ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ) воды для каждой секции равен

$$Q_i = \frac{Q_p}{n_c}; \quad (3.7)$$

– форсированный (или аварийный), когда одна из секций выключена; весь расчетный расход распределяется между работающими секциями поровну:

$$Q_\phi = \frac{k \cdot Q_p}{(n_c - 1)}, \quad (3.8)$$

где  $Q_p$  – расчетный расход водозабора:

$$Q_p = \frac{(1 + 0,01 \cdot C_n) \cdot Q_{\max}}{T}, \quad (3.9)$$

$Q_{\max}$  – расход воды в сутки максимального водопотребления  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;

$T$  – продолжительность работы водозабора (чаще всего  $T = 24$  ч, для небольших систем водоснабжения  $T = 16$  ч);

$C_n$  – затраты воды на собственные нужды водозабора и очистных сооружений в процентах от  $Q_{\max}$ ; в зависимости от качества воды в источнике и способа ее обработки,  $C_n = 3 \dots 8\%$ ;

$k$  – коэффициент допустимого временного снижения количества воды, подаваемой потребителю.

При нормальном режиме работы водозабора определяют:

– площади водоприемных окон и сеточных отверстий, диаметр трубопроводов и размеры других элементов водозабора;

– потери напора в элементах водозабора, отметки уровней воды в отделениях берегового водоприемного колодца.

При форсированном режиме определяют потери напора в элементах водозабора, отметки низших уровней воды в отделениях и высшую отметку оси насоса.

### 3.3.2. Определение площади водоприемных окон

Площадь водоприемных отверстий (брутто) одной секции водозабора определяется по формуле

$$F_{\phi} = k_1 \cdot k_2 \frac{Q_i}{V_p}, \quad (3.10)$$

где  $k_1$  – коэффициент, учитывающий загрязнение решетки водорослями и мусором  $k_1 = 1,25$ ;

$V_p$  – допускаемая средняя скорость втекания (м/с) в водоприемные отверстия:

а) для средних и тяжелых условий забора воды без учета требований рыбозащиты  $V_p = 0,2 \dots 0,6$  м/с; в береговых незатопляемых и затопленных водоприемниках  $V_p = 0,1 \dots 0,3$  м/с;

б) с учетом требований рыбозащиты:

– в водотоках со скоростями течения более 0,4 м/с допустимая скорость втекания – 0,25 м/с;

– в водотоках со скоростями течения менее 0,4 м/с и водоемах – 0,1 м/с.

Для очень тяжелых шуголедовых условий скорость втекания воды в водоприемные отверстия следует снижать до 0,06 м/с.

$k_2$  – коэффициент, учитывающий стеснение отверстий стержнями решеток.

$$k_2 = \frac{a + d}{a},$$

$d$  – диаметр или толщина стержней;

$a$  – расстоянием между стержнями решетки в свету (прозор).

В водоприемниках фильтрующего типа площадь водоприемного фильтра можно определить по формуле (3.10) при значении

$$k_2 = \frac{1}{\rho}, \quad (3.11)$$

где  $\rho$  – пористость фильтра; принимается для гравийно-щебеночного заполнения 0,3 – 0,5; порозластовых фильтров – 0,25 – 0,35.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 10

На практических занятиях предлагается выполнить расчет водоприемных окон для водозаборного сооружения берегового типа. Условия забора воды средние, рыбозащита не предусматривается. Береговой колодец разделен на 2 секции.

Исходные данные принять по вариантам.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Производительность водозабора, тыс. м <sup>3</sup> /сут	12	15	18	24	14	25	20	16	22

Рекомендации к выполнению задания:

1. Определить расчетную производительность водозабора, руководствуясь вышеизложенным материалом.
2. Определить расчетный расход каждой секции.
3. Определить фиксированный расход каждой секции:
4. По формуле (3.10) определить площадь водоприемных окон.
5. По нижеследующей таблице подобрать решетку.

водоприемного окна	Размеры, мм							Масса решетки, кг
	решетки							
	$H$	$H_1$	$H_2$	$h$	$A$	$L$	$L_1$	
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

### 3.3.2.1. Определение потерь напора в решетках

Потери напора в решетках определяют по формуле

$$h_p = \xi_p \frac{v^2}{2g}, \quad (3.12)$$

где  $\xi_p$  – коэффициент сопротивления в решетках;

а) для прямоугольных стержней:

$$\xi_p = k \left( \frac{c}{c+a} \right)^{1,6} \left( 2,3 \frac{b}{a} + 8 + 2,4 \frac{a}{b} \right) \sin \alpha,$$

где  $k = 0,504$  – для прямоугольных стержней;  $k = 0,318$  – для прямоугольных стержней с закругленными входными кромками;  $k = 0,182$  – для клинообразных стержней с закругленными кромками;

$c$  и  $b$  – соответственно толщина и ширина стержней;

$a$  – величина просвета между стержнями;

$\alpha$  – угол наклона решетки к горизонту;

б) для стержней круглого сечения:

$$\xi_p = 1,79 \left( \frac{d}{a} \right)^{\frac{1}{3}} \sin \alpha ,$$

$v$  – средняя скорость воды перед решеткой;

$d$  – диаметр сечения стержня.

3.3.2.2. Определение глубины источника в месте расположения водоприемника

Определяя размеры решеток, следует учитывать глубину воды в месте расположения водоприемника и его конструкцию.

Необходимая глубина воды в источнике (м) определяется для двух сезонов года:

а) наименьшая глубина летом:

$$H_l \geq h_p + p + k + a , \quad (3.13)$$

$h_p$  – высота решетки;

$p$  – порог водоприемных отверстий (расстояние от дна реки до низа водоприемных отверстий), принимается 0,5 м;

$k$  – расстояние от верха водоприемника до водоприемного отверстия;

$a$  – расстояние от верха водоприемника до уровня воды, принимается равным не менее 0,3 м;

б) наименьшая глубина зимой:

$$H_z \geq h_p + p + k + v + \delta_n , \quad (3.14)$$

$v$  – расстояние от верха водоприемника до нижней кромки льда;

$\delta_n$  – глубина погружения льда под уровень воды:

$$\delta_n = 0,9 \cdot \delta_l$$

$\delta_l$  – толщина льда;

0,9 – коэффициент, учитывающий плотность льда.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 11

На практических занятиях предлагается:

1. Определить потери напора в решетке.
2. Определить необходимую глубину источника в месте расположения берегового колодца.

Исходные данные принять по вариантам:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Толщина стержня $C$ , мм	6	8	10	6	8	10	6	8	10
Ширина стержня $b$ , мм	40	40	60	40	40	60	40	60	60
Толщина льда	1	1,1	1,2	0,8	0,9	1,4	1,5	1,9	1,4

Рекомендации к выполнению задания:

1. Определить потери в решетке при нормальном режиме, руководствуясь вышеизложенным материалом. Решетку принять с прямоугольными закругленными кромками и прозорами 50 мм.

Для выполнения расчета величину производительности водозабора принять в соответствие с вариантом по практическому заданию 10. Расход определить исходя из наличия на водозаборе двух рабочих секций.

2. Аналогично определить потери напора в решетках при форсированном режиме.

3. Определить необходимую глубину источника. Размеры решеток принять из предлагаемой таблицы в практическом занятии 10, п. 5.

### 3.3.3. Определение площади сеточных отверстий

Площадь плоских или вращающихся сеток береговых колодцев определяется по формуле (3.15).

$$F_g = 1,25 \cdot \frac{Q_i}{V_c} \cdot K_{cm}, \quad (3.15)$$

где  $Q_i$  – расчетный расход секции, м<sup>3</sup>/с;

1,25 – коэффициент, учитывающий загрязнение сетки;

$K_{cm}$  – коэффициент, учитывающий стеснение отверстий сеткой:

$$K_{cm} = \left[ \frac{a+d}{a} \right]^2,$$

$a$  – размер ячейки сетки в свету;

$d$  – диаметр проволоки сетки;

$V_c$  – скорость прохождения воды через сетку, принимается равной 0,2 – 0,4 м/с – для плоских и 0,4 – 0,5 м/с – для вращающихся сеток.

### 3.3.4. Расчет самотечных и сифонных линий

Диаметр подающих труб назначают, исходя из скоростей движения воды при нормальном режиме работы водозабора (табл. 3.2).

Рекомендуемые скорости движения воды в самотечных трубах

Диаметр труб, мм	Скорость при категории водозабора, м/с	
	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	2,0

При выборе диаметров труб необходимо учитывать, что скорость движения должна обеспечивать транспортирование находящейся в воде взвеси, не допуская ее выпадения. В тоже время слишком большая скорость приводит к увеличению потерь напора и к заглоблению берегового колодца, что повышает его стоимость. Сечение водоводов должно проверяться на незаиливание по формуле А.С. Образовского:

$$V \geq V_{нз} = \left( \frac{\rho \cdot w \cdot D}{0,11 \cdot \left(1 - \frac{w}{u}\right)^{4,3}} \right)^{0,33}, \quad (3.16)$$

где  $V$  и  $V_{нз}$  – средняя и незаиливающая скорости в трубе, м/с;  
 $w$  – средневзвешенная гидравлическая крупность наносов, м/с;  
 $u$  – скорость выпадения частиц, м/с;  $u = 0,07 \cdot V$ ;  
 $P$  – мутность речной воды, кг/м<sup>3</sup>.

Размеры элементов водозабора определяют применительно к нормальным условиям работы, а расчет потерь напора производят для особых условий, например, авария на одной из подающих линий.

Потери напора в самотечных и сифонных водоводах

$$h_g = 1000i \cdot l + \sum \zeta_i \frac{V_i^2}{2g}, \quad (3.17)$$

где  $1000i$  – удельные потери напора по длине трубопроводов, м/км (по таблицам Ф.А. Шевелева);

$l$  – длина трубопровода, м;

$\sum \zeta_i \frac{V_i^2}{2g}$  – сумма потерь напора на преодоление местных сопротивлений;

где  $V_i$  – скорость течения воды, м/с;

$\zeta_i$  – коэффициент сопротивления.

Для сифонных водоводов в аварийном режиме работы водозабора потери напора необходимо знать по всей длине и отдельно в восходящей линии

(до точки подключения вакуум-насоса). Допустимая высота сифона (от нижнего уровня воды в реке до высшей точки сифона) определяется по формуле

$$h_{сиф} = h_{вак.доп} - h_в, \quad (3.18)$$

где  $h_{вак.доп}$  – максимально-допустимая величина вакуума в сифоне; принимается  $h_{вак.доп} = 6 - 7$  м.

$h$  – потери напора от оголовка до точки подключения вакуум-насоса.

### 3.3.5. Определение уровней воды и отметки дна в водоприемном колодце

Наименьшие уровни воды в отделениях водоприемного колодца наблюдаются при минимальном (нижнем) уровне воды в источнике в аварийном режиме работы водозабора.

Минимальный уровень воды в приемном отделении водозабора определяется по формуле

$$Z_{мин}^{np} = Z_{СНГВ} - \sum h, \quad (3.19)$$

где  $Z_{СНГВ}$  – отметка минимального (нижнего) горизонта воды в источнике водоснабжения, м;

$\sum h$  – потери напора в элементах водозабора от водоприемника до берегового колодца (м):

а) для русловых водозаборов

$$\sum h = h_p + h_в + h_{дл} + h_m,$$

где  $h_p$  – потери напора в решетке, м;

$h_в$  – потери напора в водоприемнике, м;

$h_{дл}$  – потери напора по длине в самотечной линии, м;

$h_m$  – потери напора на преодоление местных сопротивлений в водоводе, м;

б) для береговых водозаборов

$$\sum h = h_p.$$

Минимальный уровень воды во всасывающем отделении определяется по формуле

$$Z_{мин}^{вс} = Z_{мин}^{np} - h_c, \quad (3.20)$$

где  $h_c$  – потери напора в сетке, м, (в плоских – 0,1...0,15, во вращающихся – 0,15...0,3).

Входные отверстия всасывающих трубопроводов насосов должны быть заглублены под минимальный уровень воды в приемном отделении колодца в аварийном режиме работы (рис. 3.30). Если заглубление будет недостаточ-

ным, то возле входных отверстий образуются воронки, через которые во всасывающие трубы проникнет воздух, что вызовет срыв работы насосов.

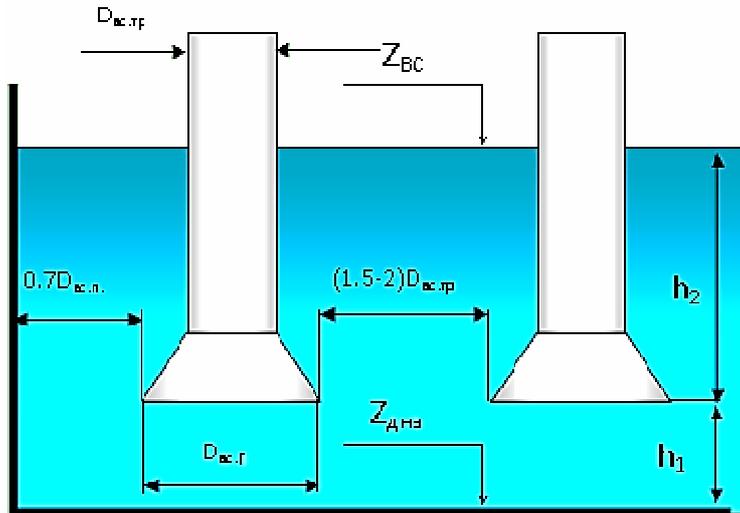


Рис. 3.30. Размещение всасывающих труб насосов

Диаметр входных отверстий всасывающих труб должен быть равен

$$D_{вс.п.} = (1,3 \dots 1,5) \cdot D_{вс.тр.}$$

Расстояние от верхней кромки входных отверстий до минимального уровня воды в колодце должно быть не менее  $h_2 = 2 D_{вс.п.}$ .

Расстояние от нижней кромки входных отверстий до дна колодца должно быть не менее  $h_1 = 0,8 D_{вс.п.}$ , но в любом случае не меньше 500 мм.

При горизонтальном размещении всасывающих трубопроводов (рис. 3.31) для уменьшения уровня воды в колодце воронку можно изготовить в виде эллипса.

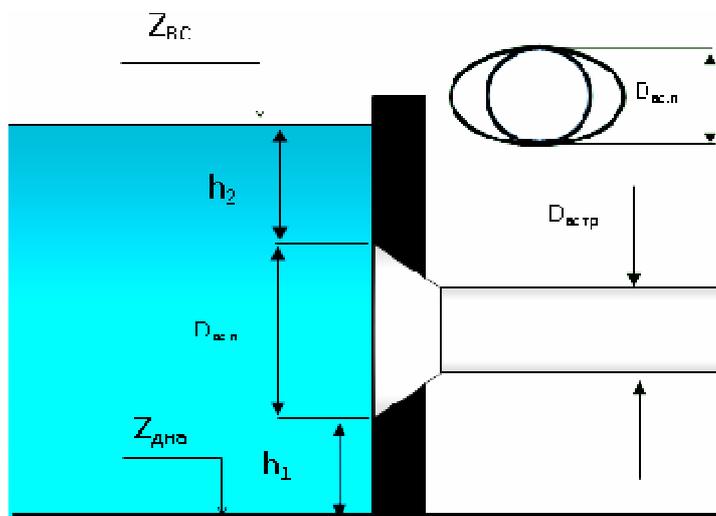


Рис. 3.31. Горизонтальное размещение всасывающих труб насосов

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 12

На практических занятиях предлагается:

1. Определить размеры сеточных отверстий.
2. Определить отметки воды в береговом колодце.

Исходные данные принять по вариантам:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Размер ячейки сетки $a$ , мм	1	2	1,2	2,5	1,6	1,8	1,1	2,2	1,4
Диаметр сетки, мм	0,5	1	0,5	1,5	1	1,5	0,5	1,5	1

Рекомендации к выполнению задания:

1. Для определения площади сетки выбрать ее тип.
2. Площадь сетки определить по формуле (3.15). Производительность водозабора в соответствие с вариантом принять по практическому заданию 10.
3. Принять условную отметку минимального уровня в источнике в месте расположения берегового колодца исходя из необходимой глубины, определенной на практическом занятии 11. Отметку дна принять равную 100 м.
4. Определить отметки воды в приемном и всасывающем отделении берегового колодца, руководствуясь выше изложенным материалом. Практические потери напора в сетках при нормальном режиме принимают 0,1 м.
5. Аналогично определить отметки воды в береговом колодце при форсированном режиме. Практические потери напора при форсированном режиме принимаются 0,15 – 0,2 м.

### 3.3.6. Определение отметки оси насоса

Отметка оси насоса определяется в зависимости от принятой схемы его расположения: под заливом или с положительной высотой всасывания.

В станциях I категории, как правило, насосы устанавливаются под залив, при этом отметка оси насоса определяется конструктивно.

При выборе отметки оси насоса следует учитывать возможность временного понижения пьезометрического давления в самотечной трубе на величину порядка 1,0 – 1,5 м (вследствие закупорки приемных водоприемных отверстий).

При установке насоса с положительной высотой всасывания отметка оси насоса:

$$Z_H \leq Z_{\min}^{6c} + H_{ГВ}, \quad (3.21)$$

где  $H_{ГВ}$  – геометрическая высота всасывания, м;

$$H_{ГВ} = 10 - \Delta h_{\text{дон}} - \left( h_{\text{вс}} + \frac{V^2}{2g} \right),$$

$\Delta h_{\text{дон}}$  – допустимая величина кавитационного запаса, принимаемая по каталогу для данного типа насоса;

$h_{\text{вс}}$  – потери напора во всасывающей линии насоса;

$V$  – скорость во всасывающей патрубке насоса, м/с.

### 3.4. УСТОЙЧИВОСТЬ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

#### 3.4.1. Статическая устойчивость водоприемных оголовков

Затопленные водоприемники подвергаются воздействию силы тяжести  $G$ , сил взвешивающего  $P$  и гидродинамического  $F$  давления воды. Они находятся в состоянии статической устойчивости только тогда, когда коэффициенты их устойчивости на сдвиг и опрокидывание не меньше нормируемых, а дно русла водоисточника вокруг водоприемника не размывается:

$$K_{\text{сдв}} = \frac{(G - P) \cdot f}{F} \geq |K_{\text{сдв}}|, \quad (3.22)$$

$$K_{\text{опр}} = \frac{G \cdot X_G}{F \cdot Y_F + P \cdot X_P} \geq |K_{\text{опр}}|, \quad (3.23)$$

$$V_p \leq V_{\text{дон}}, \quad (3.24)$$

где  $f$  – коэффициент трения подошвы оголовка по его основанию, принимается равным 0,5 при трении бетона по бетону или скальному грунту; 0,6 – по каменной наброске; 0,45 – по песку; 0,35 – по супеси; 0,25 – по суглинку; 0,2 – по глине. При трении ряжей по каменной наброске он принимается равным 0,6, а по песку – 0,4;

$X_G, Y_F, X_P$  – плечи сил, действующих на оголовок сооружения относительно точки его опрокидывания;

$|K_{\text{сдв}}|, |K_{\text{опр}}|$  – допустимые коэффициенты статической устойчивости оголовка соответственно на сдвиг и опрокидывание, принимаемые равными 1,1...1,4;

$V_p$  – скорость придонного течения потока в зоне расположения оголовка с учетом стеснения им сечения водоисточника;

$V_{\text{дон}}$  – допустимая при данном состоянии дна водоисточника скорость размывающего потока.

Сила  $G$  (Н) находится через массу оголовка  $m$  по выражению

$$G = gm = g \sum \rho_i \cdot V_i, \quad (3.25)$$

$\rho_i$  – плотность материалов элементов оголовка, кг/м<sup>3</sup>;

$V_i$  – объем его отдельных элементов, м<sup>3</sup>.

Сила взвешивания оголовка  $P$  (Н), расположенного на хорошо проницаемых грунтах, определяется по формуле

$$P = g \cdot \rho_e \cdot V = g \cdot \rho_e \cdot \sum V_i, \quad (3.26)$$

$\rho_e$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$\sum V_i$  – общий объем оголовка, м<sup>3</sup>.

Если же основание оголовка с ограниченной проницаемостью, то

$$P = K_{\text{вз}} \cdot g \cdot \rho_e \cdot \Omega (h_{\text{оз}} + h_{\text{ф}}), \quad (3.27)$$

где  $K_{\text{вз}}$  – 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 – неразрушенных;

$\Omega$  – площадь основания оголовка, м<sup>2</sup>;

$h_{\text{оз}}$  – высота оголовка в потоке над дном реки, м;

$h_{\text{ф}}$  – заглубление фундамента оголовка относительно дна реки, м.

Сила  $F$  гидродинамического воздействия (Н) потока на оголовок находится по формуле

$$F = \Psi \cdot g \cdot \rho_e \cdot \omega \frac{v_p^2}{2g}, \quad (3.28)$$

где  $\Psi$  – коэффициент лобового сопротивления оголовка потоку, равный 0,6 для прямоугольного в плане профиля оголовка, 0,4 – для круглого, 0,3 – для ромбического и 0,07 – для каплевидного;

$\omega$  – площадь поперечного сечения части оголовка, воспринимающей гидродинамическое давление потока (расположенная над дном источника перпендикулярно к потоку часть его вертикального сечения);

$v_p$  – расчетная скорость течения воды в источнике, м/с.

Плечо  $Y_F$  силы относительно точки  $O$  равно  $h_{\text{ф}} + 0,6h_{\text{оз}}$  исходя из условия неравномерности распределения скоростей потока по вертикали.

Если скорость придонного потока  $v_p$  у сооружения больше неразмыывающей, то вокруг оголовка требуется специальное закрепление грунта.

### 3.4.2. Расчет береговых колодцев на всплытие

Береговые колодцы, днища которых находятся 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 берегового колодца или их часть полностью опорожняются для производства работ. При этом полагается, что насосное отделение водозабора всегда свободно от воды.

Колодец или отдельные его элементы считаются устойчивыми к всплытию, если соблюдается условие

$$G_k + G_o + F_{тр} \geq P_v \quad (3.29)$$

или

$$G_k + G_o + 0,5H_c^2 \cdot \gamma_c \cdot \Psi_c \cdot \Omega_c \cdot f_c + H_c \cdot H_m \cdot \gamma_c \cdot \Psi_m \cdot \Omega_m \cdot f_m + H_m^2 \cdot \gamma_m \cdot \Psi_m \cdot \Omega_m \cdot f_m = \\ = K_{вспл} \cdot V_v \cdot \gamma_v \cdot K_{вз},$$

где  $G_k, G_o$  – сила тяжести соответственно строительных конструкций и оборудования водозабора, Н;

$F_{тр}$  – сила трения сооружения о грунт при его всплытии, Н;

$P_v$  – противодавление (взвешивающая сила) воды, Н;

$H_c, H_m$  – высота слоя, соответственно, сухих и мокрых грунтов, действующих на стенки берегового колодца, м;

$\gamma_c, \gamma_m$  – удельный вес этих грунтов, Н/м<sup>3</sup>;

$\Psi_c, \Psi_m$  – коэффициенты, учитывающие способность сухих и мокрых грунтов передавать давление на ограничивающие их стенки:

$$\Psi = \operatorname{tg}^2(45^\circ - 0,5\varphi),$$

$\varphi$  – угол внутреннего трения грунта, равный 26 – 32°;

$\Omega_c, \Omega_m$  – площадь внешних поверхностей подземной части колодца, находящихся соответственно в зоне сухих и мокрых грунтов, м<sup>2</sup>;

$f_c, f_m$  – коэффициенты трения о них сооружения;

$V_v$  – объем затопляемой части сооружения по внешнему контуру, м<sup>3</sup>.

$K_{вспл}$  – коэффициент запаса устойчивости к всплытию; принимается равным 1,1...1,4.

### 3.4.3. Расчет самотечных линий на всплытие

При водовоздушной промывке самотечных линий водозабора в результате подачи воздуха нарушается статическая устойчивость самотечных линий. Если не принять соответствующих мер, эти линии могут всплыть, Это может произойти также при опорожнении линий в период их ремонта

или профилактического осмотра. Поэтому самотечные линии следует проверять на устойчивость к всплытию по условию:

$$\frac{G}{(\rho_v \cdot g \cdot \omega)} \geq K_{вспл}, \quad (3.30)$$

где  $G$  – сила тяжести трубы длиной 1 м с учетом гидроизоляции, Н;  
 $\rho_v$  – плотность воды, Н/м<sup>3</sup>;  
 $g$  – ускорение свободного падения;  
 $\omega$  – площадь поперечного сечения самотечной линии по наружному диаметру, м<sup>2</sup>;  
 $K_{вспл}$  – коэффициент устойчивости сооружения к всплытию, равный 1,1...1,3.

При необходимых случаях прибегают к пригрузке самотечных линий специальной обсыпкой или балластными грузами.

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 13

На практических занятиях предлагается выполнить расчет берегового колодца на всплытие.

Известно следующее.

Береговой колодец состоит из железобетонной подземной части, круглой в плане диаметром  $D$  и высотой  $H_n$ . Толщина стенки подземной части 1,5 м. Надземная часть кирпичная прямоугольная в плане с размерами  $A \times B$  высотой 6 м. Толщина стенок 500 мм. Днище железобетонного колодца толщиной 1,5 м. Перекрытие состоит из железобетонных плит толщиной 250 мм, щебеночного основания толщиной 250 мм и бетонной подготовки толщиной 300 мм.

Исходные данные принять по вариантам:

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Диаметр колодца $D$ , м	18	21	15	12	9	12	15	18	12
Высота подземной части $H_n$ , м	14	8	5	6	7	9	7	6	12
Размеры наземной части $A \times B$ , м	27×18	33×21	21×15	18×12	18×7	15×12	18×15	24×18	15×12
Масса оборудования, кг	3000	3500	2500	2000	1500	2100	2800	3200	2500

Рекомендации к выполнению задания:

1. Для определения общей массы сооружения необходимо определить массу отдельных его элементов, для чего необходимо определить объем материалов конструкций.

Так, например, объем подземной части берегового колодца будет равен:

$$V_n = \frac{\pi(D - D_{вн})}{4} M^3,$$

где  $D_{вн}$  – внутренний диаметр берегового колодца, м. Объем остальных элементов определить аналогично.

2. Масса отдельных элементов будет равна  $M = V \cdot \rho$  где  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>. Значения плотности:

- железобетон – 2500;
- кирпич – 1600;
- щебень – 1800;
- бетон – 2200.

3. Определить общую массу сооружения.

4. Сила тяжести сооружения  $G_c = Mg$ , кН.

5. Определить силу трения сооружения о грунт, руководствуясь вышеизложенным материалом. Коэффициенты трения о грунт сооружения  $f_c$ ,  $f_m$  принять соответственно 0,25 и 0,3 (грунт глина).

6. Определить силу противодействия  $P_v$ .

7. Сделать вывод об устойчивости берегового колодца.

### **Самоконтроль по УЭ-3:**

1. Вспомните, чем оборудуются водоприемные окна.
2. Какие типы водоочистных сеток вы знаете?
3. Вспомните, как определяется количество самотечных линий водозаборов руслового типа.
4. Подумайте, можно ли устраивать сифонные линии для водозаборов I категории надежности.

## **УЭ-4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО РЫБОЗАЩИТЕ, БОРЬБЕ С НАНОСАМИ И ШУГОЙ**

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-4:**

1. Рыбозащитные устройства водозаборов:
  - основные виды рыбозащитных устройств.
2. Борьба с шуголедовыми явлениями:
  - мероприятия по борьбе с шугой;
  - водоприемные ковши.
3. Мероприятия по борьбе с наносами.

#### 4.1. РЫБОЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА ВОДОЗАБОРОВ

Попадание в водозабор большого количества рыбы и особенно мальков наносит большой вред природным рыбным ресурсам. Кроме того, попавшая в водозабор рыба погибает и загнивает, что создает недопустимую санитарно-гигиеническую обстановку на сооружениях, обеспечивающих подачу воды на хозяйственно-питьевые нужды. Поэтому на всех водозаборных сооружениях должны быть предусмотрены мероприятия, обеспечивающие надежную рыбозащиту.

Рыбозащита водозаборов должна рассматриваться по двум направлениям:

- первое направление предусматривает выбор правильного месторасположения водозаборов и связано с особенностями распределения молоди рыб, ее миграции, сезонным и суточным ритмом попадания в данном конкретном водоеме. Определяется район с минимальной концентрацией рыб для устройства водозабора;

- второе направление связано с защитой рыб, попавших в зону действия водозабора, и основано на знании приемов управления поведением рыб, их реакцией на отдельные раздражители, используемые для отпугивания или направления движения молоди, а также на знании скоростей движения рыб.

При проектировании РЗУ необходимо учитывать наряду с техническими следующие основные биологические характеристики поведения рыб и молоди:

- реореакция – ориентация рыб головой на течение и движение против потока воды. С реореакцией у рыб связаны активные и пассивные миграции, питание, защита от хищников, некоторые механизмы стайного поведения и т. п.;

- зрение – рецепция, хорошо развитая у большинства пресноводных и проходных рыб, за исключением осетровых и некоторых ночных хищников (сом, налим);

- слух – рыбы слышат в широком звуковом диапазоне от 16 до 5000 Гц, а в некоторых случаях до 13 000 Гц. Высокие звуковые и ультразвуковые частоты слухом рыбы не воспринимают;

- органы боковой линии – рецептор, которым рыбы воспринимают в основном низкую часть звуковых колебаний с частотой от 1 до 25 Гц, гидродинамические поля и струи воды; это имеет значение при ориентации рыб в потоках с повышенной турбулентностью;

- хеморецепция связана с чрезвычайно чувствительными органами обоняния и вкуса. Органы обоняния используются рыбами при сигнализации, обнаружении хищников и пищи, а органы вкуса – в поисках пищи;

– минимальные скорости потока, при которых возникает реореакция, называются пороговыми. Величины их у рыб разных видов колеблются в пределах 0,4...1,5 длин тела рыб в секунду ( $l/c$ , где  $l$  – длина тела рыбы). Величины пороговых скоростей определяются ихтиологическими исследованиями для конкретных условий и учитываются при применении ряда способов защиты рыб. Критическая скорость течения – это верхняя граница того интервала скоростей, в котором возможно удержание рыб в потоке. Ее величина равна скорости потока, который сносит рыб, в пределах 6...14  $l/c$ .

Плавательная способность рыб характеризуется временем, в течение которого рыбы способны двигаться с заданной скоростью. Время движения рыб определяется скоростью их плавания: чем больше скорость, тем меньше время движения. В потоке воды рыбы развивают бросковые скорости движения при преодолении водопадов, стремнин, входных окон в камерах рыбоходов и водоприемников и т. д.; они могут составлять 30...40  $l/c$ . В режиме крейсерских (3...7  $l/c$ ) и максимальных (до 15  $l/c$ ) скоростей рыбы передвигаются в потоке, совершают миграции, удерживаются на участках с определенными гидравлическими условиями и сохраняют места своего постоянного обитания.

При устройстве рыбозащиты следует иметь в виду:

– в процессе развития многие виды рыб совершают закономерные перемещения (миграции) из одних мест обитания в другие;

– миграционный цикл рыб обычно состоит из нерестовой и нагульной (кормовой, зимовальной миграции). Одной из форм кормовой миграции являются покатные миграции, или скат молоди. Попадание молоди рыб в водоприемные сооружения – это в основном следствие покатных миграций;

– в водотоках с достаточной прозрачностью воды в светлое время суток молодь стремится держаться у берегов, где скорости течения соответствуют их плавательной способности;

– горизонтальное распределение рыб по ширине реки неравномерно, изменчиво и в значительной степени определяется плавательными способностями рыб. Изменение скоростей течения в реке может приводить к смещению миграционных трасс движения рыб;

– перемещение различных рыб происходит в водотоках и водоемах разными путями. Скат личинок осетровых до перехода их к активному питанию совершается в придонных горизонтах реки. В прибрежной зоне, где скатывается молодь полупроходных рыб, молодь осетровых не встречается. Личинки донского судака длиной до 10...12 мм обитают в толще воды, главным образом в верхних слоях, а более крупные – в придонных слоях речных потоков. Ранние личинки леща обитают на мелководье в прибреж-

ной зоне и по мере роста постепенно перемещаются дальше от берегов в придонные слои;

– основная масса молоди рыб скатывается вниз по течению после выклева, но молодь некоторых видов задерживается на некоторое время в реках до июня – июля. Чем выше по реке, тем меньше молоди, меньше ее размеры, короче время пребывания;

– на водоемах молодь концентрируется в прибрежной зоне с глубинами до 2 – 5 м.

При проектировании водозаборов используются следующие принципы рыбозащиты:

– экологические – использование закономерностей, связанных с образом жизни рыб (распределением, миграциями и особенностями их попадания в водозабор);

– поведенческие – использование реакции рыб на те или иные раздражители (свет, звук, электрическое поле и др.);

– физические – использование ряда физических явлений при условии обеспечения жизнеспособности рыб (задержание механическими преградами, использование разности плотности воды и рыб и др.).

В отечественной и зарубежной практике наиболее широкое применение получили РЗУ, созданные на поведенческом и физическом принципе защиты – различные сетчатые конструкции и фильтры с различным родом заполнителя. В качестве отвода молоди от РЗУ применяются рыбоотводные гидравлические и пневматические устройства, специальные рыбонасосы, кольцевые эжекторы, самотечные каналы.

#### **4.1.1. Основные виды рыбозащитных устройств**

Рыбозащитные устройства можно разделить на три группы:

1. Механические.
2. Гидравлические.
3. Физиологические.

##### **4.1.1.1. Механические препятствия**

Для задержания рыб используются плоские сетки, вращающиеся сетки, сетчатые барабаны, заграждения из камыша, хвороста, щебня, фильтрующие кассеты, фильтрующие оголовки, которые работают по принципу создания механических преград.

Плоские сетки устанавливают в отверстия водоприемников с допустимыми скоростями течения воды сквозь сетку до 0,25 м/с, при скоростях течения в транзитном потоке, обтекающем водоприемник в пределах не менее 0,2 – 0,5 м/с, и длине водоприемного фронта не более 25 м.

Плоские сетки (рис. 3.32) включают следующие основные элементы: несущую конструкцию, сетчатое полотно, очистное устройство, подъемно-транспортное оборудование.

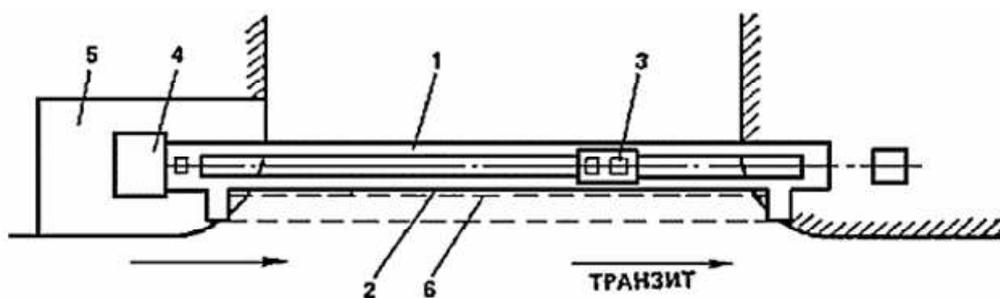


Рис. 3.32. Схема расположения конструкции РЗУ типа плоской сетки:

1 – несущая конструкция; 2 – сетчатое полотно; 3 – очистное устройство; 4 – подъемный механизм; 5 – монтажная площадка; 6 – служебный мост

Сетчатое полотно предназначено для предупреждения попадания рыб, а также мелкого мусора в водоприемник: оно набирается из отдельных сеточных рам или сеточных каркасов. Сетка с ячейкой 1×1 мм предназначена для защиты молоди рыб всех размеров, 2×2 мм – для защиты молоди рыб с длиной тела 15 мм и более, 4×4 мм – для защиты молоди рыб с длиной тела 30 мм и более.

В зависимости от конфигурации оголовка водозаборного сооружения и от других условий сетчатое полотно может быть расположено в плане по прямой линии, по дуге или по окружности, в виде прямоугольника или угла. Ширину отдельных сеточных рам или элементов сеточного каркаса рекомендуется назначать не более 1, высоту не более 1,5 м. Сетчатое полотно устанавливается в вертикальном или наклонном положении.

Очистные устройства служат для очистки сетчатого полотна от мусора, они бывают гидравлические и механические.

Подъемно-транспортное оборудование служит для подъема и посадки на место сеточных рам и сеточных каркасов и их эвакуации за пределы несущей конструкции, а также для монтажа и демонтажа очистного устройства.

В последнее время распространены в практике проектирования фильтрующие кассеты из насыпного заполнителя или из пористых материалов. Фильтрующие кассеты устанавливаются на период рыбозащиты вместо решеток. Коробчатое сечение засыпается гравием или щебнем крупностью 30...40 мм толщиной 100...150 мм и крепится с двух сторон от рассыпания крупноячеистыми каркасами.

На рисунке 3.33 представлена схема кассеты, заполненной фильтрующим несвязным материалом (полиэтиленовыми или пластмассовыми шариками, керамзитом, гравием щебнем).

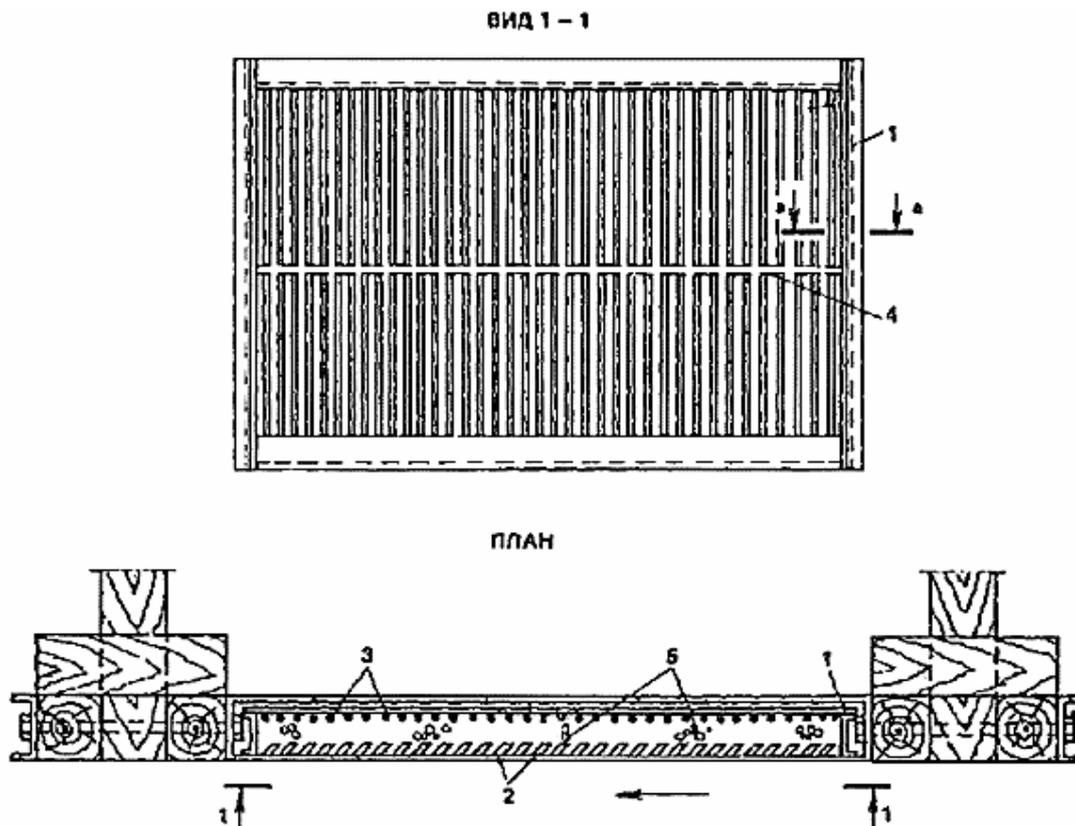


Рис. 3.33. Плоская кассета с насыпным фильтрующим материалом:  
 1 – металлический каркас; 2 – передние ограничительные ребра; 3 – задние ограничительные стержни; 4 – продольное ребро жесткости; 5 – насыпной наполнитель

Заполнение кассет порозластом производится в виде плит (рис. 3.34). Плиты порозластовые фильтрующие изготавливают согласно техническим условиям из порозласта – материала, представляющего собой смесь минерального наполнителя с термопластичным полимерным связующим. В качестве наполнителя должен применяться гравий, керамзит фракций 10 – 12, 12 – 16, 16 – 20 мм. В качестве связующего должен применяться полиэтилен низкой плотности. Содержание полиэтилена должно составлять 4 – 5% по массе. Порозласт на керамзите имеет объемный вес 0,75 – 0,85; порозласт на гравии – 1,5 – 1,7 т/м<sup>3</sup>.

В качестве РЗУ на водоприемниках могут применяться пакетно-речные кассеты и жалюзийные решетки, создающие эффект сплошности. Они имеют меньшее сопротивление по сравнению с фильтрами и не подвержены кольматации.

Пакетно-речная кассета (рис. 3.35, а) имеет контурную металлическую раму, приспособленную для опускания в пазы водоприемных отверстий. Отверстие рамы заполнено пакетами из деревянных реек разного размера и формы. Внутренний пакет кассеты образован рейками прямо-

угольного сечения, уложенными во взаимно перпендикулярных направлениях. С внешней стороны кассета содержит один ряд косо поставленных к течению деревянных брусков. Кассета при необходимости может быть поднята из воды, но в нормальных условиях промывается на месте. Эти кассеты не обмерзают и хорошо промываются обратным током воды.

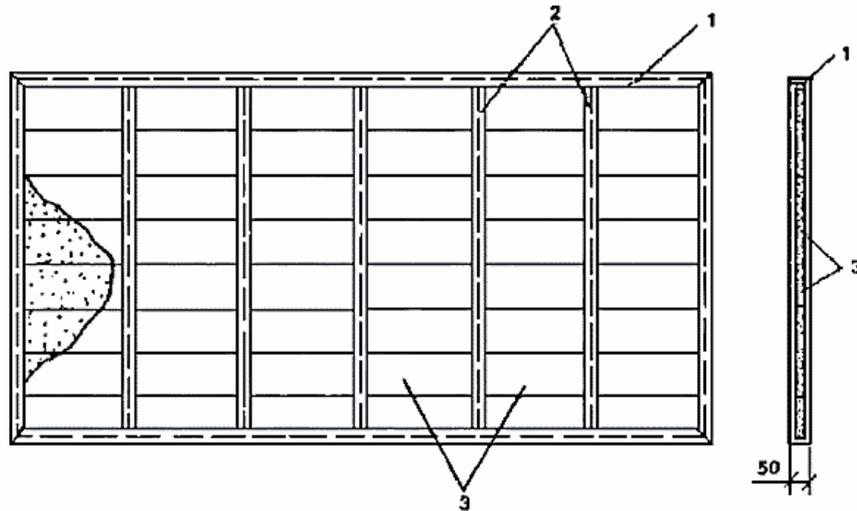


Рис. 3.34. Схема кассеты, заполненной фильтрующим связным материалом (пороэластом):

1 – металлический каркас; 2 – обрамляющие пазовые конструкции; 3 – пороэластовые плиты

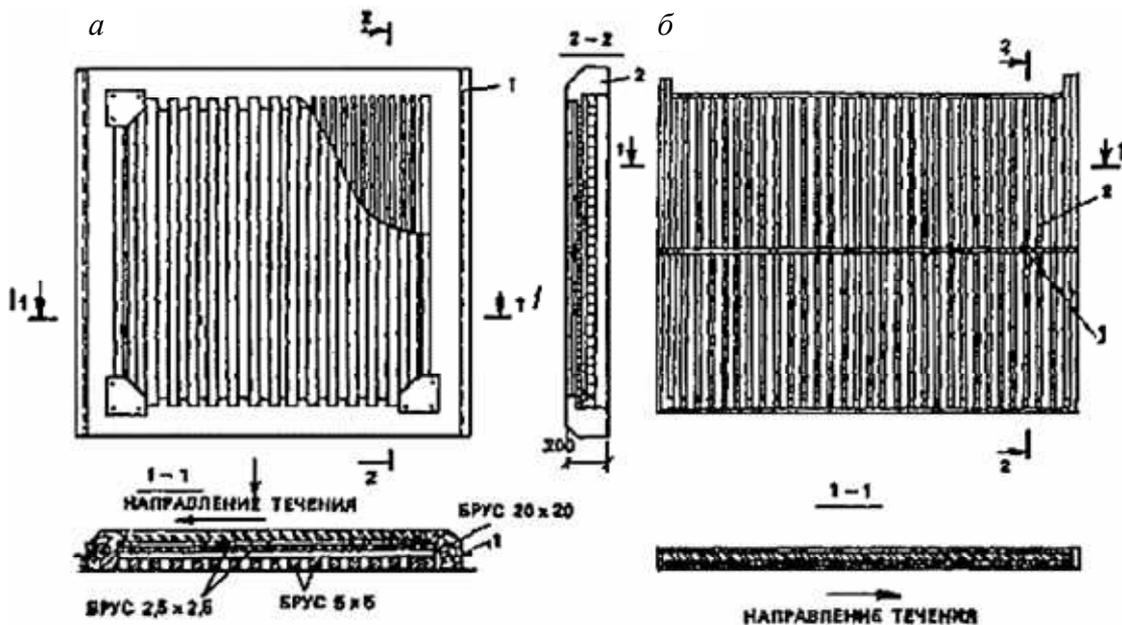


Рис. 3.35. Пакетно-речная кассета и жалюзийная решетка:  
*а* – пакетно-речная кассета; 1 – контурная металлическая рамка; 2 – деревянная обвязка; *б* – жалюзийная решетка; 1 – металлический каркас; 2 – стержни решетки

Жалюзийные решетки могут выполнять роль РЗУ при заборе воды водоприемниками из водотоков со скоростями, в 3 – 4 раза и более превышающими скорость втекания в водоприемник. Стержни решетки выполняются из полосовой стали и устанавливаются под углом  $135^\circ$  к течению. При таком расположении стержней решетка приобретает свойства самоочищаемости. Ширина стержней принимается в пределах 40 – 100 мм с расстоянием между ними 20 – 40 мм.

#### 4.1.1.2. Гидравлические мероприятия по рыбоотведению

При отсутствии в зоне водоприемных отверстий достаточных по рыбоотведению сносящих скоростей и устойчивой связи токов у водоприемников, размещаемых в глубоко врезанных в берега акваториях (ковши, каналы, врезки) с транзитными потоками, обязательно проведение мероприятий по рыбоотведению молоди рыб.

К группе гидравлических рыбозаградителей относятся струенаправляющие устройства, которые обеспечивают направление потока, обеспечивающее отвод рыбы от водозаборных отверстий. Обычно гидравлические заградители применяются вместе с рыбозаградителями механического типа. Простейшим мероприятием является снижение входных скоростей до 0,1 – 0,2 м/с (в 3 – 4 раза меньше скорости движения воды в реке) с тем, чтобы рыбы ориентировались на естественные речные потоки воды и не замечали водозабор. Это мероприятие неприменимо в водохранилищах и озерах с малоподвижной водой и при большой производительности водозабора.

На рисунке 3.36 представлена схема пневматической струенаправляющей рыбоотводной системы, обеспечивающей вынос рыбной молоди, подошедшей к зоне водозабора на поверхность водоема, и отвод ее в безопасную зону. Система состоит из перфорированных труб, соединенных с магистральным подводным трубопроводом для подачи в них сжатого воздуха, струенаправляющих щитов, установленных по периметру водоприемной части, экранов-отражателей, расположенных на поверхности водоема и закрепленных на площадке.

При выпуске сжатого воздуха в водную струю образуются восходящие водовоздушные струи, при набегании которых на струенаправляющие щиты при его переходе в поток поверхностного растекания создается винтообразное течение, отводящее массы воды в сторону от защищаемой зоны.

#### 4.1.1.3. Физиологические рыбозаградители

Принцип действия физиологических рыбозаградителей (рис. 3.36) основан на отпугивании рыб от водозаборного сооружения за счет неприятного воздействия на различные рецепторы рыб (электрические поля, звук, свет, завес из воздушных пузырьков и т. п.), изменяя их поведение перед водоприемниками.

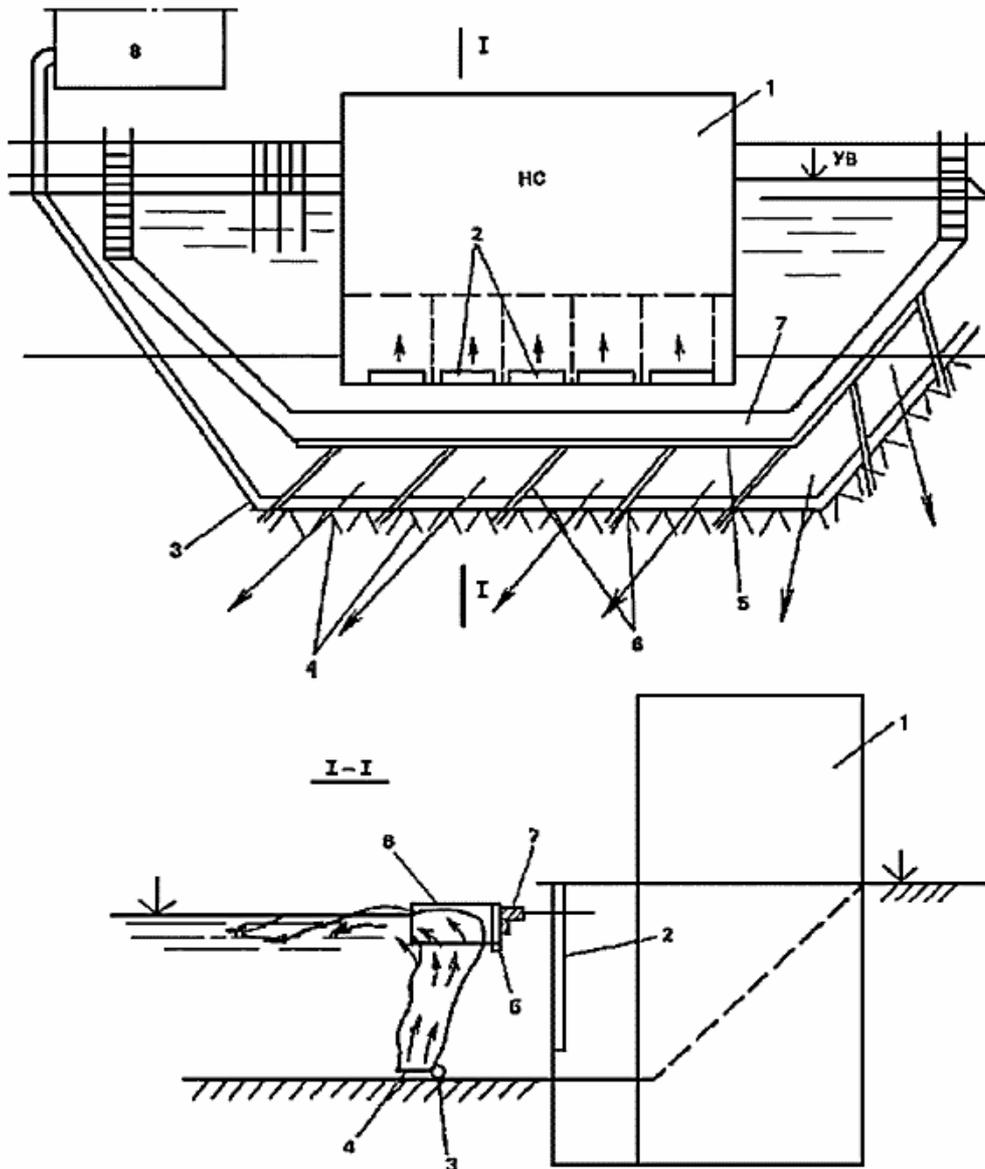


Рис. 3.36. Схема компоновки пневматической рыбоотводной системы с водозабором берегового типа:

1 – водозабор; 2 – водоприемные окна с фильтрами; 3 – коллектор подвода воздуха; 4 – перфорированные трубки; 5 – экран-отражатель; 6 – струенаправляющие щиты; 7 – опорный мостик; 8 – компрессорная

Наиболее распространенные типы:

– электрические рыбозаградительные устройства представляют собой систему электродов, на которые подается импульсный ток низкого напряжения,

– воздушно-пузырьковые завесы, которые создаются уложенным на дно или на буюх (на подвесе) перфорированным трубопроводом, куда закачивают сжатый воздух. Воздушно-пузырьковые завесы создают три воз-

действия: зрительно отпугивает стена, пугает шум, образующийся эрлифт выносит рыбу вверх. Сжатый воздух подается от передвижных компрессоров, необходимых только на период рыбозащиты.

Ведутся исследования по использованию для отпугивания рыб световых вспышек, звуковых и ультразвуковых волн.

## **4.2. БОРЬБА С ШУГОЛЕДОВЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ**

Скорость воды в реке препятствует образованию льда. Поэтому, при отрицательных температурах воздуха до образования ледостава осенью и после вскрытия льда весной, вода переохлаждается, и ее температура вследствие турбулентности потока может стать отрицательной. Это вызывает образование внутриводного льда – шуги, которая представляет собой беспорядочно движущиеся в воде кристаллы льда. В зависимости от количества образовавшейся шуги она может частично или полностью заполнять сечение русла реки, затрудняя водозабор.

При малоподвижной воде (скорости до 0,5 м/с) с установлением отрицательных среднесуточных температур воздуха температура воды быстро снижается на поверхности до нуля (самая плотная и теплая вода при +4°C – на дне). Дальнейшее похолодание приводит к тому, что поверхностный слой воды переохлаждается до –1,4°C. При попадании из атмосферы затравок (снежинок, пылинок) на них и на взвешенных веществах в воде возникают кристаллы льда. Они смерзаются и образуют плавающие ледяные пленки. Последние постепенно смерзаются и дают начало ледяному покрову, который со временем утолщается.

В подвижной воде (при скоростях свыше 0,5 м/с и при ветре) за счет турбулентного перемешивания кристаллики льда и переохлажденные пленки (внутриводный лед) увлекаются в толщу потока и спускаются до дна. Там они примерзают к поверхностям выступающих переохлажденных элементов дна и становятся затравкой для дальнейшего роста кристаллов – образуется донный лед. Из-за притока тепла от пород русла донный лед оттаивает отрывается и всплывает, образуя с внутриводным льдом шугу. Вместе с кристаллами льда может флотировать песок, гравий и даже камни. Донный лед образуется в холодное ночное время, а днем всплывает и образует во второй половине дня шугоход.

Шуга, двигаясь с течением реки, попадает к водозаборам. При этом ледяная взвесь обволакивает водоприемные сооружения, намерзает на прутья решеток и под действием возникающего перепада уровней воды резко

уплотняется, создает ледяной щит, что приводит к прекращению приема воды. Следует иметь в виду, что кристаллические и гидрофильные вещества обмерзают быстрее. Ледяная взвесь без песка легкая и плавает в верхних потоках. Но шуга, содержащая песок, может перемещаться по всей толще.

Для обнаружения шуги могут применяться автоматические сигнализаторы АСШ-3, которые работают по принципу измерения разности электропроводности льда и воды, подают световые и звуковые сигналы, включают обогрев решеток.

#### **4.2.1. Мероприятия по борьбе с шугой**

Главным мероприятием по борьбе с шугой является правильный выбор места водозаборных сооружений и типа водозабора. Так как кристаллы льда легче воды, то они стремятся всплыть на поверхность. Малые скорости воды и спокойное ее течение способствуют всплытию шуги, и наоборот, большая скорость и турбулизация потока воды приводят к тому, что шуга находится во всем потоке. Поэтому водозаборные сооружения необходимо располагать на прямых участках русла реки, где поток не зажат какими-либо препятствиями и вода движется спокойно (без турбулентных вихрей) и с малой скоростью. Если в месте водозабора таких участков русла реки нет, то может быть целесообразным строительство водозаборного ковша, который как раз, и обеспечивает спрямление потока и малые скорости воды.

Высокой эффективностью по борьбе с шугой являются мероприятия, обеспечивающие малые скорости поступления воды в водоприемные отверстия. Причем, чем больше шуги в воде, тем меньше должна быть скорость. При этом шуга движется по природному течению, не нахватываясь водозабором. Такие малые скорости воды приводят к существенному увеличению размеров водоприемных отверстий. Увеличивается количество окон в оголовках русловых водозаборов либо их размеры в русловых водозаборах. Это мероприятие является достаточно эффективным для водозаборов малой и средней производительности.

На водозаборах большой производительности увеличение размеров водоприемных окон может повлечь существенное увеличение общих размеров водоприемных сооружений и, как следствие, значительное увеличение их стоимости. Учитывая то, что шуговые явления могут наблюдаться максимум до 15 дней в году и не каждый год, такое вложение финансовых средств нельзя признать эффективным.

При малом количестве шуги в реке и небольшой производительности водозабора можно использовать следующие мероприятия:

- применение решеток для водоприемных отверстий из гидрофобных материалов, в которых все металлические поверхности покрываются пластмассой, резиной, битумом, эбонитом, каучуком, полиэтиленом или жидким стеклом. Это предотвращает прилипание (примораживание) кристаллов льда к металлу;

- применение специальных фильтрующих оголовков, например деревянных ряжевых (дерево обмерзает хуже, чем стальные и бетонные элементы);

- промывка решеток обратным током или импульсная промывка (русловые водоприемники). Обратная промывка при борьбе с шугой проводится через каждые 2 – 4 ч в течение 10 – 20 мин. Это эффективно при небольших количествах и коротких сроках образования шуги;

- отбрасывание шуги сжатым воздухом (пневмозащита) из дырчатых труб по сторонам входных окон;

- применение струенаправляющих устройств, успокаивающих поток на подходе к водоприемным отверстиям, вследствие чего шуга всплывает и смерзается;

- отбрасывание шуги гребными винтами катеров предложение для ликвидации аварийной ситуации при отсутствии или неисправности штатного шугозащитного оборудования;

- применение плавучих ограждающих устройств (шугоотбойников) в виде запаней. Суть состоит в устройстве вокруг водозабора полупогруженного щита, задерживающего легкую шугу, движущуюся в слоях воды.

При среднем и большом количестве шуги в реке для небольшой и средней производительности водозабора можно использовать все перечисленные выше мероприятия для малой производительности водозабора с дублированием водоприемных устройств (оголовков). Дополнительные оголовки должны располагаться на таком расстоянии и в таком месте русла реки, что исключало бы возможность одновременного перерыва забора воды.

При среднем количестве шуги в реке для средней и большой производительности водозабора следует использовать обогрев стержней решеток или подогрев массы воды перед решетками паром или теплой водой. Обогрев должен осуществляться заблаговременно, до начала переохлаждения воды. Не смотря на то, что воду или стержни решеток необходимо нагреть всего на  $0,1^{\circ}\text{C}$  выше нуля, эти мероприятия чрезвычайно энергоемки. На время шугохода опускаются решетки-реостаты с электропроводящими прутьями, которые подогреваются электротоком до  $0,01 - 0,02^{\circ}\text{C}$ ,

и обмерзание не происходит. Например, для пропуска  $1 \text{ м}^3$  воды через решетки мощность, которую необходимо затратить для электрообогрева ее стержней, составляет 3 – 8 кВт·ч, что для водозабора средней производительности 20 тыс.  $\text{м}^3/\text{сут}$  составляет 60 – 160 тыс. кВт·ч. В улучшенном варианте используются решетки с индукционным обогревом – ток пропускается непосредственно по стержням или, если последние представляют собой трубки, обогрев их производят, закладывая внутрь электрическую грелку или пропуская по трубам нагретый теплоноситель (воду, трансформаторное масло).

Обогрев решеток горячей водой или паром осуществляется за счет их циркуляции по полым стержням. Для подогрева масс воды горячая вода или пар выпускаются перед входными окнами с решетками. При этом пар можно получать от передвижных парогенераторов. В системах водоснабжения ТЭЦ и ГРЭС может быть устроен сброс горячей воды у водозабора или предусмотрено наличие в районе водозабора котельной с большой резервной мощностью. Так как оголовки русловых водозаборов малодоступны в зимнее время, то для них электрообогрев решеток не применяется. В этом случае русловые водозаборы должны иметь надежные промывные устройства, позволяющие в любое время освободить оголовки, решетки, сифонные или самотечные линии от шуги.

При большом количестве шуги в реке для средней и большой производительности водозабора наиболее эффективным является устройство водоприемного ковша – специального водоподводящего канала, который гарантирует надежную защиту водозабора от шуги. Акватория ковшей на 2-3 дня раньше речного потока покрывается ледяным покровом. Поступающая в ковш переохлажденная вода с шугой теряет переохлаждение и смерзается с покровом. Более раннее образование ледового покрова в ковше препятствует переохлаждению воды в самом ковше. Это самое кардинальное решение, но и самое дорогостоящее.

Обогрев не может предохранить решетку от механической забивки комьями шуги и поверхностным льдом. Для исключения образования на стержнях решетки поверхностного льда ее полностью погружают в воду или утепляют выступающую из воды часть решетки так, чтобы ее температура была не ниже  $0^\circ\text{C}$ .

#### **4.2.2. Водоприемные ковши**

Водоприемные ковши устраивают для борьбы с шуголедовыми поемами на водотоках, чаще всего для промышленных водозаборов производительностью обычно не более  $20 - 25 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Иногда при соответствующем заглублинии дна и последующих очистках водоприемные ковши могут быть использованы для увеличения глубины у места приема воды.

Ограждающая речная дамба ковша отклоняет от водоприемных отверстий водозаборов плывущую по поверхности шугу. Малые скорости движения воды внутри ковша обеспечивают установление в ковше ледяного покрова раньше, чем в реке. Шуга образуется при переохлаждении воды. Наличие ледяного покрова стабилизирует температурный режим потока, и переохлаждение воды в ковше не происходит. Из-за малой скорости воды шуга всплывает и примерзает к поверхностному льду. В водозабор поступает вода, освобожденная от шуги.

Кроме основного назначения – борьба с шуголедовыми помехами – ковш выполняет следующие функции:

- малые скорости способствуют выпадению взвешенных веществ, обеспечивая предварительную очистку воды от взвешенных наносов при мутности 2000 – 4000 мг/л;

- создаются достаточные глубины (на 1 – 1,5 м ниже дна) для устройства береговых водоприемников при пологих берегах;

- повышается отбор воды при минимальных расходах реки (до 50% минимального суточного расхода реки).

Водоприемный ковш представляет собой искусственный залив, который образует дамба, вынесенная в русло реки, или открытая в берегу выемка. Проще и дешевле устраивать ковш в русле реки путем сооружения дамбы. Если ковш предназначен для борьбы с шугой и льдом, то верх дамбы должен быть выше уровня воды в период шугохода и ледохода. В другие периоды дамба может затопливаться. Если ковш используется для предварительного осветления воды, то дамба должна быть незатапливаемой.

Ковш не должен значительно изменять режим речного потока. Стеснение потока не должно вызывать затор льда и ухудшать существующее водопользование.

#### 4.2.2.1. Типы ковшей

Использование того или иного типа ковша должно быть обосновано путем анализа гидрологических и других характеристик реки. Обычно проектированию ковша предшествует гидрологическое моделирование в лабораторных условиях.

На шугоносных реках наиболее надежная защита водозабора от шуголедовых помех достигается в результате применения ковша с низовым входом, частично или полностью выдвинутым в русло реки (рис. 3.37, а).

Водоприемный ковш с низовым входом, полностью или частично выдвинутый в русло реки, образованный незатапливаемой речной дамбой и имеющий свободный подход воды снизу, обычно применяют в условиях:

- на шугозажорных реках с постепенно нарастающими значительными подъемами уровней перед или в период ледостава;
- на реках с тяжелым весенним ледоходом при относительно небольших подъемах уровней воды в русле;
- при отсутствии сбросов промышленных стоков ниже места водозабора на участке берега не менее 10-кратной величины выноса внешней грани ковша в русло.

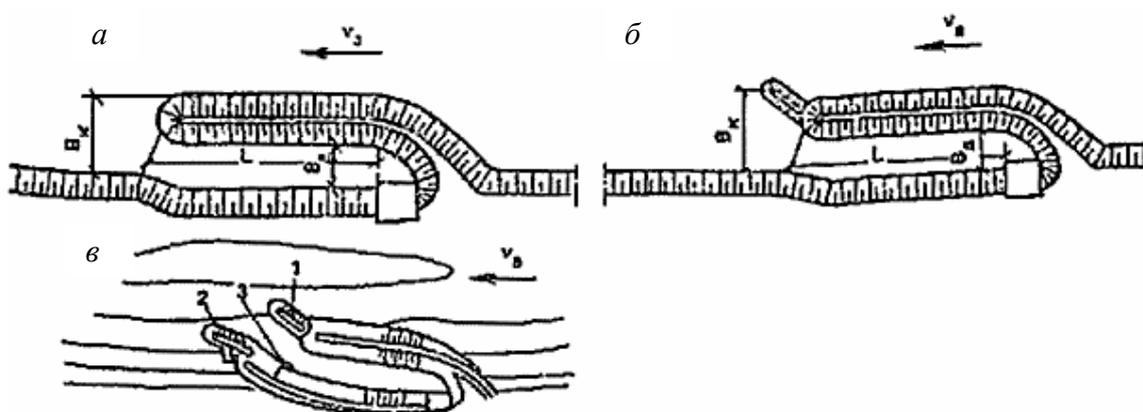


Рис. 3.37. Типы незатапливаемых водоприемных ковшей (а – в):

1 – наносозащитная шпора верховая; 2 – то же, низовая; 3 – бортовая струенаправляющая стенка

Водоприемный ковш с низовым входом, образованный незаливаемой речной дамбой, может применяться и на реках, не характеризующихся шугозажорным режимом или особо тяжелыми условиями весеннего ледохода, если количество наносов, транспортируемых рекой в половодье, не превышает  $0,75 \text{ кг/м}^3$ . В этих случаях для борьбы с заносимостью водоприемного ковша взвешенными наносами у оголовка речной дамбы может устраиваться заливаемая в половодье верховая шпора; гребень ее не должен затопляться в периоды хода шуги, а угол между осью гребня и направлением течения в реке должен составлять около  $135^\circ$  (рис. 3.37, б).

В тех же условиях, но при необходимости сброса промышленных стоков ниже ковша на расстояние меньше 8 – 10-кратной величины выноса внешней грани речной дамбы в русло, целесообразно применять ковш, снабженный низовой незаливаемой в половодье дамбой.

В этом случае для борьбы с избыточной заносимостью ковша взвешенными наносами можно устроить верховую и низовую шпоры, а также бортовую струенаправляющую стенку у низового борта входа в ковш (рис. 3.37, в).

Для уменьшения стеснения русла реки в периоды паводков и половодий при недостаточных глубинах у берега в межень и возможности формирования береговых шугозажоров водоприемный ковш с низовым входом, полностью или частично выдвинутый в русло реки, может быть образован заливаемой в половодье речной дамбой, гребень которой не должен затопляться при уровнях воды в реке в периоды шугохода (рис. 3.38, а) до 25%-ной обеспеченности.

На реках с ограниченной интенсивностью шуголедовых явлений, русла которых изогнуты или сложены слабыми и мелкозернистыми грунтами, предпочтительней ковши, заглубленные в берег, имеющие угол отвода около  $135^\circ$  (рис. 3.38, б).

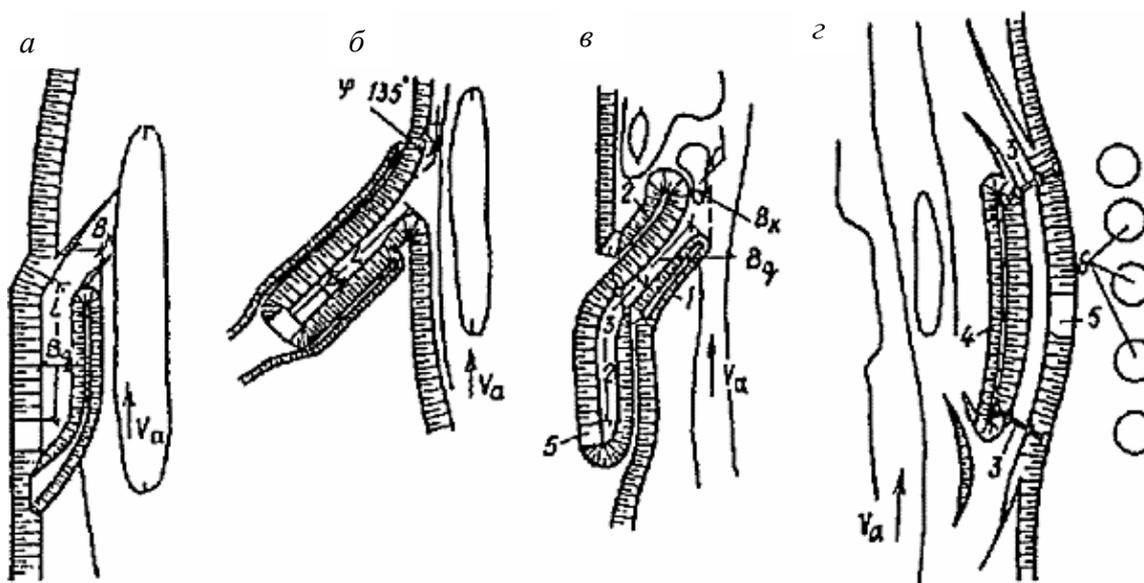


Рис. 3.38. Типы водоприемных ковшей (а – д):

1 – верховая затопляемая в половодья дамба; 2 – низовая незатопляемая дамба; 3 – регуляторы; 4 – речная незатопляемая дамба; 5 – насосная станция; 6 – радиальные отстойники

При необходимости поддержания у входа в ковш или на подходе к нему глубин, превышающих бытовые, особенно в случаях неглубокого залегания кровли коренных пород, рекомендуются водоприемные ковши с самопромывающимся входом (рис. 3.38, в), которые могут быть использованы и как своеобразные выпрямительные сооружения.

В отдельных случаях на сильно шугоносных реках, в паводки транспортирующих чрезвычайно большие количества мелких взвешенных наносов, водоприемный ковш с низовым входом, выдвинутый в русло реки, может устраиваться только на период шугохода. В этом случае перед водозабором параллельно берегу и на расстоянии от него, равном требуемой ширине ковша, необходимо устроить дамбу (или бычок), а в пролете между дамбой и берегом – регуляторы со щитовыми заграждениями, устанавливаемыми только на период шугохода и создающими при этом ковш, выдвинутый в русло реки (рис. 3.38, з).

#### 4.2.2. Гидравлика и расчет ковшей

На рисунке 3.39 показан план наиболее распространенного типа ковша для борьбы с шугой. Основная масса

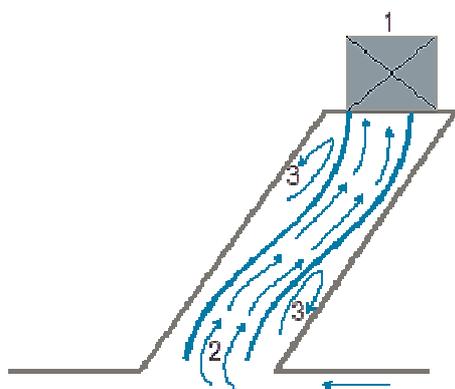


Рис. 3.39. Гидравлика ковша:  
1 – водоприемник; 2 – транзитная струя; 3 – водоворотные зоны

воды в ковше движется в виде транзитной струи от входа до водозабора. В устье ковша транзитная струя из-за инерции воды наталкивается на берег ковша, и этот участок, показанный на схеме жирной линией, требует крепления. В акватории ковша будет также наблюдаться две водоворотных зоны – в начале и конце канала.

В гидравлике ковшей различают режим деления и водообмена. Первый будет наблюдаться при отборе водоприемникам значительной части расхода реки (в межень), второй – при отборе малой доли расхода реки (в паводок). В режиме деления по всей транзитной струе вода движется в одном направлении – к водозабору. В режиме водообмена в верхней части струи вода будет двигаться к водозабору в количестве, превышающем его производительность. «Лишняя» вода, не принятая водозабором, будет двигаться от него в реку (в обратном направлении) в придонной части транзитной струи. Это течение будет выносить часть отложений из ковша в реку.

Рассмотрим расчет ковша указанного типа из условия, что он осуществляет шугозащитную функцию.

Расчет ковшей заключается в определении основных размеров: *глубины ковша, поперечного сечения, длины.*

Все эти размеры должны обеспечить следующие условия:

- забор воды при минимальном уровне в реке;
- внутриводный лед и шуга должны успеть всплыть до попадания в оголовки;
- взвешенные вещества (наносы) должны осесть (если ковш предназначен для предварительной очистки воды);
- должна быть возможность захода в ковш земснаряда для очистки дна.

Глубина ковша рассчитывается из условия размещения оголовка или окон берегового колодца. При этом следует учитывать:

- толщину слоя наносов над дном принимают 0,5 – 1,0 м, а низ окна должен быть на 0,5 м выше верха наносов;
- расстояние от верха окон до низа льда – не менее 0,25 м;
- толщину льда в ковше на 30% больше, чем в реке.

Размеры поперечного сечения ковша определяются исходя из его формы и скоростей движения воды. Сечение ковша обычно трапецеидальное, при земляных откосах уклоны принимаются для внутренних стен – 2:1, а для наружных – 3:1. Расчет ведется по средней скорости движения воды, которая обеспечивает всплытие шуги в нем. Эта скорость  $V_k$  должна быть меньше скорости, соответствующей нижнему пределу шугоносности потока, и может быть определена по формуле

$$V_k = 0,3 \cdot e^{-0,6k}, \quad (3.31)$$

где  $k$  – опытный коэффициент, принимаемый в пределах от 1,2 до 3,0.

Скорость должна определяться с учетом толщины расчетного слоя наносов.

В обычных условиях отметку дна ковша  $\nabla_{д.к.}$  назначают из расчета обеспечения требуемых глубин в нем в периоды стояния расчетных низких горизонтов воды в реке. Чаще всего это требование относится к минимальным уровням зимней межени  $\nabla_{м.з.у.}$ , когда в водоприемном ковше устанавливается расчетная толщина ледяного покрова. Для этого случая отметку дна ковша можно определить по формуле

$$\nabla_{д.к.} = \nabla_{м.з.у.} - 1,33 \cdot \rho_l \cdot \delta_l - 0,3 - D - h_n, \quad (3.32)$$

где 1,33 – коэффициент увеличения толщины льда в ковше по сравнению с толщинами льда, формирующегося в русле;

$\rho_l$  – плотность льда;

$\delta_l$  – расчетная толщина ледяного покрова в русле реки;

0,3 – заглубление верхней кромки водоприемного отверстия высотой (диаметром)  $D$  под нижнюю поверхность льда;

$h_n$  – высота порога приемных отверстий, назначаемая в зависимости от высоты слоя наносов в водоприемном ковше в пределах отложения 0,4 – 1 м.

Ширину ковша по дну определяют по минимальному уровню воды в период шугохода  $\nabla_{м.у.ш.}$  с учетом наличия в ковше льда ( $\delta_l = 0,3...0,5$  м) и наносов (слой  $h_n$ ), уменьшающих высоту живого сечения  $h_{жс}$  до значения:

$$h_{жс} = \nabla_{м.у.ш.} - \nabla_{д.к} - \delta_l - h_n. \quad (3.33)$$

При заданном геологическими условиями заложении откосов  $m$  ширину водоприемного ковша по дну находят по формуле

$$B_d = \frac{Q_v}{h_{жс} \cdot V_k} - m(2 \cdot h_n + h_{жс}), \quad (3.34)$$

где  $Q_v$  – производительность водозабора, м<sup>3</sup>/с;

$V_k$  – скорость транзитной струи, принимаемая равной 0,05 – 0,15 м/с;

$m = \text{tg } \alpha$  ( $\alpha$  – угол заложения откосов ковша);

$h_n$  – высота наносов, м;

$h_{жс}$  – высота живого сечения канала, м.

Значение  $B_d$  при этом принимают не меньше ширины (5...8 м), необходимой для прохода снаряда, используемого при очистке ковша от наносов.

Длина ковша изменяется от 60 до 100 м и поэтому полную длину водоприемного ковша, заглубленного в берег, измеряемую по его оси от начального сечения входа до водоприемника, вычисляют по формуле

$$L = l_{ex} + l_{ш} + l_p, \quad (3.35)$$

где  $l_{ex}$  – длина входной части ковша, охватываемой водоворотом на входе и засоряющейся шугой еще в начале шугохода (водоворотная зона), м:

$$l_{ex} = (1,0 \div 1,5) \cdot B_k;$$

$l_{ш}$  – длина участка ковша, на котором в течение шугохода откладываются захваченные в ковш шуга и ледяная взвесь – изменяется от 5 до 35 м в зависимости от формы и размещения ковша;

$l_p$  – длина рабочей части, в пределах которой к концу шугохода обеспечивается полное всплытие в транзитной струе всех скоплений кристаллов льда, имеющих гидравлическую крупность 0,015 – 0,2 м/с.

$B_k$  – ширина ковша, м.

Ширину гребня дамб ковшей принимают от 4 до 5 м, ширину берм – 1,5 – 2,0 м, если последние не предназначены для прохода автомашин или экскаваторов.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 14

На практических занятиях предлагается выполнить расчет водоприемного ковша.

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Производительность, тыс. м <sup>3</sup>	125	120	100	150	100	125	130	140	110
Отметка уровня воды, м	180	160	120	150	140	130	170	110	115
Толщина льда $h_l$ , м	0,4	0,6	0,3	0,5	0,7	1	0,9	1,1	0,8
Высота наносов $h_n$ , м	0,3	0,4	0,2	0,5	0,3	0,6	0,5	0,7	0,4

Рекомендации к выполнению задания:

1. Определить необходимую ширину ковша по формуле

$$B_k = \frac{Q}{H_k \cdot v},$$

где  $Q$  – производительность водозабора, м<sup>3</sup>/с;

$v$  – средняя скорость движения воды в ковше; принять 0,115 м/с;

$H_k$  – необходимая глубина ковша, определяется для двух сезонов:

– для лета ее определяют по формуле (п. 3.3.2.2);

– для зимы предусмотрено утолщение льда за счет прилипания шуги:

$$H_k = H_{ок} + (0,9 \cdot 1,33)h_l + 0,2 + h_{нор}.$$

Наибольшее из найденных значений глубины ковша является расчетным.

2. Определить глубину живого сечения ковша с учетом его стеснения льдом  $0,9h_l$  и  $h_n$  (высота наносов).

$$h_{жс} = H_k - 0,9h_l - h_n.$$

3. Определить ширину ковша по дну по формуле (3.34), приняв  $m = 0,75$ .

4. Определить общую длину ковша. Длину рабочей части принять 35 м.

### 4.3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО БОРЬБЕ С НАНОСАМИ

Для высокомутных водотоков существует закономерность суточного и часового изменения содержания взвешенных частиц. Наблюдаются случаи возрастания мутности за 10 – 15 ч от 800 – 1200 до 10 000 – 30 000 мг/л и выше. В этих случаях для возможности обеспечения работоспособности водозаборов и облегчения процесса очистки устраивают ковши и каналы на подходах к водоприемникам, которые работают в роли отстойников и непрерывно восстанавливаются. Широкое применение в южных районах находят водозаборы плавучего типа.

АзНИИ водных проблем предложен технологический процесс удаления взвешенных частиц в тонкослойных модулях. Применение тонкослойного осаждения позволяет значительно ускорить процесс извлечения из воды наиболее крупных тяжелых фракций, характеризующихся кинетической неустойчивостью. Это позволило создать малогабаритное водоочистное оборудование, размещенное непосредственно на плавучем водозаборе.

Конструктивно-технологическое решение плавучего водозабора-осветлителя (рис. 3.40) заключается в оснащении всасывающей линии плавучей насосной станции осветлителем, который представляет собой тонкослойный модуль, помещенный в жесткую обойму с открытой донной частью. С целью улучшения гидродинамических условий подвода потока к осветлителю открытая донная часть обоймы разделена вертикальными перегородками на ячейки. Это необходимо для устранения турбулентных возмущений речного потока на входе в тонкослойные элементы, в которых скорость ламинарного потока не превышает 0,01 м/с при скорости течения реки 0,4 – 2 м/с. В тонкослойных элементах происходит процесс осаждения взвешенных частиц, сползание их по наклонным стенкам ячеек, рассеивание и унос речным потоком. Водозабор-осветлитель обеспечивает удаление взвешенных частиц с гидравлической крупностью более 0,12 мм/с, что соответствует 35 – 50% общего их количества, находящегося в потоке.

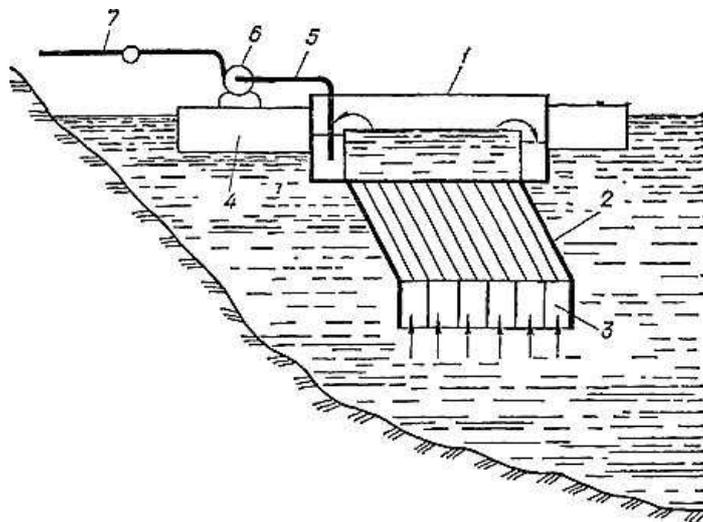


Рис. 3.40. Плавучий водозабор с тонкослойным осветлителем:

1 – плавучий осветлитель, 2 – тонкослойный модуль; 3 – ячеистая решетка; 4 – пантон; 5 – забор осветленной воды; 6 – насос; 7 – напорный трубопровод с шарнирным соединением

Расположение водоприемников (или водоприемных отверстий), их устройство с учетом динамики руслового потока и закономерностей транспортирования наносов позволяют не только предотвратить перебои в

работе водозабора, но и обеспечить получение воды с минимальным содержанием взвеси и планктона. С этой точки зрения следует оценивать прежде всего место расположения водоприемника на выбранном участке реки. Вогнутый берег дает преимущества не только в отношении глубины потока, но и качества забираемой воды. Однако встречаются еще случаи, когда на водозаборах, расположенных у вогнутого берега, при недоучете гидрологического фактора наблюдается обильное вовлечение наносов, затрудняющее очистку воды.

Уменьшению количества забираемой из источника взвеси способствуют:

- применение специальных водоприемников, выделяющих часть взвешенных веществ непосредственно при отборе воды;
- фильтрацию воды на водоприемниках;
- осаждение взвеси в пойменных отстойниках – водохранилищах.

Сифонные водоприемники с горизонтальными окнами (рис. 3.41), обеспечивающие восходящий прием воды, улучшают ее качество и по взвешенным и по плавающим веществам. Достигается это благодаря большему, чем на водозаборах с вертикальными окнами, заглублению водоприемных окон, что чрезвычайно важно при малой глубине воды в источнике, и выделению из воды взвешенных веществ на восходящем участке сифона. Скорость потока на данном участке должна быть меньше гидравлической крупности отделяемых наносов.

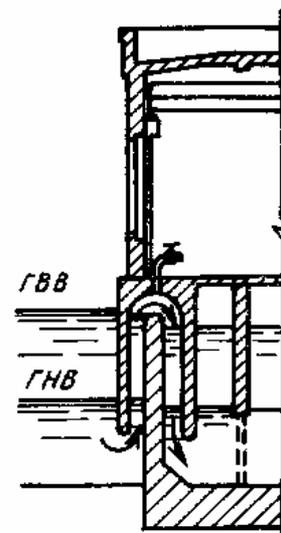


Рис. 3.41. Водозабор сифонного типа

Устройство сифонного водоприемника возможно как на береговых, так и на русловых водозаборах.

Приплотинные водозаборы (рис. 3.42) обеспечивают не только более высокую надежность отбора воды, но и снижают ее мутность за счет предварительного осветления в водохранилище. Водоочистное сооружение в данном случае представляет собой шлюз – отстойник из двух-трех секций с попутным отбором осветленной воды (каждая секция имеет свою водосборную камеру). Вода из водосборных камер отводится самотечными трубопроводами или отбирается насосами.

Другой разновидностью водоочистного устройства на водозаборах является шлюз с фильтрующей загрузкой (рис. 3.43). Этот водозабор имеет водоприемники, которые представляют собой открытые водоприемные камеры – шлюзы, заполненные гравием. По дну водоприемных камер уложены перфорированные трубы, заканчивающиеся в водоотводящей камере. Из водоприемных камер вода самотеком подается потребителям.

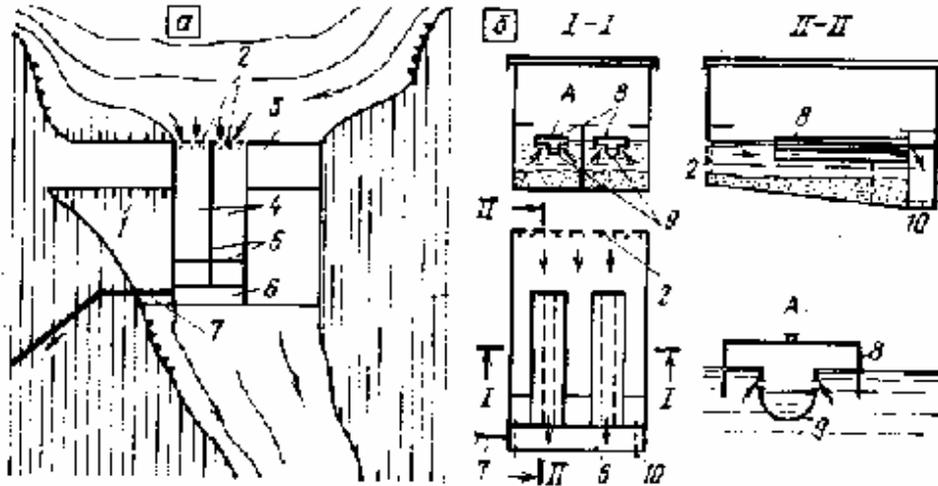


Рис. 3.42. Приплотинный водозабор со встроенными водоочистными сооружениями:  
*a* – ситуационный план; *б* – водоочистной блок;

1 – земляная плотина; 2 – водоприемные отверстия с сороудерживающими решетками и сетками; 3 – водосброс; 4 – горизонтальный двухсекционный отстойник; 5 – перегородки; 6 – водосборная камера; 7 – трубопровод подачи очищенной воды (потребителям или на дальнейшую очистку); 8 – коробка с полупогружными бортами; 9 – водосборные желоба; 10 – сбросные трубопроводы для осадка

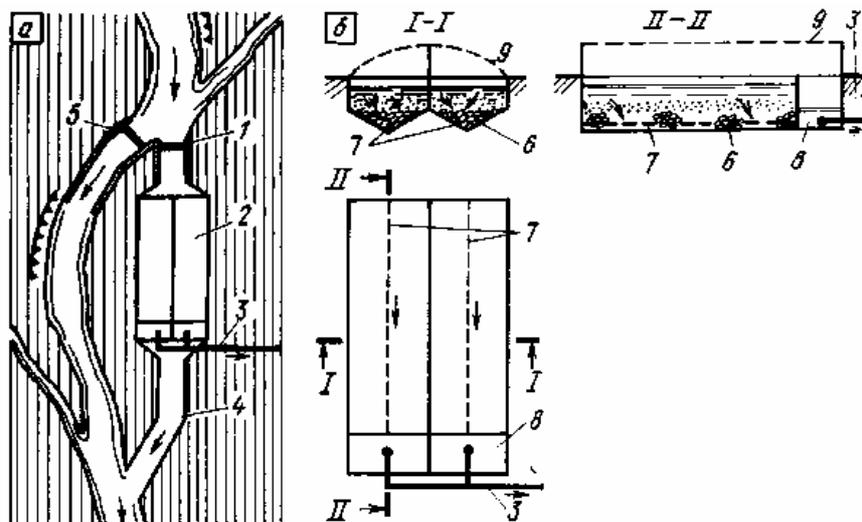


Рис. 3.43. Водозабор с фильтрующим водоочистным устройством на мелководном источнике:

*a* – ситуационный план; *б* – водоочистной блок;

1 – водоприемник с решеткой и сеткой; 2 – шлюз-фильтр; 3 – трубопровод подачи очищенной воды; 4 – сбросной канал; 5 – регулятор уровня воды; 6 – фильтрующая загрузка; 7 – дренажные трубы; 8 – водосборная камера; 9 – сетчатое перекрытие

### Самоконтроль по УЭ-4:

1. Вспомните, какие принципы рыбозащиты Вы знаете.
2. Какие существуют режимы отбора воды в водоприемный ковш?
3. Вспомните способы защиты водоприемных устройств от шуги.

## **УЭ-5. ЗАБОР ВОДЫ В СПЕЦИФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-5:**

1. Водохранилищные водозаборные сооружения:
  - особенности забора воды на водохранилищах;
  - выбор места забора из водохранилища;
  - выбор типа водохранилищных водоприемников;
  - борьба с биообрастаниями на водозаборах.
2. Водозаборы на озерах:
  - особенности забора воды на озерах;
  - типы водоприемных устройств.
3. Забор воды из горных рек.
4. Забор воды в условиях мерзлоты:
  - особенности забора воды в условиях мерзлоты;
  - выбор источника;
  - типы сооружений для забора воды в условиях мерзлоты.
5. Особенности забора воды из рек с малой глубиной.
6. Морские водозаборные сооружения:
  - особенности забора морской воды;
  - схемы морских водозаборных сооружений.
7. Специальные водозаборы:
8. Зоны санитарной охраны поверхностных источников водоснабжения.

### **5.1. ВОДОХРАНИЛИЩНЫЕ ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ**

Для целей водоснабжения могут использоваться или специально построенные водохранилища или водохранилища, используемые одновременно для многих целей. Таким образом, в практике водоснабжения, основанного на использовании поверхностных вод, приходится все чаще встречаться с необходимостью приема воды из водохранилищ.

#### **5.1.1. Особенности забора воды из водохранилищ**

Условия забора воды из водохранилищ существенно отличаются от условий забора воды из рек. Они обусловлены существованием волнений, течений, переформированием побережья, а также биологическими факторами.

Волнения и течения в период формирования ледяного покрова способствуют образованию большого количества шуги, внутриводного льда и торосов. Они приводят к переработке берегов. Также наблюдается нагон

или сгон воды в месте водозабора. Их недоучет при проектировании водозаборных сооружений может привести к удорожанию строительства и ухудшению условий эксплуатации.

Создание водохранилищ существенно влияет на основные характеристики качества речной воды. Прежде всего, значительно снижается количество взвешенных веществ. Большие водохранилища обычно оказываются менее засоренными сапрофитными бактериями, а также кишечной палочкой. Сезонные колебания качества речной воды после создания водохранилища значительно сглаживаются.

Однако следует учитывать возможность ее загрязнения от водного транспорта, лесосплава, а также в результате сброса сточных вод, распространение которых в водохранилищах существенно отличается от распространения их в реках.

При использовании водохранилища или озера для целей водоснабжения следует учитывать ряд специфических факторов.

1. Цветение воды – массовое развитие в летнее время под действием солнечной радиации животных и растительных микроорганизмов.

Цветение воды затрудняет работу водозаборных сооружений. Борьба с цветением ведется путем купоросования водохранилищ. Купоросование производят от одного до четырех раз в течение периода цветения в дозе 0,1 – 0,7 мг/л с лодок или путем распыления с самолета.

2. Зарастание водной растительностью происходят в неглубоких местах. Отмершие водные растения откладываются на дне водохранилища, уменьшают его глубину и заиливают водохранилище.

3. Минерализация воды – увеличение концентрации солей в воде. Основной причиной минерализации является испарение воды с поверхности и сброс в водохранилище сточных вод.

### **5.1.2. Выбор места забора воды из водохранилища**

Весьма ответственной задачей является выбор места забора воды из водохранилища. Очевидно, что водоприемник должен быть расположен в таком месте, где он может принимать наиболее чистую воду.

В месте расположения водоприемника должна быть обеспечена достаточная глубина, не должны происходить интенсивное выпадение наносов, размыв берегов, неблагоприятные ледовые явления, развитие водной растительности и т.п. В водохранилищах, используемых комплексно для различных нужд народного хозяйства, при выборе места забора воды для целей водоснабжения необходимо учитывать еще целый ряд факторов, связанных с характером эксплуатации водоема другими водопользовате-

лями: режим сработки водохранилища для нужд ГЭС, забор и сброс воды промышленными предприятиями, расположение и режим работы сооружений речного транспорта, лесосплав и т.п.

Выбору места расположения водоприемника должно предшествовать также тщательное изучение образующихся в водохранилище течений, которые обуславливают распространение поступающих в воду загрязнений.

### 5.1.3. Выбор типа водохранилищных водоприемников

Указанные выше особенности приема воды из водохранилищ и качество этой воды в определенной мере влияют на выбор типа водохранилищных водоприемников.

Интенсивная переработка берегов, обуславливающая образование широкой береговой зоны отложения наносов и зоны замутненной воды, часто приводит к необходимости вынесения места забора воды в водохранилище на значительное расстояние от берега (т. е. применение сооружений руслового типа).

Весьма значительные колебания уровней воды в водохранилище при его сработке для ГЭС делают рациональным применение комбинированных водоприемников, где вода может забираться и через самотечные трубы и через входные окна в передней стенке берегового колодца.

На рисунке 3.44 приведен пример берегового водохранилищного водозабора с водоприемниками на разных уровнях.

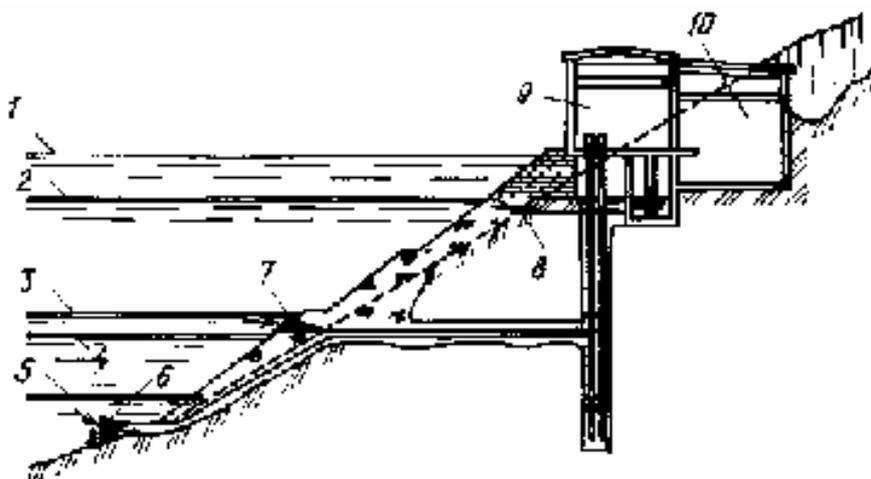


Рис. 3.44. Водохранилищный береговой водозабор при большой амплитуде колебания уровня воды:

1 – 5 – уровни воды соответственно максимальный, нормальный подпорный, ежегодной сработки, минимальный, катастрофический минимальный; 6 – сифонный водоприемник; 7, 8 – водоприемники соответственно второго и третьего ярусов; 9 – водоприемный колодец; 10 – насосная станция

В практике забора воды из водохранилищ нашли применение отдельно стоящие водозаборы башенного типа с многоярусным расположением водоприемных окон (рис. 3.45).

Кроме указанных типов водоприемных сооружений для забора воды из водохранилищ используют водоприемники островного типа, инфильтрационные, плавучие и др.

### 5.1.3.1. Схема комплексного регулирования малых рек

Массовое использование рек, особенно малых, для централизованного водоснабжения, отрицательное антропогенное воздействие на их водность и качество воды

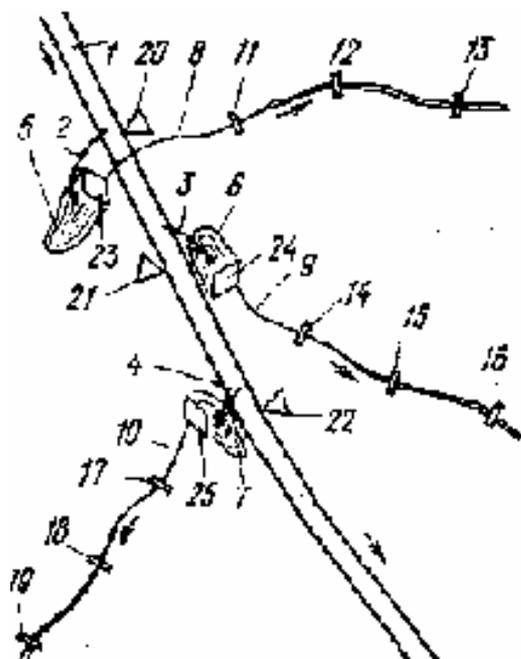


Рис. 3.46. Схема комплексного регулирования малых рек (по С.В. Большинскому, Ю.П. Беличенко и др.):

1 – магистральный канал; 2 – 4 – соединения; 5 – 7 – наливные водохранилища; 8 – 10 – реки; 11 – 19 – створы; 20 – 22 – диспетчерские пункты; 23 – 25 – водосбросные сооружения

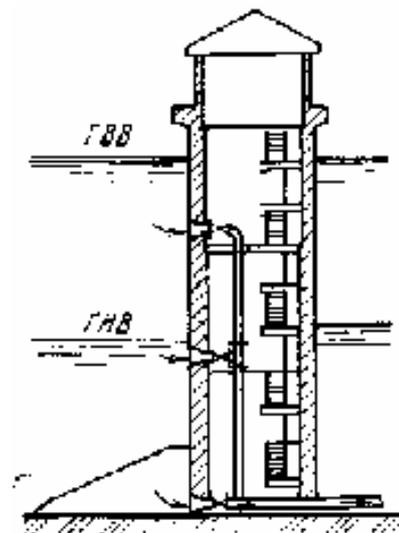


Рис. 3.45. Водохранилищный водозабор башенного типа

привели к необходимости комплексного решения задач водопользования, включая не только устройство водозаборов, но и регулирование стока, сохранение и улучшение качества воды в источниках.

Инженерами С.В. Большинским, Ю.П. Беличенко и другими разработан способ регулирования малых рек, основанный на устройстве наливных водохранилищ в их верховьях (рис. 3.46). Водохранилища рассчитываются не на задержание собственного поверхностного стока рек, а на аккумуляцию воды, подаваемой из магистрального канала. В системе такого регулирования появляются промежуточные (приплотинные, приканальные) водозаборы, предназначенные для подачи воды на пополнение стока рек.

При проектировании, строительстве и эксплуатации водохранилищных водозаборов режим пополнения и сработки водохранилищ должен устанавливаться с учетом интересов всех водопользователей и землепользователей, находящихся в зоне влияния водохранилища.

### 5.1.3.2. Водозаборы с пойменными водохранилищами

Важную роль в улучшении качества воды играют включаемые в комплекс водозаборных сооружений прибрежные пойменные водохранилища-отстойники с многосуточным пребыванием воды в них. Положительная роль таких водохранилищ известна давно в нашей стране. Водохранилища эти не только позволяют регулировать забор воды из реки, но и снижают содержание взвеси, окисляемость и бактериальную загрязненность.

Предварительное осветление в пойменных водохранилищах нашло широкое применение в зарубежной практике водоснабжения, в частности в Финляндии, и заслуживает более широкого распространения в нашей стране. В пойменных водохранилищах вода может подвергаться не только отстаиванию, но и аэрированию, хлорированию и т.д. с достаточно высоким эффектом осветления. Интересное решение водозабора с пойменным водохранилищем реализовано в Финляндии на водопроводе Хельсинки (рис. 3.47). Вода

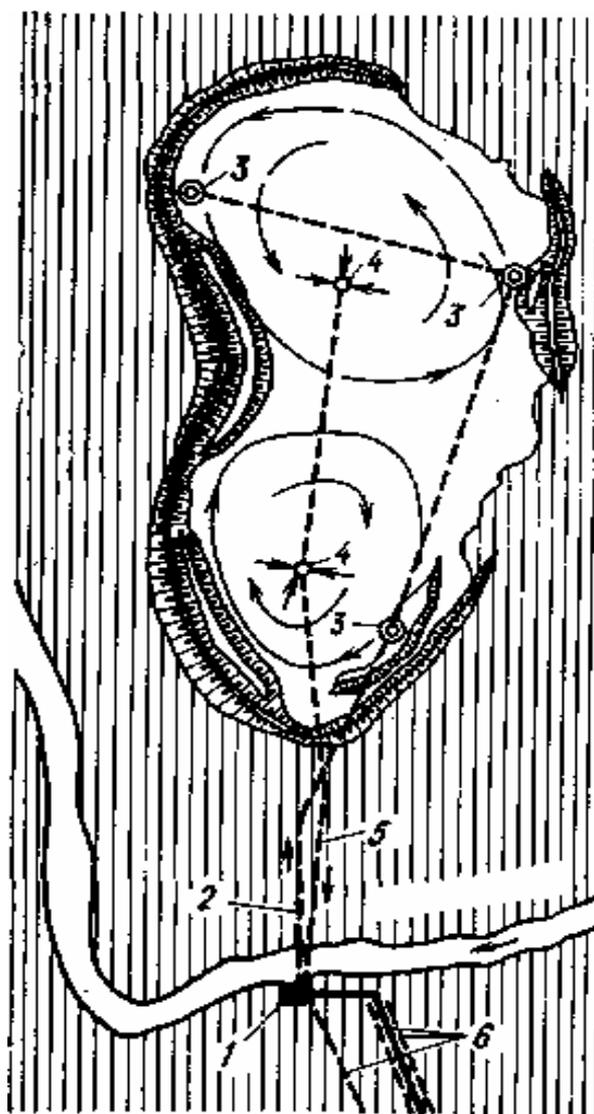


Рис. 3.47. Водозабор р. Вантаа с буферным водохранилищем:

1 – береговой водоприемник, совмещенный с насосной станцией; 2 – самотечный туннель для подачи воды в водохранилище; 3 – оголовки выпусков; 4 – водоприемники в водохранилище; 5 – туннель для отвода воды из водохранилища, 6 – напорные трубопроводы

с водозабора берегового типа на р. Вантаа по туннелю протяженностью около 0,5 км подается в водохранилище Силвола вместимостью 5 млн. м<sup>3</sup>, длина которого около 1 км, ширина 0,5 км и глубина до 16 м. В водохранилище построены три выпуска и два водоприемника башенного типа. Конструкция выпусков и размещение их относительно водоприемников позволяют создавать циркуляцию воды в водохранилище по двум замкнутым контурам, причем скорости течения таковы, что обеспечивают осаждение значительной части взвешенных веществ. Вода из водохранилища подается самотеком на водоочистную станцию, сюда же возможна подача воды непосредственно с водозабора на р. Вантаа, минуя водохранилище. Режим подачи воды и технология ее очистки устанавливаются в зависимости от качества воды в источнике и корректируются по сезонам года.

Пойменные водохранилища могут быть образованы заполнением выемок от добычи гравийно-галечниковых и песчаных строительных материалов, когда создаются вдольбереговые карьеры с фильтрующими бортами, или естественных котловин, образующихся в результате руслоформирующих процессов самой реки. В первом случае, удачно сочетая потребности стройиндустрии и водоснабжения и разрабатывая карьеры с учетом последующего строительства водозаборов, в дальнейшем можно сократить удельные капитальные затраты. Во втором случае, используя староречья или перекрывая действующие протоки с последующей их расчисткой, также можно создать благоприятные условия для водозабора без больших капиталовложений. В любом случае выемки должны быть обвалованы из условия незатопляемости их в периоды паводков и, кроме того, должны быть созданы соответствующие ЗСО.

#### **5.1.4. Борьба с биообрастаниями на водозаборах**

Большие помехи в работе водозаборных сооружений могут создавать биологические обрастания – мхи, моллюски (особенно дрейссены), микроорганизмы, мидии и т.п.

Для подавления развития биологических обрастаний применяют следующие мероприятия:

- промывка водоприемников водой с температурой 45 – 55°С;
- обработка воды хлором или медным купоросом;
- анодное растворение медных электродов.

Дозы, периодичность и продолжительность обработки устанавливаются на основе технологических исследований и опыта эксплуатации.

## **5.2. ВОДОЗАБОРЫ НА ОЗЕРАХ**

### **5.2.1. Особенности забора воды на озерах**

Условия приема воды из озер во многом подобны имеющимся на водохранилищах. Так, в крупных озерах необходимо учитывать наличие волнения, взмучивания наносов в прибрежной зоне, воздействия волн на водоприемные сооружения, сгонов и нагонов воды. Как и в водохранилищах, в озерах необходимо учитывать специфические условия загрязнения их воды сточными водами.

Берега естественных озер в отличие от берегов водохранилищ обладают стабильностью, а уровень воды в них не подвержен сколько-нибудь значительным колебаниям.

Пресные озера широко используются как источники питьевого водоснабжения. Вне береговой зоны и на достаточно больших глубинах качество озерной воды с санитарной точки зрения часто оказывается весьма высоким.

### **5.2.2. Типы водоприемных устройств**

На озерах находят применение водоприемные оголовки различных типов; иногда их выносят далеко в озеро для обеспечения приема воды возможно более высокого качества.

На крупных озерах находят применение также незатопляемые водоприемные оголовки (островного типа), иногда вынесенные в озеро на весьма большое расстояние от берега и соединенные с берегом водоводами, уложенными по дну озера. Конструкция таких оголовков должна быть рассчитана на сопротивление воздействию волн и льда.

В большинстве случаев для забора воды применяют береговой тип совмещенных или отдельных водозаборов. В этом случае необходимо предусмотреть прием воды с нескольких уровней, чтобы иметь возможность забирать воду наиболее чистой. Для этого концы приемных труб делают подъемными или с поплавками.

## **5.3. ЗАБОР ВОДЫ ИЗ ГОРНЫХ РЕК**

Горные и высокогорные реки широко используют для целей водоснабжения в районах Закавказья и Средней Азии. Горные реки обладают рядом качеств, отличающих их от рек других регионов страны. Они характеризуются большими уклонами верхних участков, что обуславливает

большие скорости течения и малые глубины. При прохождении ливней в этих реках происходит быстрое нарастание паводка. Они транспортируют большое количество наносов как донных, так и взвешенных. В зимний период появляются шуга и донный лед. На горных реках довольно часто возникают селевые потоки. В предгорных участках нередко наблюдается изменение русла рек. Все перечисленные выше факторы чрезвычайно осложняют забор воды. Поэтому зачастую, когда представляется возможность, забор воды в предгорных районах осуществляют из подземных источников.

Для водоснабжения небольших поселков и промышленных предприятий, базирующихся на малых реках с непостоянно открытым потоком воды, при наличии подруслового потока может применяться комбинированный водозабор. Он представляет собой комбинацию водозаборного сооружения из открытого потока и водозабора подруслового типа.

На небольших горных реках с постоянным током воды (при расходах в межень до  $0,5 - 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$  и максимальным до  $200 - 300 \text{ м}^3/\text{с}$ ) применяют различные водозаборные гидроузлы. К ним относятся водоприемники с забором воды через донную решетку, плотинные гидроузлы с карманом, гидроузлы с криволинейным каналом (карманом) и др.

Водозабор с донной решеткой простейшего типа представляет собой водосливной порог, перегораживающий русло и возвышающийся над дном реки. В порог врезана водоприемная галерея, перекрытая сверху решетками. Вода, пройдя решетку, поступает в наклонную водоприемную галерею, откуда попадает в камеру с промывным устройством. Из камеры она отводится к отстойнику, а затем потребителю.

Надежное водоснабжение из рек с постоянным током воды можно обеспечить путем устройства плотинных водозаборов, отличающихся разнообразием решений. В качестве примера на рисунке 3.48 показана схема плотинного водозабора с донной решеткой и карманом, построенного на Кавказе. Водосливная бетонная плотина, перегораживающая реку, разделена на две части – водоприемную и сливную. В водоприемной части расположены решетки, выполненные из рельсов малого сечения. Вода, пройдя решетки и сливной лоток, поступает в приемную камеру, которая имеет вид кармана с отверстиями, выходящими в верхний и нижний бьефы. Они необходимы для забора воды в зимний период и смыва наносов. Эти отверстия перекрываются щитами. Затем вода поступает в отстойник и далее к потребителю.

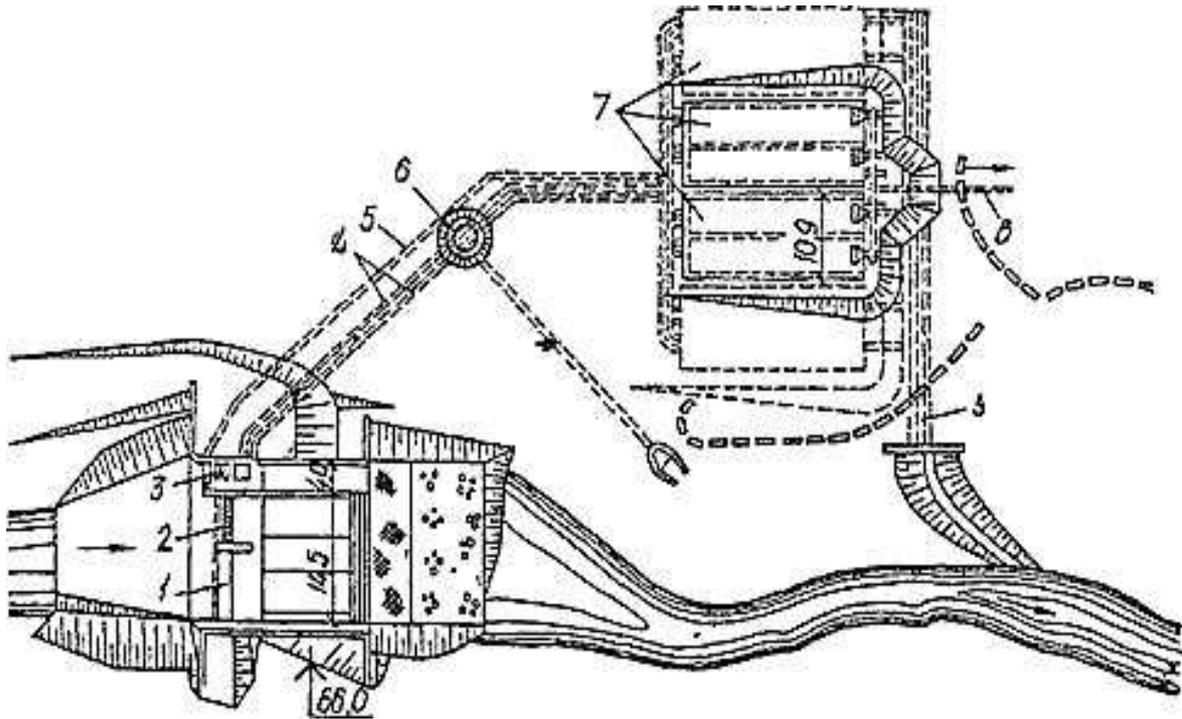


Рис. 3.48. Схема плотинного водозабора:

1 – водосливно-водосливная часть плотины; 2 – водоприемная часть плотины с решеткой; 3 – водоприемная камера; 4 – подающие водоводы; 5 – промывной аварийный водовод; 6 – камера-регулятор; 7 – первичный отстойник; 8 – самотечный водовод; 9 – сброс промывной воды от отстойников

На предгорных участках рек с максимальным расходом более 300 – 500 м<sup>3</sup>/с может быть применена схема водозаборных сооружений, разработанная в объединении СоюзводоканалНИИпроект (рис. 3.49). Гидроузел обеспечивает пропуск внезапных паводковых вод, гарантирует водозабор в межень, исключает попадание в канал крупных фракций наносов. Защита водозабора от наносов также осуществляется благодаря поперечной циркуляции потока. Однако в данной схеме поперечная циркуляция возбуждается не вследствие изгиба подводящего русла, а путем бокового сброса воды через водосливно-водосливную плотину. Узел водозаборных сооружений состоит из двух струенаправляющих дамб, водосливной плотины, промывного и водозаборного шлюзов и струенаправляющей дамбы в нижнем бьефе. Струенаправляющие дамбы в верхнем бьефе сжимают реку до устойчивой ширины и сопрягают сооружения гидроузла с берегом поймы реки. Водосливно-водосливная плотина, имеющая криволинейное очертание в плане и прямой продольный уклон гребня, соответствующий уклону реки, предназначена для сброса максимальных расходов воды и возбуждения поперечной циркуляции потока.

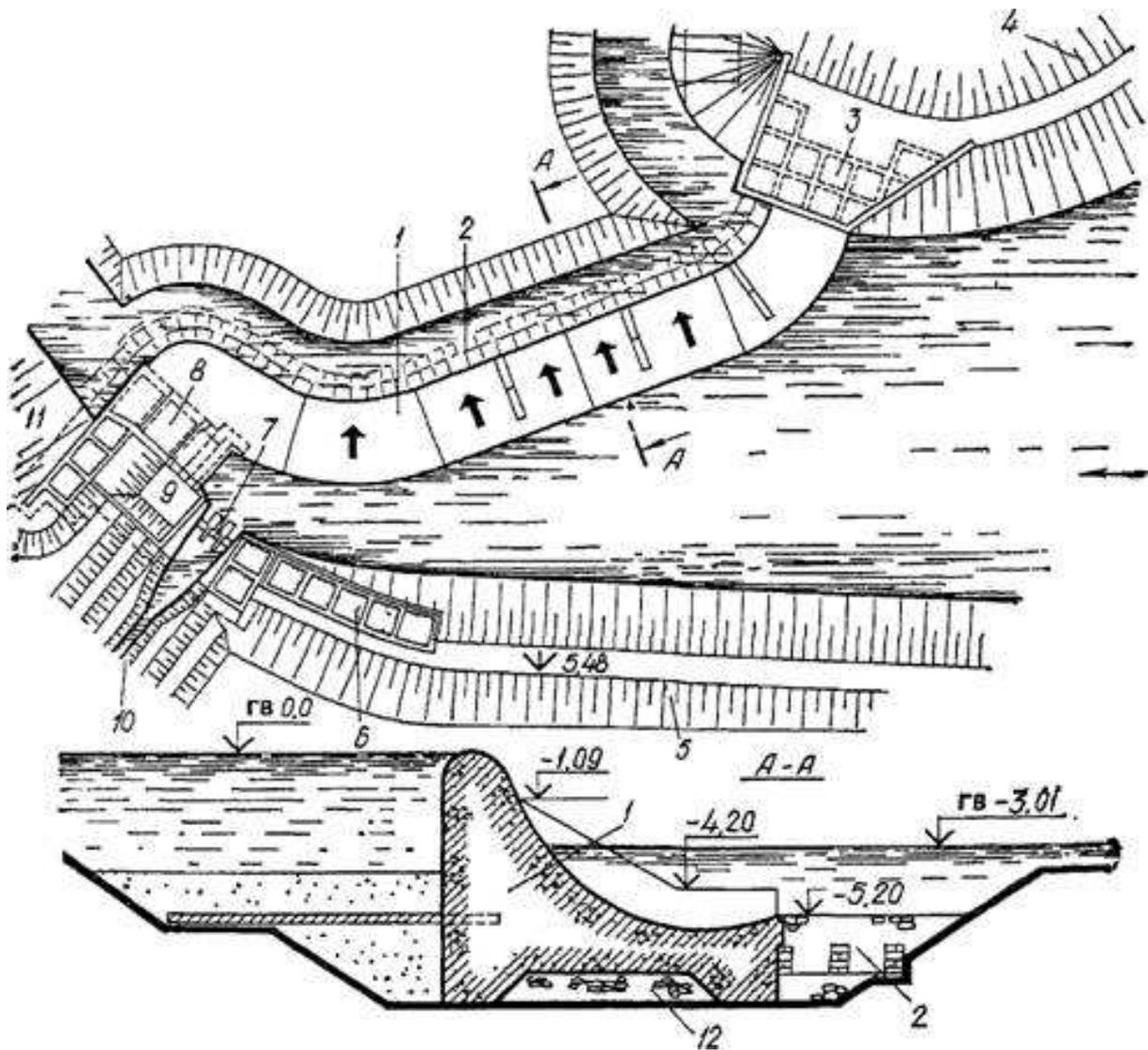


Рис. 3.49. Водозаборное сооружение на предгорных участках рек:

1 – водосливная плотина; 2 – железобетонный сборный зуб, загруженный камнем; 3 – правобережный коробчатый устой; 4, 5 – сопрягающая дамба, соответственно право- и левобережная; 6 – левобережный коробчатый устой; 7 – водозаборный шлюз; 8 – промывной шлюз; 9 – устой, сопрягающий водозаборный шлюз с промывным; 10 – водозаборный канал; 11 – струенаправляющая дамба у промывного шлюза; 12 – дренаж из камня

Струенаправляющая дамба в нижнем бьефе, примыкая к устью промывного шлюза, направляет поток в основное русло реки и защищает от размыва ее левый берег. Такие водозаборные узлы рассчитаны на забор воды до  $5 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Воду от водозабора на горных реках зачастую можно подавать самоотеком. В противном случае в состав водозаборных сооружений включают насосную станцию.

## **5.4. ЗАБОР ВОДЫ В УСЛОВИЯХ МЕРЗЛОТЫ**

### **5.2.3. Особенности забора воды в условиях мерзлоты**

Гидрологический режим поверхностных источников водоснабжения Севера определяется повсеместным распространением мерзлоты, малым годовым количеством осадков, низкими среднегодовыми температурами, длительным ледоставом, весенними разливами, летними паводками, тяжелым шуговым режимом, возникновением заторов льда, образованием наледей. Роль многих факторов, влияющих на формирование режима поверхностных источников, полностью не изучена. Качество воды в источниках также отличается большим разнообразием. Все это чрезвычайно осложняет проблему надежного обеспечения потребителей водой. Не все реки в одинаковой степени пригодны для водоснабжения. На крупных реках забор воды возможен в любое время года без осуществления каких-либо дополнительных мероприятий по регулированию стока. Из средних рек, не перемерзающих зимой, забор воды возможен без регулирования стока, но при выполнении некоторых дополнительных мероприятий. Реки, перемерзающие на отдельных участках или на всей протяженности, могут использоваться для водоснабжения, если сохраняются круглогодичные талики и осуществляются мероприятия по регулированию и восполнению запасов подрусловых вод. Использование малых рек, перемерзающих вместе с подстилающим аллювием, возможно лишь при регулировании стока. Большинство неперемерзающих рек имеет малые глубины под мощным ледяным покровом.

### **5.2.4. Выбор источника**

Источники водоснабжения в условиях вечномерзлых грунтов должны удовлетворять ряду специфических требований: обеспечивать захват воды с максимальной температурой; допускать забор требуемых расходов воды при любых гидрологических режимах; позволять водоприем без сложных и дорогостоящих мероприятий по руслорегулированию; быть близко расположенными к потребителю; иметь запас воды, достаточный для водоснабжения с учетом потерь на льдообразование, испарение и т. п. Выбор источника производится на основе оценки всех факторов, определяющих условия водоснабжения. При прочих равных условиях забор воды из природных поверхностных источников экономичнее создания водохранилищ на перемерзающих водотоках. Последнее, как правило, является вынужденным решением. Особенностью подачи воды является транспор-

тирование ее при больших скоростях, чем в обычных условиях эксплуатации, ее подогрев в месте водозабора.

Результаты исследований режима поверхностных вод Севера и их запасов в настоящее время до конца не обобщены, что затрудняет выбор источника водоснабжения.

Относительно малое водопотребление населенных пунктов позволяет использовать подрусловые (над- и межмерзлотные) воды. Для хозяйственно-питьевого водоснабжения в первую очередь используют подрусловые надмерзлотные воды, расположенные по долинам в виде разобщенных или сплошных бассейнов в пределах пойм перемерзающих рек.

### **5.2.5. Типы сооружений для забора воды в условиях мерзлоты**

Подмерзлотные воды в настоящее время используют мало из-за недостаточной их изученности, сложности защиты скважин от перемерзания, больших затрат на бурение. Подмерзлотные воды (пластовые, карстовые, трещинные) находятся на большой глубине (до 500 м и более).

В условиях разнообразия забора вод типизация водозаборов затруднена. Существует большое разнообразие типов водозаборных сооружений, компоновочных схем и конструктивных решений водозаборов, а также мероприятий для обеспечения надежности водоприема. Водоприемники в условиях мерзлотных явлений должны обеспечивать защиту водоприемных устройств от шуги, донного льда, сора, от механического воздействия ледоходов, исключать перемерзания самотечных и сифонных линий, проходящих в береговой мерзлоте.

На рисунке 3.50 приведены технологические схемы для забора воды из рек, сохраняющих некоторый подледный сток.

Воду из малых и перемерзающих рек можно забирать лишь при совместном заборе поверхностных и подрусловых вод. Для этих целей применяют фильтрующие и инфильтрационные водоприемники – галереи, дрены, фильтрующие траншеи (рис. 3.51). Виды их разнообразны, но общим является то, что они позволяют осуществлять прием воды летом – из открытых потоков, зимой – из подрусловых. Они находят наиболее широкое применение. Они обеспечивают защиту водозаборов от мусора, наносов и шуги.

Гидравлический режим этих водоприемников отличается резко меняющимися параметрами поверхностных и подрусловых потоков. Методы расчета и проектирования их требуют дальнейшего совершенствования. Для исключения перемерзания водоприемников и водопроводящих систем производят их утепление и обогрев различными способами.

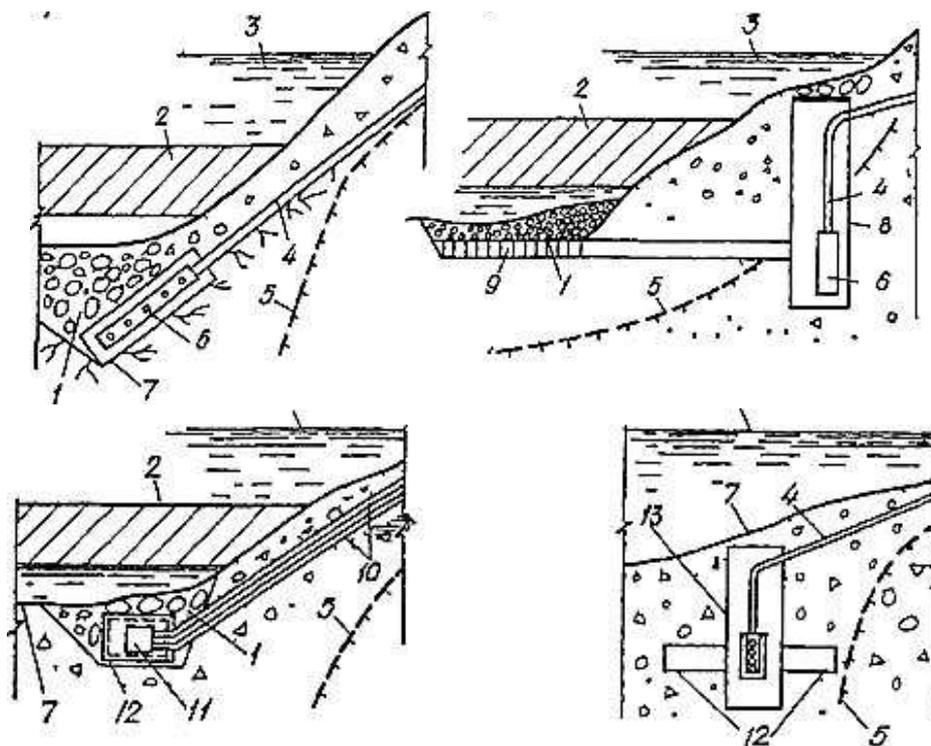


Рис. 3.50. Водозаборные сооружения, оборудованные погружными насосами на реках с большим колебанием уровня воды:

1 – фильтр; 2 – лед; 3 – максимальный уровень реки; 4 – напорный водовод; 5 – граница мерзлоты; 6 – погружной насос; 7 – поверхность дна; 8 – береговой колодец; 9 – рабочая часть галереи; 10 – трубопроводы к гидроэлеватору; 11 – гидроэлеватор; 12 – фильтрующие дрены (галереи); 13 – водосборная камера

Способы забора воды из озер и водохранилищ в районах мерзлоты относительно мало отличаются от применяемых в районах с умеренным климатом.

## 5.5. ОСОБЕННОСТИ ЗАБОРА ВОДЫ ИЗ РЕК С МАЛОЙ ГЛУБИНОЙ

На некоторых реках глубины, по всему поперечному сечению русла реки, являются слишком малыми для организации качественного приема воды. В таких случаях необходимо выполнение определенных мероприятий, которые позволяют увеличить глубину в месте водозабора до приемлемых значений.

Существуют два основных вида мероприятий:

- к первой группе относятся работы по созданию искусственного подпора возле водоприемного сооружения, т. е. локальное повышение уровня речной воды;

- ко второй группе следует отнести мероприятия по углублению речного дна и обеспечению стабильности таких углублений.

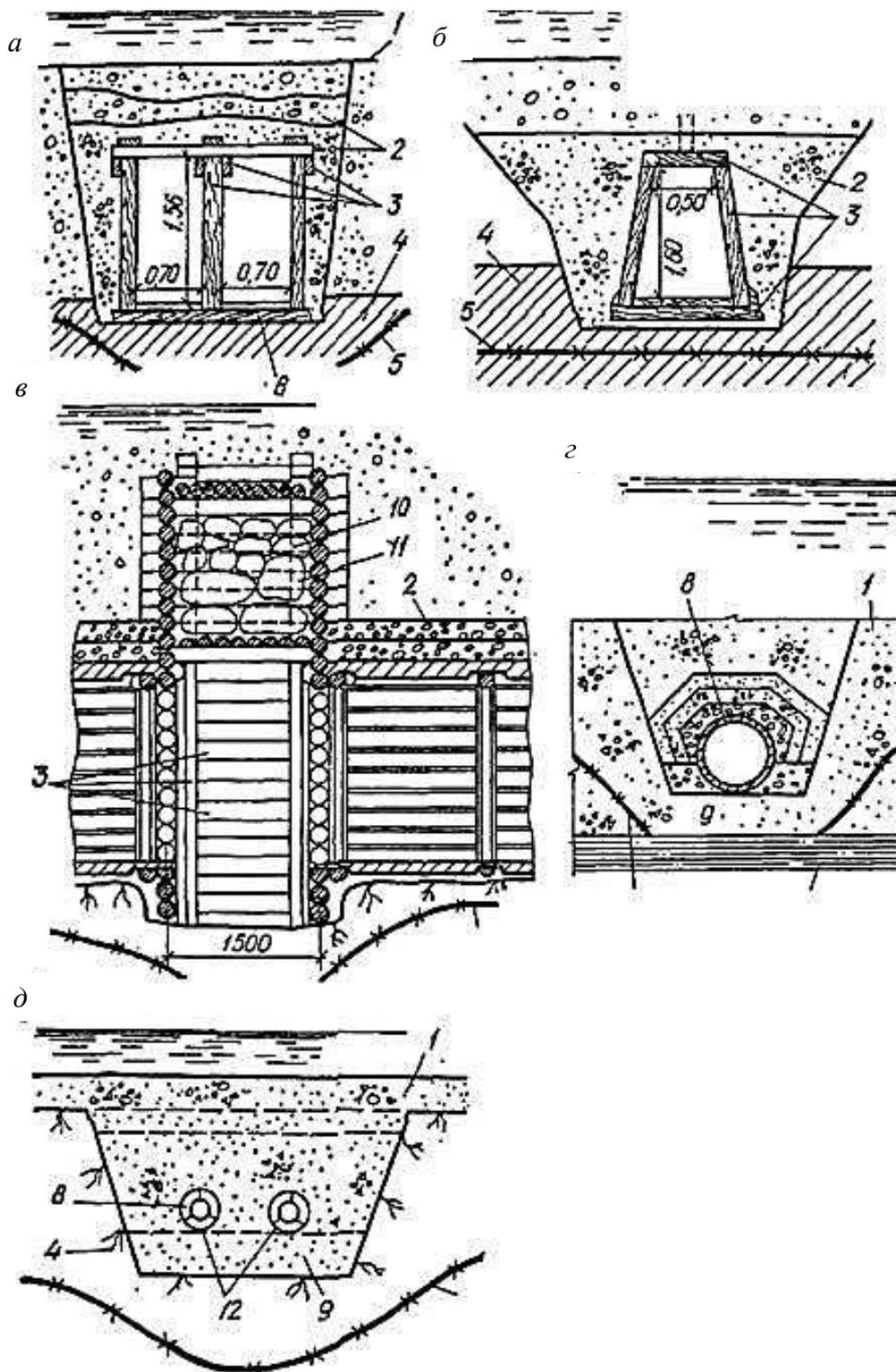


Рис. 3.51. Водозабор из малых и перемерзающих рек:

*а* и *б* – подрусовые галереи; *в* – фильтрующий колодец; *г* и *д* – фильтрующие дрены;

1 – дно реки; 2 – фильтр; 3 – галереи различных конструкций; 4 – коренные породы; 5 – граница мерзлоты; 6 – подкладка; 7 – шпунтовая стенка; 8 – дрены; 9 – подготовка; 10 – пригрузка камнем; 11 – утепление колодца; 12 – горячая вода

И, наконец, определенные мероприятия позволяют как повысить уровень воды, так и добиться углубления речного дна в районе водозабора.

Специальными мероприятиями по созданию необходимой глубины русла являются работы по устройству прорезей (подводные каналы) и строительство целевых регуляционных сооружений, позволяющих так перестроить водный поток, что появляются требуемые глубины и стабильность дна.

При устройстве прорезей используют землечерпательные машины. Для обеспечения максимальной устойчивости прорезей выбирают ее направление, соответственно с направлением струи весеннего паводка (периода максимального содержания наносов в воде и размывающего действия речных вод); нужно также учитывать направление водных потоков при межених уровнях. Прорезь должна быть сквозная. Чаще всего прорезь устраивается возле вогнутого берега.

В комплекс работ по эксплуатации водозаборных сооружений необходимо включать работы по очистке прорезей от наносов.

Еще одним способом создания необходимых глубин для водоприемника является сооружение водоподъемных плотин. Такие плотины приходится сооружать в случаях малой глубины на реках, предназначенных для водозабора, и дороговизны или нецелесообразности применения по местным условиям других мероприятий. Применяемые для обеспечения проектной глубины в месте водозабора водоподъемные плотины могут быть разборчатыми или глухими, т. е. с переливом речной воды через гребень (без затворов).

Плотины второго типа, позволяя обеспечить необходимый уровень речной воды, не могут регулировать ее уровень во время сезонных изменений расхода реки. К тому же на глухих плотинах затруднены мероприятия по борьбе с заилением верхнего бьефа. Создание глухих плотин целесообразно при обязательном устройстве промывного шлюза на водоприемнике.

Водоподъемные плотины дают возможность увеличить объем возможного водозабора, а в некоторых случаях, и осуществлять сезонное регулирование стока реки. Существуют самые разнообразные типы и конструкции плотин, применяемых в описываемых целях. Конечно, необходимо учесть в конструкции и схеме плотинного узла факты использования данной реки для судоходства, лесосплава и рыбоводства.

Допускается конструктивное объединение водоприемного сооружения с плотиной или отдельное их устройство. При отдельном их сооруже-

нии возможно использование любых типов описанных выше речных водоприемников.

Если запланировано конструктивное объединение плотины и водоприемника, то обычно водоприемник строят совместно с одним из устоев плотины, или проектируют их непосредственное примыкание.

## **5.6. МОРСКИЕ ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ**

### **5.6.1. Особенности забора морской воды**

При заборе воды из морей (по сравнению с водозабором из водохранилищ) возникают дополнительные сложности из-за колебаний уровня воды, связанных с приливами и отливами, значительной силы ударных волн, особенностей геологического строения морского побережья, наличием в морской воде водорослей, моллюсков и микрофлоры, коррозионных свойств воды. Энергия волн с периодическими снижениями уровня воды приводит к распространению вдольбереговых течений и миграции наносов на значительную ширину. Это вызывает необходимость далекого выноса затопленных водоприемников в море, что усложняет и удорожает строительство.

Степень агрессивности морской воды, определяемая содержанием различных солей, оказывает сильное влияние на выбор материала для строительства водозаборных сооружений и проведения изоляционных работ.

Для сооружений, принимающих морскую воду, характерно так называемое биообрастание поверхностей, соприкасающихся с водой, т. е. образование на них биологической пленки (состоящей из органических илистых частиц и бактерий). На этой пленке поселяются различные водоросли и морские животные, в частности моллюски. Биообрастанию подвергаются решетки и сетки водоприемника, затворные устройства, арматура, внутренние поверхности водоводов, охладительная аппаратура, теплообменные аппараты и т. п. Особенно интенсивно идет процесс биообрастания в теплых морях (в Черном море, например, интенсивность биообрастания достигает 5 – 6 кг/м<sup>2</sup> в месяц; в тропиках она еще больше). Кроме того, решетки и сетки морских водоприемников могут засоряться в результате интенсивного (сезонного) развития планктона, т. е. цветения воды, а также в результате нагона к водоприемнику крупной морской растительности. Указанные обстоятельства должны быть учтены как в конструкции сорозадерживающих приспособлений водоприемника, так и в методах их эксплуатации.

Конструкции морских водозаборов должны быть рассчитаны на сопротивление нагрузкам от действия льда и волн.

### 5.6.2. Схемы морских водозаборных сооружений

Прием воды из моря для целей водоснабжения возможен из искусственно защищенных акваторий портов, из естественно защищенных бухт или на открытых побережьях.

Наибольшие удобства для расположения морских водоприемников предоставляет акватория порта, хорошо защищенная от воздействия больших волн, с надежно укрепленной береговой линией, защищенная от обмеления и находящаяся в значительно более благоприятных ледовых условиях, чем открытые побережья.

Только тщательное изучение всех названных условий позволяет правильно выбрать тип водоприемного сооружения, обеспечивающий его бесперебойную работу.

Для забора воды используют водоприемники бункерного типа (рис. 3.52) – круглые в плане с приемными отверстиями, расположенными по всему периметру. Они достаточно хорошо работают при отсутствии постоянных сильных течений. При наличии течений поступление воды в эти водоприемники происходит с верхней стороны со значительными скоростями, а с нижней стороны из-за разряжения могут наблюдаться обратные токи. Для исключения трудностей, связанных с заносом водоприемника песком, планктоном и т. п., его выносят в зону с глубиной более трех высот волны, где они не взаимодействуют с дном водоема, а также в места, где не выходят донные течения.

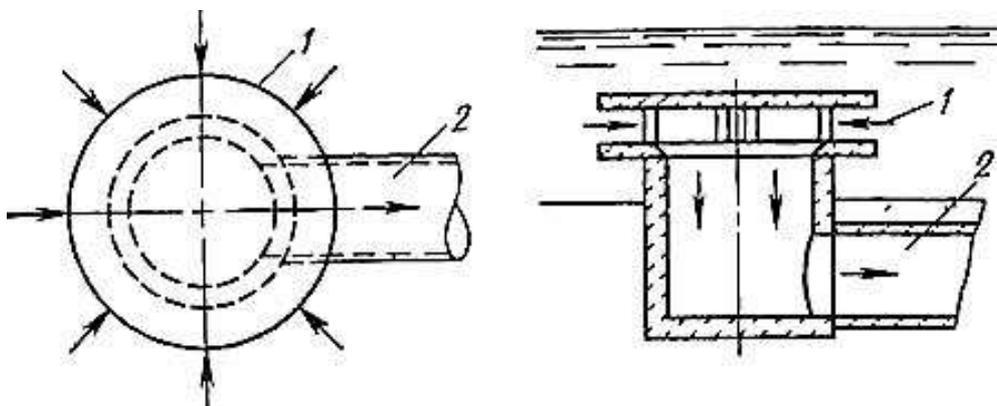


Рис. 3.52. Морской затопленный водоприемник с круговым приемом воды:  
1 – водоприемные отверстия, 2 – самотечный водовод

На рисунке 3.53 показано устройство водоприемного сооружения, расположенного на территории порта. Передняя стенка берегового колодца 1 находится в одной плоскости со стенкой набережной для причала судов. Перекрытие его расположено на одном уровне с поверхностью набережной, чтобы не мешать погрузочно-разгрузочным операциям. Вода поступает в береговой колодец через входные окна 2 в его передней стенке, перекрытые грубой решеткой с прозорами в 0,1 м.

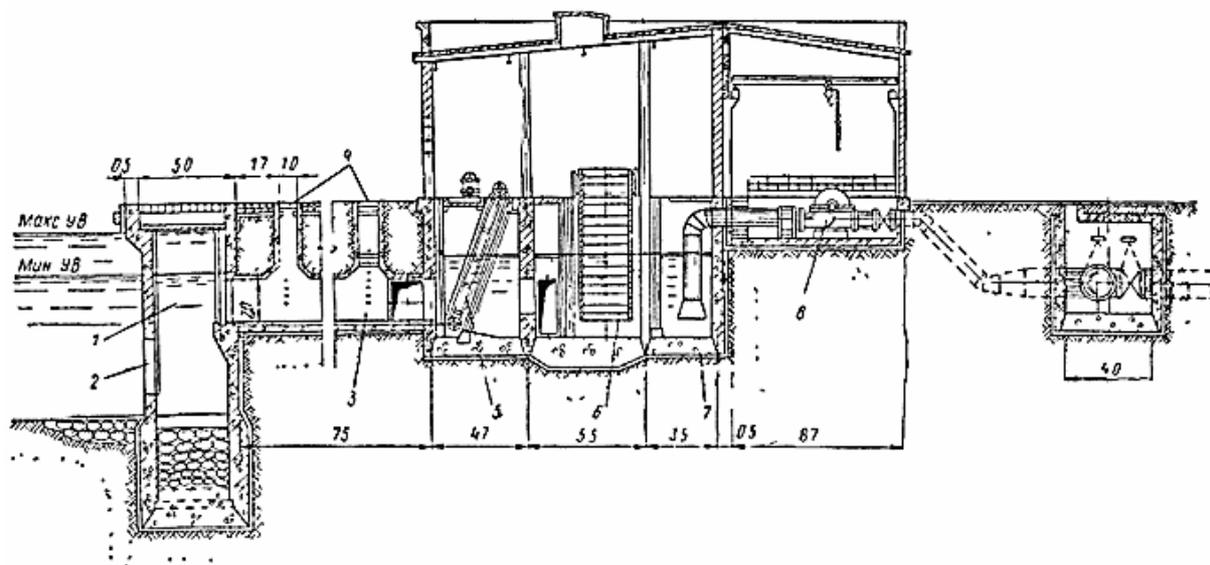


Рис. 3.53. Водоприемное сооружение, расположенное на территории порта

По условиям работы порта здание грубой механической очистки и насосная станция удалены от моря на 80 м. Из берегового колодца вода направляется по самотечной двухсекционной железобетонной галерее 3, имеющей смотровые колодцы 4, в здание механической очистки. Здесь вода проходит последовательно через наклонные решетки 5 (оборудованные механическими щетками для их очистки) и вращающиеся сетки 6. Из всасывающего отделения 7 вода забирается трубами насосов 8 и по напорным водоводам подается к теплосиловой электрической станции.

Как видно, здесь предусмотрены усиленные устройства для механической очистки воды. Кроме того, наличие двух секций в проходной галерее позволяет периодически очищать ее от осадка и обрастания.

На рисунке 3.54 показан береговой морской водоприемник, оборудованный защитной дамбой.

Защитная дамба 1 расположена своеобразным ковшом-отстойником 2 вокруг передней части водоприемника. Тело дамбы принимает на себя динамические удары морских волн. На входных окнах водоприемника рас-

положены грубые решетки 3 и плоские двойные съемные сетки 4. После этого вода поступает сквозь вращающиеся сетки 5. Назначение плоских сеток – работа в аварийном режиме при остановке вращающихся сеток. Затем вода поступает во входные отверстия, перекрываемые дроссельными затворами 6 и, далее, через всасывающее отделение попадает во всасывающие трубы насосов 7. Дамба построена из массивных бетонных блоков 8, расположенных на насыпи, состоящей из каменной наброски 9.

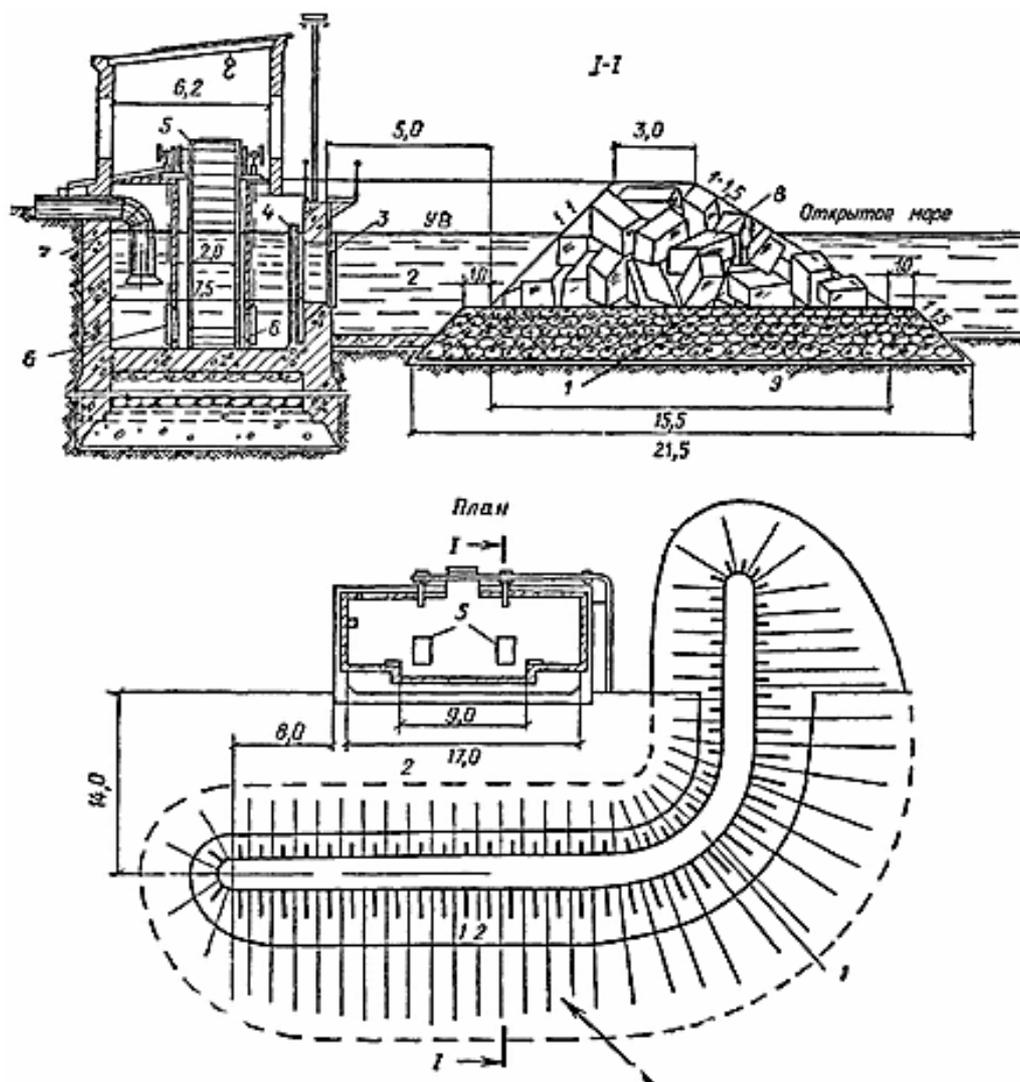


Рис. 3.54. Береговой морской водоприемник, оборудованный защитной дамбой

На рисунке 3.55 схематически изображено устройство незатопляемого (островного) водоприемного оголовка, предназначенного для работы в крупном производственном водопроводе.

Согласно требованиям к качеству воды и передвижению насосов вдоль береговой линии оголовки вынесены в глубину моря примерно на 1 км

от берега. Подводная часть оголовка состоит из двух, расположенных концентрически, стальных цилиндров с заполненным между ними промежуток, шириной 1 м, бетоном. Входные окна 1, через которые внутрь поступает вода, расположены в цилиндрической стенке и в коническом перекрытии подводной части. В устройстве оголовке использована схема, при которой он разделен на три секции, с отводом из них воды по отдельным самотечным трубам 2 диаметром 2 м, снабженными приемными раструбами 3, на которых установлены затворы. В центральной части водоприемника расположена железобетонная цилиндрическая шахта 4, предназначенная для попадания в подводную часть, у которой внутренний диаметр равен 3 метрам. В надводной части оголовка вокруг центральной части расположена решетчатая конструкция, предназначенная для поддержки перекрытия с оборудованием.

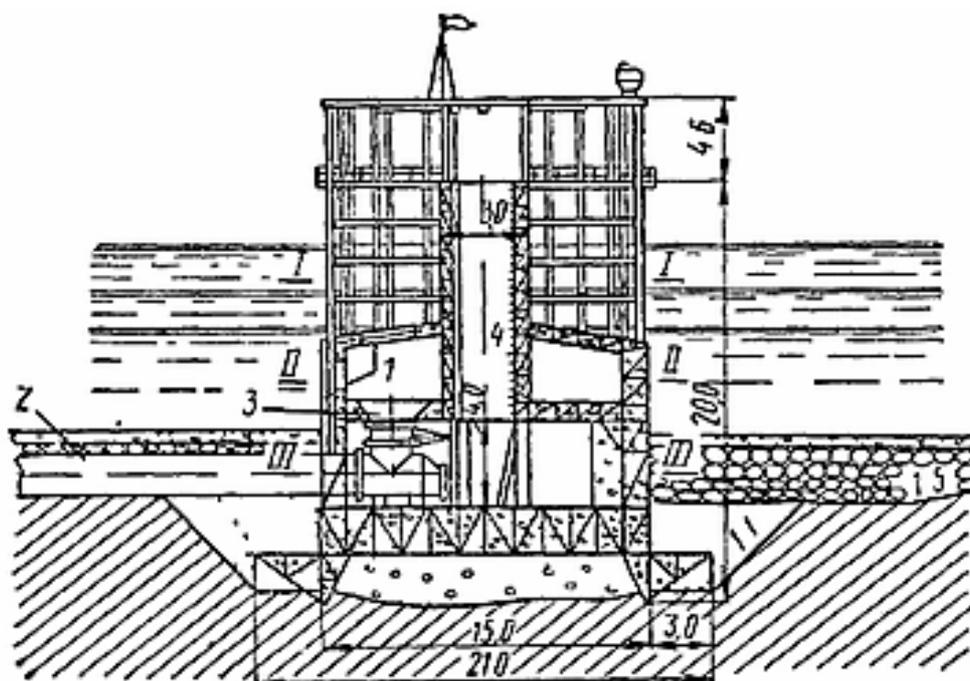


Рис. 3.55. Островной водоприемный оголовок

По самотечным трубам вода подводится к водоприемной камере, расположенной на берегу и оборудованной вращающимися сетками. Далее, из камеры вода проходит по каналу к насосам. Насосная станция и водоприемная камера находятся на расстоянии 150 м от границы воды на берегу.

Для очистки самотечных труб от обрастания биологическими организмами и заиливания производится отключение отдельных линий механическим способом.

На рисунке 3.56 изображена схема водоприемного сооружения, для которого осуществляется подвод воды к водоприемнику 1 по открытому каналу 2 с защищенным дамбой-волноломом 3 входом.

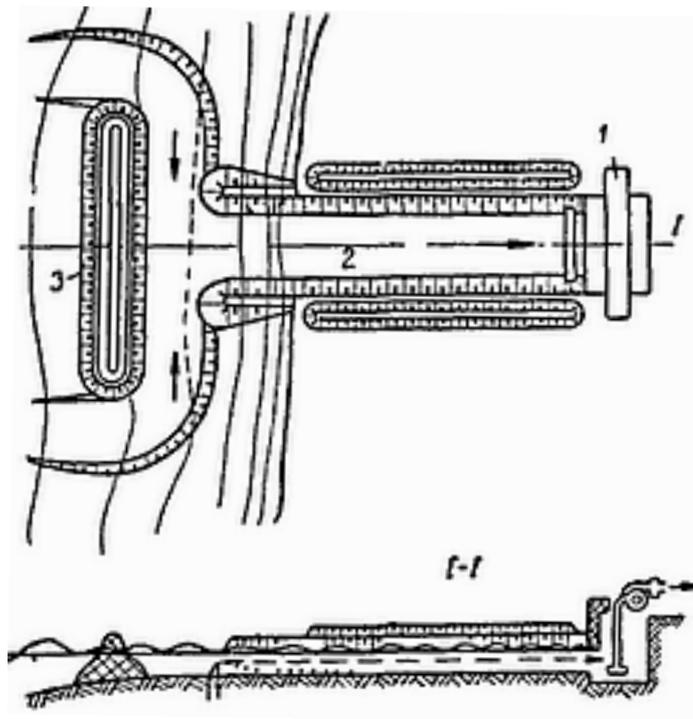


Рис. 3.56. Водоприемное сооружение с подводом воды по открытому каналу

Наличие такого сооружения как дамба, позволяет устранить значительные волнения возле водоприемника и существенно снизить активное занесение в него наносов.

Для борьбы с биообрастанием оборудования, арматуры и трубопроводов при подаче морской воды на практике применяются водное хлорирование дозировкой 1,5 – 5 мг/л, обработку растворами медного купороса (дозы 6,5 – 7 мг/л в течение 1 ч за 2 сут) или периодическая промывка системы водозабора сбросной производственной горячей водой.

## 5.7. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОДОЗАБОРЫ

Для временных водопроводов устраивают плавучие или передвижные водозаборы. При плавучих водозаборах (рис. 3.57) насосные агрегаты размещаются на плавучих средствах: баржах, понтонах и т. п. Достоинствами таких сооружений являются независимость приема воды от колебания уровня воды в реке и возможность быстрого их устройства. Сущест-

венные недостатки – необходимость применения гибких соединений трубопроводов, тяжелые условия эксплуатации зимой и в период паводков.



Рис. 3.57. Плавучий водозабор

Установка плавучих насосных сооружений допускается только в бухтах, заливах или затоках (как естественных, так и искусственно созданных), которые надежно защищают их от ударов льдин, бревен и т. п., потому что смещение насосной станции под их воздействием может вызвать разрыв напорных линий.

Основное применение плавучие насосные установки находят на водоемах с большим колебанием уровня воды, с условием обеспечения их защиты от сноса течением, при относительно малых объемах подаваемой воды.

Передвижной водозабор представляет собой насосную станцию легкого типа. Их обычно относят к III категории надежности водообеспечения. Они приспособлены для быстрого перемещения с одной рабочей позиции на другую и могут быть использованы при сложных природных условиях или в качестве временных объектов, когда строительство стационарных насосных станций экономически не оправдано. Как правило, передвижные насосные станции или установки дешевле стационарных в производстве, но значительно дороже в эксплуатации. Они имеют и меньший срок службы. Схемы передвижных водозаборов изображены на рисунке 3.58.

Передвижные плавучие насосные станции, показанные на рисунке 3.58, а, б, применяют при неустойчивых берегах источников и колебаниях уровней воды в них более 5 м. Воду подают к берегу через подвижные напорные трубопроводы с шарнирными соединениями. Поддачи освоенных промышленностью плавучих насосных станций достигают  $20 \text{ м}^3/\text{с}$ . Однако большинство плавучих насосных станций имеют подачи до  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Передвижные наземные насосные станции и установки (рис. 3.58, в, г) используют для орошения небольших участков (до 500 га) или для водоотливов из котлованов во время строительства. Насосно-силовое оборудование смонтировано на колесной платформе или на салазках. Это позволяет легко транспортировать их к месту установки.

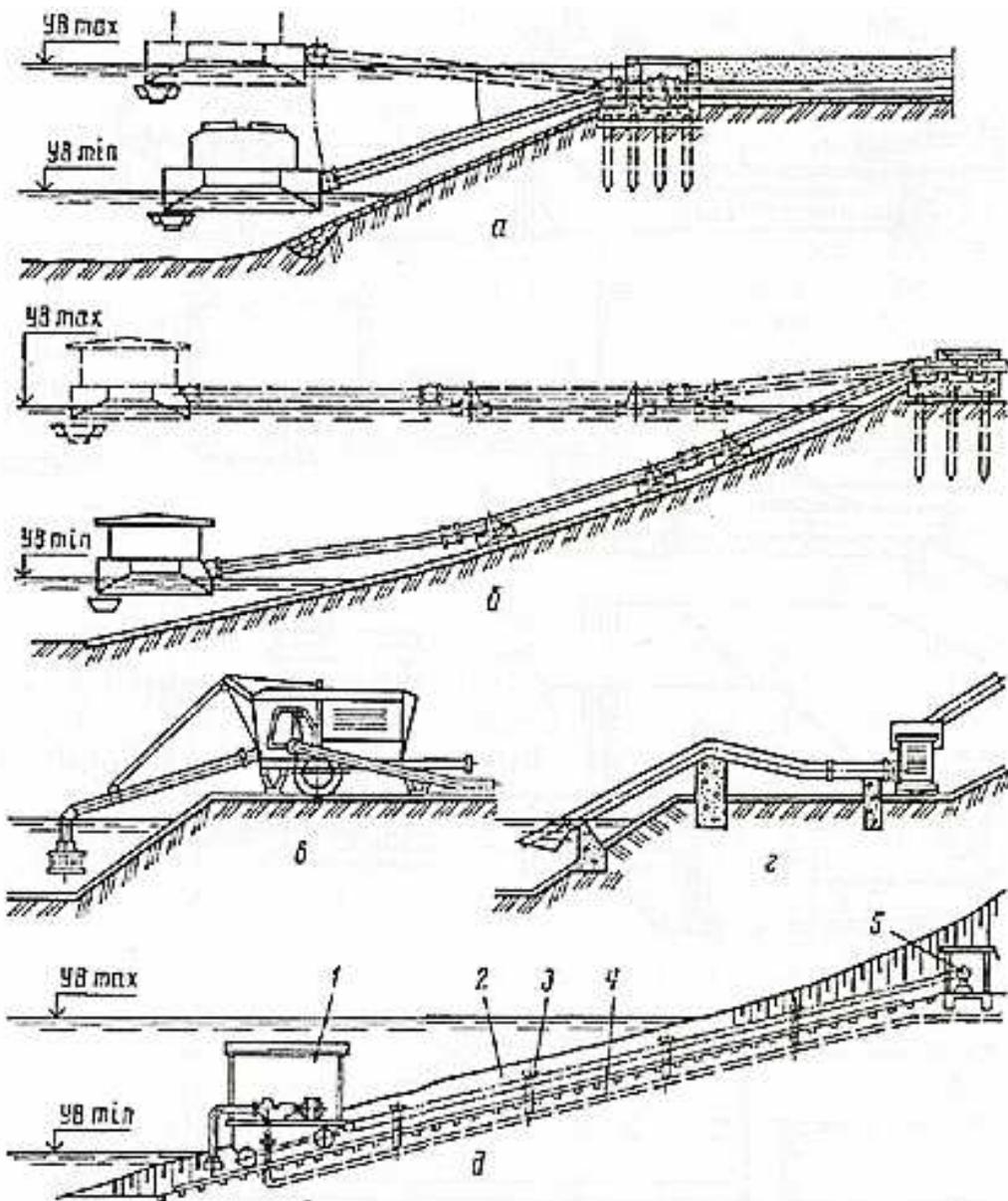


Рис. 3.58. Схемы узлов передвижных насосных станций и установок:

*а* – плавучие насосные станции с односекционным и многосекционным подвижным напорным трубопроводом; *б* – передвижная насосная станция на колесной платформе СНП-50/80; *в* – передвижная насосная станция на раме-салазках СНП-500/10; *д* – фуникулерная насосная установка; *е* – подвижная тележка с насосным агрегатом;

1 – насосная станция; 2 – рельсы; 3 – промежуточный стояк для присоединения к насосу; 4 – напорный трубопровод; 5 – лебедка

Передвижную фуникулерную насосную установку (рис. 3.58, *д*) применяют при больших колебаниях уровней воды в источнике. Все оборудование размещают на платформе, передвигающейся по рельсам, уложенным на откосе.

## 5.8. ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водозаборных сооружений устанавливаются с целью обеспечения их санитарно-эпидемиологической надежности. Зона санитарной охраны для поверхностных источников водоснабжения должна состоять из трех поясов:

*первого* – строгого режима;  
*второго и третьего* – режимов ограничений.

Первый пояс (пояс строгого режима) охватывает часть используемого водоема в месте водозабора и территорию расположения водозаборных сооружений. Территорию первого пояса изолируют от доступа посторонних лиц, ограждают забором и озеленяют. На ней запрещаются:

- все виды строительства;
- выпуск стоков;
- купание;
- водопой и выпас скота;
- рыбная ловля;
- применение для растений ядохимикатов и удобрений.

Акватория первого пояса ограждается бакенами.

Границы первого пояса ЗСО реки или канала устанавливаются в зависимости от местных условий, но во всех случаях:

- вверх по течению – не менее 200 м от водозабора;
- вниз по течению – не менее 100 м от водозабора;
- по прилегающему к водозабору берегу – не менее 100 м от линии уреза воды при наивысшем ее уровне;
- в направлении от прилегающего от водозабора берега в сторону водоема при ширине реки или канала менее 100 м – вся акватория и противоположный берег 50 м от линии уреза воды при наивысшем ее уровне;
- при ширине реки или канала более 100 м – полоса акватории не менее 100 м.

Границы первого пояса санитарной охраны водохранилища или озера, используемого в качестве источника водоснабжения, должны быть:

- по акватории не менее 100 м во все стороны от водозабора;
- по прилегающему к водозабору берегу – не менее 100 м от линии уреза воды при наивысшем ее уровне.

Второй пояс ЗСО включает источник водоснабжения и бассейн его питания, т. е. все территории и акватории которые могут оказать влияние на качество воды источника, используемого для водоснабжения.

Границы второго пояса ЗСО должны быть:

- вверх по течению, исходя из пробега воды от границ пояса до водозабора при расходе воды 95% обеспеченности, в срок от 3 до 5 сут;
- вниз по течению – не менее 250 м от водозабора;
- боковые границы по водоразделам.

Границы второго пояса санитарной охраны водохранилища или озера определяют, исходя из продолжительности протекания воды от них до водозабора в течение не менее 5 сут при максимальной скорости течения и с учетом стоковых и ветровых течений.

Во всех случаях границы второго пояса должны обеспечивать качество воды по для источников на расстоянии от водозабора для проточных источников – 1 км вверх по течению, для непроточных источников и водохранилищ 1 км в обе стороны.

Границы третьего пояса ЗСО поверхностного источника водоснабжения должны быть вверх и вниз по течению водотока или во все стороны по акватории водоема такими же, как для второго пояса. Боковые границы – по водоразделу, но не более 3 – 5 км от водотока или водоема.

#### **Самоконтроль по УЭ-5:**

1. Вспомните особенности забора воды из водохранилищ.
2. Какие водоприемники применяются для забора воды из озер?
3. Вспомните мероприятия по забору воды из рек с недостаточной глубиной.
4. Сколько зон санитарной охраны для поверхностных источников водоснабжения?

### **УЭ-Р. ОБОБЩЕНИЕ ПО МОДУЛЮ**

#### **Учебные цели УЭ-Р:**

Обобщите наиболее существенные знания по модулю, выразите их в форме резюме. Для этого ответьте на следующие основные вопросы:

1. Какие функции осуществляет технический надзор при строительстве водоотводящей сети?
2. С какого момента вновь построенная водоотводящая сеть считается принятой в эксплуатацию?
3. Какова численность бригады, производящей наружный осмотр водоотводящей сети?
4. Какими службами осуществляется выполнение непредвиденных ремонтов, вызванных аварийными повреждениями?

5. Какой метод прочистки сети считается наиболее прогрессивным и менее трудоемким?

6. Какие виды работ включены в обслуживание ливневой водоотводящей сети?

7. Когда производится очистка дождеприемных колодцев при нормальных условиях работы водосточной сети?

8. Каким способом, как правило, осуществляется очистка водосточных колодцев?

9. При какой температуре воздуха заканчивается полное снятие утепления на водосточной сети?

## УЭ-К. ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПО МОДУЛЮ

После изучения данного модуля вы должны:

– знать основные правила эксплуатации водоотводящей и водосточной сети;

– уметь правильно и грамотно выбрать способы прочистки и ликвидации засоров на водоотводящей сети.

Повторите учебный материал по лекциям, учебно-методическому комплексу к данному модулю и предлагаемому списку литературы.

1. ТКП 45-4.01-30-2009 (02250) Водозаборные сооружения. Строительные нормы проектирования. – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2009.

2. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение / Н.Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1982.

3. Старинский, В.П. Водозаборные и очистные сооружения коммунальных водопроводов / В.П. Старинский, Л.Г. Михалик. – Минск: Высшая школа, 1989. – 269 с.

4. Курганов, А.М. Водозаборные сооружения систем коммунального водоснабжения / А.М. Курганов. – М.; СПб, 1998. – 246 с.

5. Проектированию сооружений для забора поверхностных вод (Пособие к СнИПу 2.04.02 -84). – М.: Стройиздат, 1990.

6. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений: справ. монтажника / под ред. А.С. Москвитина. – М.: Стройиздат, 1979.

Если вы уверены в своих знаниях, умениях и навыках, вам необходимо пройти «выходной тест».

Если вы испытали трудности в выполнении «выходного теста», то изучите соответствующий материал повторно.

## М-Р. ОБОБЩЕНИЕ ПО КУРСУ

### Учебные цели М-Р:

Обобщите наиболее существенные знания по курсу, выразите их в форме резюме. Для этого ответьте на следующие основные вопросы:

1. Требования при выборе источника водоснабжения. Факторы, учитываемые при выборе.
2. Подземные воды. Происхождение и характеристика.
3. Классификация сооружений для забора подземных вод.
4. Основные понятия о движении подземных вод – статический, динамический уровни, дебит, понижение, воронка депрессии, взаимное влияние скважин.
5. Конструкции скважин – трубчатых колодцев. Крепление стенок скважин.
6. От чего зависит выбор типа фильтров для скважин.
7. Схемы водоводов для сбора воды из скважин.
8. Основное оборудование трубчатых колодцев.
9. Подбор насосов для скважин.
10. Горизонтальные водозаборы. Область применения.
11. Шахтные колодцы. Область применения.
12. Зоны санитарной охраны подземных вод. Ограничения деятельности, определение границ.
13. Назовите типы водоприемных сооружений для забора поверхностных вод.
14. Требования при выборе места расположения водозаборных сооружений.
15. Факторы, влияющие на выбор типа и конструктивной схемы водоприемных сооружений.
16. Степень надежности забора воды русловыми водозаборами.
17. Классификация водоприемников.
18. Самотечные и сифонные линии. Схемы. Сравнительный анализ.
19. Размещение и расчет всасывающих линий насосов.
20. Оборудование, применяемое для защиты водозабора от сора.
21. Способы рыбозащиты. Конструкции рыбозащитных устройств.
22. Схемы ковшей и область применения.

## **М-К. ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПО КУРСУ**

Итак, вы изучили курс «Водозаборные сооружения».

После изучения данного курса вы должны:

- иметь научно обоснованное представление об особенностях проектирования водозаборных сооружений;
- четко представлять особенности забора воды в специфических условиях для выбора правильного решения по устройству водозаборного узла;
- владеть навыками расчетов основных элементов водозаборных сооружений;
- уметь обоснованно подобрать необходимое основное и вспомогательное оборудование водозаборных сооружений для обеспечения надежности их работы в любых условиях.

По окончании изучения курса «Водозаборные сооружения», вам необходимо сдать экзамен.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ**

Курсовой проект «Водозаборные сооружения» выполняется студентами с целью закрепления теоретических знаний по данному разделу курса «Водоснабжения» и приобретения навыков в проектировании этих сооружений.

Водозаборные сооружения являются одним из наиболее важных элементов системы водоснабжения, обуславливающим эксплуатационную надежность всей системы и ее технико-экономические показатели. Поэтому проектирование водозаборных сооружений должно осуществляться с использованием современных методов расчета водоприемных устройств, применением прогрессивных конструкций и технологий производства строительных работ.

### **Состав и объем курсового проекта**

Проект состоит из одного листа чертежа (формат А1) и пояснительной записки.

На чертеже должны быть представлены:

- план участка местности с указанием источников, трубопроводов, площадки очистных сооружений, границы зон санитарной охраны в масштабе 1:500, 1:1000;
- разрез и план павильона над скважиной в масштабе 1:100 или 1:200 с указанием всей обвязки насосного оборудования, оголовка, кондуктора, ствола, фильтра и т.д. На плане павильона должны быть проставлены все привязочные размеры и размеры узлов, на разрезе – абсолютные отметки;
- конструкция оголовка (М 1:25, 1:50);
- гидрогеологический разрез скважины (пример гидрогеологического разреза дан на рис. П1, а условные обозначения пород на рис. П2);
- спецификация.

Пояснительная записка должна содержать все необходимые расчеты с указанием использованных формул или методик. Вначале приводится формула, дается ссылка на входящие в нее параметры, а затем приводится сам расчет, но ни в коем случае не конечный результат расчета.

Текст пояснительной записки должен носить лаконичный характер и сопровождаться пояснительными схемами.

Рекомендуется следующее примерное содержание пояснительной записки:

1. Задание на проектирование (приложение, табл. П8 – П10).
2. Содержание.
3. Введение.
4. Выбор способа бурения и разработка конструкции скважины.
5. Определение количества скважин.
6. Выбор типа фильтра и его расчет.
7. Проектирование сборных водоводов.
8. Подбор насосного оборудования.
9. Проектирование зон санитарной охраны водозабора.

Для студентов заочной формы обучения в пояснительной записке также представляется геологический разрез скважины и необходимые схемы с размерами для наглядности.

### **Исходные данные**

Исходными данными для проектирования подземного водозабора являются:

- 1) потребность объекта водоснабжения в воде;
- 2) ситуационные и топографические материалы, характеризующие расположение объекта относительно источника водоснабжения;
- 3) данные о водных ресурсах источника водоснабжения;
- 4) гидрологическая, гидрогеологическая и санитарная характеристика источника водоснабжения.

### **Общие положения**

Использование подземных вод для водоснабжения определяется условиями формирования и залегания различных категорий подземных вод: характеристикой водоупоров и кровли водоносных пластов, их мощностью; составами и свойствами водовмещающих пород; спецификой формирования водоносных горизонтов; особенностями источников их питания.

По условиям залегания и формирования подземных вод различают артезианские, хорошо прикрытые мощными водонепроницаемыми кровлями и залегающими на значительных глубинах, и грунтовые воды, залегающие обычно на небольших глубинах в аллювиальных отложениях. По гидравлическим характеристикам подземные воды различают как напорные, при которых статический уровень воды в пробуренной скважине ус-

танавливается выше кровли водоносного пласта, и безнапорные, при которых статический уровень воды ниже границы кровли водоносного пласта, прикрывающей водовмещающую породу.

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 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.

Проектирование скважинного водозабора начинается с построения проектного геолого-технического разреза.

Скважины сооружаются возможно ближе к объекту водопотребления на относительно низких отметках земли. Площадка строительства должна обеспечивать возможность наилучшего питания эксплуатируемого водоносного пласта, располагаться на устойчивых и незатапливаемых участках. Скважины, предназначенные для хозяйственно-питьевого водоснабжения, должны размещаться за пределами территории промышленных предприятий и выше жилой застройки.

Выбранный водоносный пласт должен обеспечивать получение воды в требуемом количестве, необходимого качества. Целесообразно использование пластов, представленных скальными трещиноватыми породами, гравийно-галечниковыми отложениями, крупнозернистыми песками, так как в этих породах можно применять фильтры наиболее простой конструкции.

## **1. РАСЧЕТ СКВАЖИННОГО ВОДОЗАБОРА**

### **1.1. Определение требуемого количества скважин**

Требуемое количество скважин определяется по формуле

$$n = \frac{Q_{тр}}{Q_{скв}},$$

где  $Q_{тр}$  – потребность в воде, м<sup>3</sup>/ч (принимается по заданию).

Полученное значение  $n$  округляется до целого числа  $n'$  в большую сторону.

Общее количество скважин будет равно:

$$N = n' + n_{рез},$$

где  $n_{рез}$  – количество резервных скважин [1].

При принятом количестве скважин  $n'$  дебит каждой из них будет

$$Q'_{скв} = \frac{Q_{тр}}{n'}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

## 1.2. Определение расчетного понижения уровня воды в скважине

Для определения расчетного понижения кроме расчетного дебита скважины необходимо знать и удельный дебит. Удельный дебит скважины определяется по формуле:

$$q_{уд} = \frac{Q'_{скв}}{S}, \text{ м}^3/\text{ч на 1 м},$$

где  $Q'_{скв}$  – проектный дебит скважины,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $S$  – проектное понижение, м.

По удельному дебиту  $q_{уд}$  и дебиту скважины  $Q'_{скв}$  определяется расчетное понижение  $S_{расч}$ :

$$S_{расч} = \frac{Q'_{скв}}{q_{уд}}.$$

Допустимое понижение (м) водоносного пласта определяется по следующим формулам:

– для безнапорного

$$S_{дон} \leq (0,5 \dots 0,7)H - \Delta H_n - \Delta H_\phi;$$

– для напорного

$$S_{дон}^H \leq H - \left[ (0,3 \dots 0,5)m + \Delta H_n + \Delta H_\phi \right],$$

где  $H$  – разность между статическим уровнем воды в скважине и подошвой водоносного пласта, м;

$\Delta H_n$  – максимальная глубина погружения насоса (его нижней кромки) под динамический уровень в скважине, м ( $\Delta H_n = 5 \dots 10$  м);

$\Delta H_\phi$  – потери напора (в скважине) на входе в фильтр, м ( $\Delta H_\phi = 0,5 \dots 1,5$ ).

Во всех случаях должно выдерживаться соотношение

$$S_{расч} \leq S_{дон}.$$

При  $S_{расч} > S_{дон}$  проектируемый дебит водозабора не может считаться обеспеченным. В этом случае необходимо увеличить число скважин, уменьшив дебит каждой из них.

Расчетная отметка динамического уровня:

$$H_{расч\ дин} = H_{ст.} + S_{расч},$$

где  $H_{ст.}$  – отметка статического уровня воды в скважине, м.

## **2. ВЫБОР И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИНЫ**

Конструкция разведочно-эксплуатационной скважины определяется гидрогеологическими условиями, способом бурения и требованиями эксплуатации и санитарной охраны источника и сооружений.

Бурение на воду производится двумя наиболее распространенными способами: роторным и ударно-канатным.

Ударно-канатное бурение рекомендуется применять при необходимости опробования водоносных горизонтов, при сооружениях скважин больших диаметров (500 мм и более) и в сложных геолого-гидрогеологических условиях. Допустимая глубина бурения этим способом – не более 150 м.

Роторное бурение целесообразно в районах с хорошо изученными геологическими условиями с целью вскрытия ранее разведанных и опробованных водоносных горизонтов, при бурении на напорные водоносные горизонты. Глубина бурения этим способом может осуществляться на глубину более 150 м.

### **2.1. Требования к конструкции водозаборной скважины**

При выборе конструкции скважины учитывают:

Скважина должна обеспечить расчетный расход при минимальной глубине динамического уровня, возможного в существующих гидрогеологических условиях при выбранной глубине скважины.

Диаметр эксплуатационной колонны должен быть достаточным для оборудования скважины выбранным насосом с производительностью, соответствующей расчетному расходу воды.

Качество забираемой воды не должно изменяться в процессе ее отбора из выбранного водоносного горизонта, т.е. в ствол скважины не

должны проникать поверхностные воды и воды из других водоносных горизонтов.

В водоприемную часть скважины при эксплуатации не должны проникать глинистые и песчаные частицы из окружающих пород. При использовании воды трещиноватых скальных пород стенки приемной части безфильтровой скважины должны быть устойчивыми.

Конструкция скважины должна быть несложной удобной в эксплуатации и обеспечивать возможно больший срок нормальной эксплуатации скважины.

Скважина должна быть закреплена наименьшим количеством колонн обсадных труб (но не менее 2).

При роторном способе бурения скважины необходимо производить затрубную цементацию колонн обсадных труб, с доведением цементного раствора до устья скважины.

У разведочно-эксплуатационной скважины выделяют следующие основные элементы и характеристики конструкции: глубина скважины ( $H_{скв}$ ), количество колонн обсадных труб ( $n_k$ ), диаметр колонн ( $D_k$ ), глубина спуска колонн ( $H_k$ ), специальные устройства (затрубная цементация, переводники, сальники и т.д.), водоприемная часть (конструкция и размеры).

### **2.1.1. Ударно-канатное бурение. Определение количества колонн обсадных труб**

Для определения количества колонн обсадных труб необходимо знать предварительную глубину проектируемой скважины и величину выхода колонны обсадных труб. Окончательно глубина скважины уточняется после разработки конструкции ее водоприемной части.

Глубина скважины ( $H_{скв}$ ) определяется в зависимости от глубины залегания кровли или уровня появления воды эксплуатационного водоносного горизонта и его мощности.

Выход колонны представляет собой расстояние по оси скважины между башмаками двух смежных колонн обсадных труб. Среднюю величину выхода каждой колонны можно принимать в пределах 30...40 м.

При проектировании конструкции скважины необходимо предусматривать внедрение башмака каждой колонны труб в водоупорные породы на 2...3 м, за исключением эксплуатационной колонны, башмак которой должен входить в водоносную породу на 1...3 м. Если скважина оборудуется фильтром в водоносном горизонте, сложенном песками или другими рыхлыми породами, то после установки фильтра эксплуатационную колонну приподнимают до указанного положения.

После назначения средней величины выхода колонны определяется количество колонн:

$$n_k = \frac{H_{скв}}{l},$$

где  $l$  – выход колонны обсадных труб, м.

После определения количества колонн задается выход каждой колонны обсадной трубы таким образом, чтобы в сумме они были равны глубине скважины.

### **Определение диаметров колонн обсадных труб**

Для крепления скважин при бурении применяют стальные обсадные трубы, соединяемые муфтами или сваркой (диаметром более 426 мм). Диаметры наиболее часто используемых труб указаны в приложении, в таблице П5. Наружные диаметры обсадных труб принято приводить в дюймах (1дюйм = 25,4 мм) и миллиметрах. Трубы имеют длину от 6 до 13 м.

Каждая колонна обсадных труб снабжается башмаком, предназначенным для предохранения нижнего конца обсадных труб от смятия, выравнивания стенок скважины и облегчение спуска.

При проектировании бурения скважины ударно-канатным способом ее конструкция должна намечаться с назначения колонн обсадных труб. Чтобы обеспечить надежную цементацию зазоров между трубами, разность диаметров смежных труб должна составлять не менее 50 мм.

Имея схему конструкции скважины для конкретных геолого-гидрологических условий, определяют диаметры обсадных труб. Первоначально определяют диаметр эксплуатационной колонны трубы, который принимается в зависимости от предварительно намеченного водоподъемного оборудования (приложение, табл. П3). Например, дебит скважины  $Q_{скв} = 15 \text{ м}^3/\text{ч}$ . В этом случае можно предположить к установке погружной насос ЭЦВ6-16, подача которого находится в пределах 14...20  $\text{м}^3/\text{ч}$ , а диаметр обсадной трубы  $D_3$  равен 6" или 168 мм (рис. 1).

Далее намечают диаметры промежуточных и начальной колонн обсадных труб.

### **2.1.2. Роторное бурение. Определение количества колонн обсадных труб**

Количество колонн обсадных труб определяется в зависимости от глубины скважины  $H_{скв}$  и величины входа колонн обсадных труб. Предварительно глубину скважины определяют, как при ударно-канатном буре-

нии. Выход колонн обсадных труб при роторном бурении увеличивается до 300...500 м. Таким образом, конструкции скважин на глубину 100...250 м могут состоять не более чем из двух колонн: кондуктора и эксплуатационной колонны.

Кондуктор предназначен для перекрытия водоносных горизонтов, не подлежащих эксплуатации, или неустойчивых верхних пород, а также обеспечения вертикальности скважины.

Длина кондуктора принимается равной не более 30...50 м. Башмак эксплуатационной колонны должен входить водоносную породу на 1...3 м (рис. 2). Исходя из вышеизложенного определяют количество колонн и их выход.

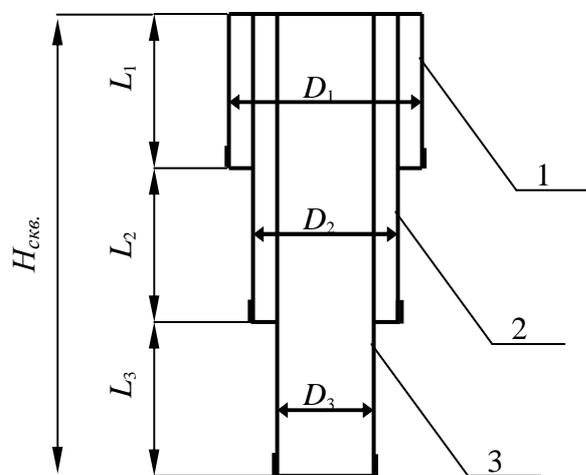


Рис. 1. Схема конструкции скважины при ударно-канатном бурении:

1 – начальная колонна; 2 – промежуточная колонна; 3 – эксплуатационная колонна

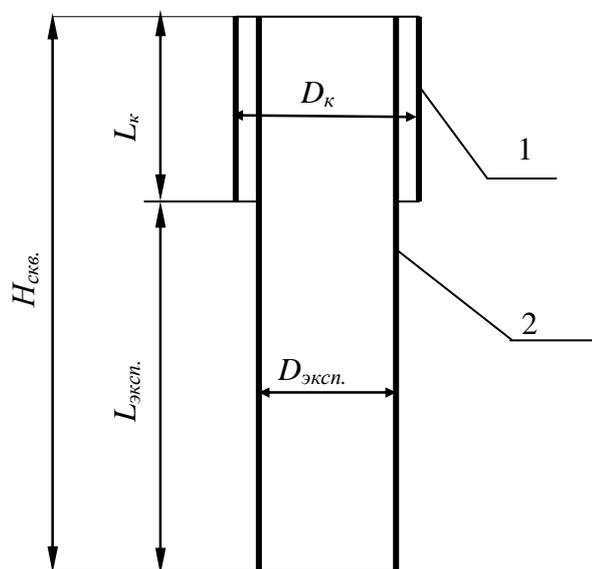


Рис. 2. Схема конструкции скважины при роторном бурении:

1 – кондуктор; 2 – эксплуатационная колонна

Выбор диаметра эксплуатационной трубы определяется таким же образом, как и при ударно-канатном бурении. Чтобы обеспечить надежную цементацию зазоров между трубами, разность диаметров смежных труб при роторном бурении должна составлять не менее 100 мм. Таким образом, диаметр кондуктора намечается через один порядковый номер, например 6...10".

Схемы конструкции скважины при любом способе бурения, со всеми размерами должны быть представлены в пояснительной записке.

### **3. ВЫБОР И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВОДОПРИЕМНОЙ ЧАСТИ СКВАЖИНЫ**

Нормальная эксплуатация скважины зависит в основном от конструкции и состояния именно водоприемной части.

В зависимости от состава и сложения водоносного горизонта водоприемная часть может быть бесфильтровая и фильтровая.

Бесфильтровую водоприемную часть устраивают в скважинах, водоносные горизонты которых представлены устойчивыми к обрушению трещиноватыми скальными породами или зернистыми пылеватыми песками.

В остальных случаях устраивают фильтровую водоприемную часть.

Фильтры буровых скважин должны отвечать следующим основным требованиям:

- обеспечивать максимальный дебит скважины при минимальном понижении уровня воды в ней, т. е. создавать минимальные входные сопротивления в прифильтровой зоне;

- обладать необходимой механической прочностью;

- иметь по возможности наибольшую площадь контакта с водоносной породой для обеспечения наименьших входных скоростей фильтрации;

- быть достаточно устойчивыми против химической и электрохимической коррозий, водной эрозии, а также зарастания.

Основное назначение фильтра заключается в предохранении водоносного горизонта от обрушения, а также в пропуске воды без механических примесей.

Тип фильтра и его конструкцию выбирают в зависимости от характера и гранулометрического состава водоносных пород согласно [1, приложения 2, табл. 1].

Фильтр состоит из рабочей части, отстойника, надфильтровой трубы, сальника, замка.

#### **3.1. Конструкции фильтров водозаборных скважин**

##### **3.1.1. Фильтры на каркасно-стержневой основе**

Наиболее рациональными, обладающими рядом технико-экономических преимуществ по сравнению с другими конструкциями фильтров, являются каркасно-стержневые фильтры.

Фильтры каркасно-стержневые изготавливаются из прутковой стали, приваренных по образующей к соединительным патрубкам и опорным кольцам по длине фильтра для жесткости каркаса. Основные параметры фильтров на каркасно-стержневой основе приведены в приложении табл. Пб.

### 3.1.2. Фильтры трубчатые

Каркас трубчатого фильтра с круглой или щелевой перфорацией можно изготавливать из металлических труб, асбестоцементных, пластмассовых, стеклопластиковых, керамических и фарфоровых труб. Наибольшее распространение получили фильтры из стальных обсадных труб. Целесообразно вместо обсадных труб для изготовления перфорированных каркасов использовать стальные бесшовные или электросварные трубы. Трубчатые фильтры допускается применять для скважин любой глубины.

Отверстия в трубах выполняются в шахматном порядке. Щелевые отверстия должны иметь ширину 10...30 мм и длину 30...100 мм и располагаются продольно по длине трубы.

Круглые отверстия выполняются диаметром 10...24 мм с расстояниями между отверстиями вдоль оси трубы  $(1,55...1,7) \cdot d_{отв.}$ ; по окружности трубы –  $(2,1...3,5) \cdot d_{отв.}$ .

Основные параметры трубчатых фильтров приведены в приложении, в таблице П7.

### 3.1.3. Гравийные фильтры

Проблема увеличения водоотбора и долговечности службы водозаборных скважин связана с внедрением гравийных фильтров.

К гравийным относятся фильтры, у которых поверхность, контактирующая с водоносной породой, состоит из искусственно вводимого гравия или крупнозернистого песка. С применением обсыпки снижаются входные скорости и увеличивается срок службы фильтров.

Гравийные обсыпки водозаборных скважин должны состоять из отсортированного, однородного по гранулометрическому составу материала. Применение разнородных смесей может вызвать длительное пескование скважин, и даже выход их из строя.

При эксплуатации подземных вод используются гравийные фильтры двух видов: опускаемые, которые устанавливают в скважину в готовом виде, и создаваемые внутри скважин путем засыпки или закачки обсыпного материала на забой по межколонному пространству.

#### *Гравийные фильтры, создаваемые в забое скважины*

В зависимости от способа сооружения скважин однослойные гравийные обсыпки делятся на тонкослойные и уширенного контура.

Как показал опыт, тонкослойные обсыпки не обеспечивают надежной работы фильтров. Чем больше толщина обсыпки, тем больше производительность фильтра и устойчивость его работы, исходя из этого, рекомендуется принимать минимальную толщину слоя обсыпки 50 мм, стремясь по возможности ее увеличивать.

Однослойные обсыпки уширенного контура можно сооружать разными способами.

В мелкозернистых песках, а также среднезернистых, но при наличии вод, склонных к выделению солей на фильтрах, необходимо применять для скважин ударно-канатного бурения двухслойную, а реже трехслойную обсыпку. Применение такой обсыпки в мелкозернистых песках позволяет увеличить в несколько раз размер отверстий на фильтрационном каркасе, что уменьшит вероятность их зарастания в процессе эксплуатации.

### 3.2. Расчет фильтра

Размеры фильтра определяют исходя из условий создания допустимых скоростей движения воды при поступлении ее из водоносного пласта в скважину:

$$Q_{расч} \leq F \cdot V_{\phi},$$

где  $Q_{расч}$  – максимальный расчетный расход воды, забираемый из скважины, м<sup>3</sup>/сут;

$F$  – площадь фильтрующей поверхности фильтра, м<sup>2</sup>,

$$F = \pi D_{\phi} l_{\phi};$$

$D_{\phi}$  – диаметр фильтра, м;  $l_{\phi}$  – длина рабочей части фильтра;

$V_{\phi}$  – допустимая входная скорость фильтрации, м/сут.

Допустимую скорость фильтрации  $V_{\phi}$ , м/сут определяют по следующим формулам:

– для дырчатых, щелевых, проволочных и сетчатых фильтров:

$$V_{\phi} = 65 \sqrt[3]{K_{\phi}},$$

где  $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации, м/сут (табл. П1).

– для гравийных и блочных фильтров:

$$V_{\phi} = 1000 K_{\phi} \cdot \left( \frac{d_{50}}{D_{50}} \right)^2,$$

где  $d_{50}$  – пятидесяти процентный диаметр зерен песка водоносной породы (размер, меньше которого в водоносном пласте содержится 50% частиц по массе, мм); для песков средней крупности  $d_{50} = 0,3$  мм; для песков мелкой крупности  $d_{50} = 0,2$  мм.

$D_{50}$  – размер, меньше которого в гравийной обсыпке содержится 50% частиц по массе, мм.

Определив площадь боковой фильтрующей поверхности фильтра  $F$  и задав  $D_\phi$  (см. табл. П6 и П7), из формулы  $F = \pi D_\phi \cdot l_\phi$  можно определить  $l_\phi$ :

$$l_\phi = \frac{F}{\pi D_\phi}.$$

В гравийном фильтре за  $D_\phi$  принимают диаметр внешнего контура обсыпки.

Минимальная допустимая толщина обсыпок 50 мм; оптимальная, обеспечивающая надежные условия эксплуатации скважин – 150...200 мм.

В зависимости от гранулометрического состава водоносной породы в качестве обсыпки можно использовать гравий, песчано-гравийные смеси, пески.

Гравийные обсыпки применяют для отбора воды из песков, средний диаметр которых 0,25...0,5 мм и более.

Песчаные обсыпки применяют при отборе воды из тонкозернистых пород, средний диаметр частиц которых составляет 0,1 мм и менее.

Песчано-гравийные обсыпки используются при отборе воды из пород, средний диаметр частиц которых 0,1...0,25 мм.

Подбирать фракционный состав обсыпки следует из соотношения:

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} = 8...12.$$

При подборе материала многослойных обсыпок между породой водоносного горизонта и прилегающим к ней слоем обсыпки принимают соотношение, указанное выше, а между слоями обсыпки – по принципу обратного фильтра, используя соотношение:

$$\frac{D_{n+1}}{d_n} = 4...6,$$

где  $d_n$  –  $n$ -й слой обсыпки;

$D_{n+1}$  – слой обсыпки, следующий за  $n$ -м в направлении от стенки скважины к каркасу фильтра.

Расход материала обсыпки зависит от длины фильтров, их диаметров и толщины обсыпки.

Количество обсыпки ( $m^3$ ) на 1 м длины фильтра определяют по формуле

$$W = \pi \left( D_T^2 - d_k^2 \right) \frac{\alpha \beta}{4},$$

где  $D_T$  – внутренний диаметр обсадной трубы или диаметр каверны при расширении водоприемной части скважины, м;

$d_k$  – внешний диаметр каркаса фильтра, м;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий возможность увеличения диаметра скважин или каверн;  $\alpha = 1,25$ ;

$\beta$  – коэффициент растекания и усадки обсыпки;  $\beta = 1,2$ .

При применении фильтров с обсыпкой надфильтровая труба должна входить в эксплуатационную колонну на 5...7 м.

После расчета длины рабочей части фильтра полученный результат следует увязать с мощностью водоносного пласта, при необходимости в расчеты внести корректировку.

Размеры проходных отверстий фильтров без устройства гравийной обсыпки рекомендуется определять по таблице 1:

Таблица 1

Водоприемная фильтрующая поверхность	Размеры проходных отверстий, мм	
	$\eta \leq 2$	$\eta > 2$
Трубчатый каркас с отверстиями:		
– круглыми,	2,5...3,0 $d_{50}$	3,0...4,0 $d_{50}$
– щелевыми	1,0...1,25 $d_{50}$	1,5...2,0 $d_{50}$
Сетки	1,5...2,0 $d_{50}$	2,0...2,5 $d_{50}$
Проволочная обмотка	1,25 $d_{50}$	1,5 $d_{50}$

В таблице 1 символ  $\eta$  – коэффициент неоднородности пород водоносного пласта:

$$\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}},$$

где  $d_{10}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{60}$  – размеры частиц, мельче которых в составе пород водоносного пласта содержится соответственно 10, 50 и 60% от общей массы.

Размеры проходных отверстий фильтров с обсыпкой принимают равным среднему диаметру частиц слоя обсыпки, примыкающего к его стенкам.

Схема установки фильтра с указанием основных размеров должна быть представлена в пояснительной записке (рис. 3).

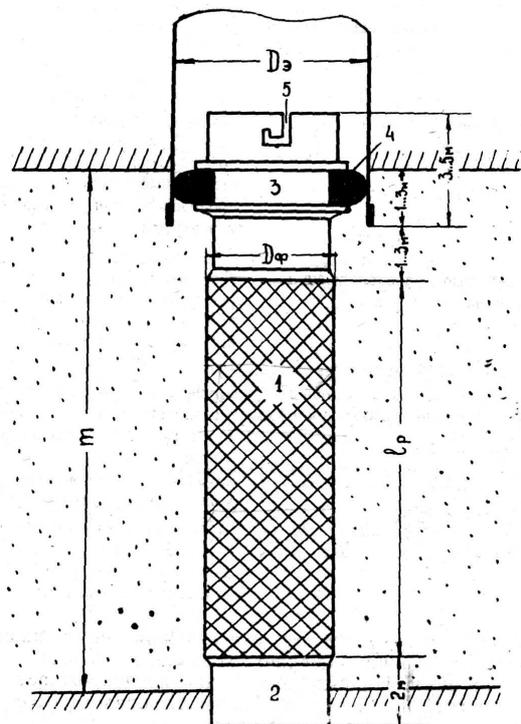


Рис. 3. Схема установки фильтра:  
1 – рабочая часть фильтра;  
2 – отстойник; 3 – надфильтровая труба; 4 – сальник; 5 – замок

#### 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СБОРНЫХ ВОДОВОДОВ

При проектировании водозабора целесообразно предусматривать линейный ряд скважин.

Расстояние между скважинами принимается в зависимости от радиуса влияния скважин  $R$ , (значения  $R$  приведены в табл. П2). Если расстояние между скважинами  $L$  больше или равно  $2R$ , то такие скважины рассчитываются как одиночные. При расстоянии между скважинами меньше  $2R$  скважины рассчитываются как взаимодействующие. При проектировании скважинного водозабора будем считать, что скважины между собой не взаимодействуют, то есть выполняется условие  $L \geq 2R$ .

Схемы сборных водоводов в плане весьма разнообразны и зависят от расположения скважин относительно друг друга, оборудования водозаборных скважин, расположения скважин относительно площадки очистных сооружений и т.д. Можно выделить три основные схемы сборных водоводов: тупиковые, кольцевые и парные.

Линейные водоводы прокладываются в одну нитку только при кольцевом расположении водоприемных сооружений, если допускается перерыв в подаче воды потребителю или при наличии на водозаборном узле регулирующих и запасных резервуаров.

Линейные водоводы в две и три нитки полимерных труб применяются чаще всего, так как являются более надежными в обеспечении водой потребителей.

Диаметры сборных водоводов принимаются обычно с таким расчетом, чтобы расчетные скорости движения воды были в пределах  $0,4 \dots 0,7$  м/с для диаметров от 100 до 400 мм и  $0,7 \dots 1,0$  м/с – для диаметров от 500 до 1000 мм.

При выполнении гидравлического расчета водовода необходимо из общего числа водозаборных скважин выделить условно резервные, расположение которых ближайшее от узла очистных сооружений. В гидравлическом расчете водоводов резервные скважины не участвуют.

В пояснительной записке необходимо представить расчетную схему водоводов.

## 5. ПОДБОР НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Необходимый напор насоса для каждой скважины следует определять по формуле

$$H_{mp} = H_2 + h_{в.тр} + h_{дл} + h_m,$$

где  $H_2$  – геометрическая высота подъема воды, находится как разность отметок излива воды на очистных сооружениях и динамического уровня воды в скважине.

Для определения  $H_2$  необходимо на план участка местности, на котором указаны скважины, трубопроводы и площадка очистных сооружений, самостоятельно нанести горизонтали (5-6 через 0,5 м). Отметку излива воды на очистных сооружениях условно принять на 4,0...4,5 м выше отметки земли в месте расположения площадки очистных сооружений. Необходимо иметь в виду, что динамический уровень воды в скважине найден относительно поверхности земли, и следует определить его абсолютную отметку;

$h_{в.тр}$  – потери напора в водоподъемной трубе насоса, которые следует определить в зависимости от подачи насоса, диаметра и длины водоподъемной трубы;

$h_{дл}$  – потери напора по длине водовода от водозаборной скважины до очистных сооружений, определяются по данным гидравлического расчета;

$h_m$  – потери напора на преодоление местных сопротивлений.

В зависимости от требуемого напора для каждой скважины подбирается марка насосного оборудования, обеспечивающего требуемые  $Q$  и  $H$ , и составляется таблица следующей формы:

№ скважины	Дебит скважины, м <sup>3</sup> /ч	Требуемый напор, м	Марка принятого насоса	Фактический напор, м	Примечание

Дальнейший расчет скважинного водозабора для всех режимов его работы осуществляется на компьютере с применением существующей программы. Методические указания по расчету на компьютере в этом пособии не рассматриваются.

## 6. ОБОРУДОВАНИЕ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Над устьями водозаборных скважин устраивают павильоны, в которых размещают оголовок, электродвигатель при установке насоса типа АТН, горизонтальный центробежный насос, аппаратуру для отопления, пуска, измерения уровня воды в скважине, ее расхода, автоматизации и часть напорного трубопровода, на котором устанавливают задвижки, обратный клапан, вантуз, кран для отбора проб воды на анализ и трубопровод промывной воды с задвижкой, необходимый для сброса воды при пуске и промывке скважины.

В зависимости от местных условий (обводненность поверхностного слоя грунтов и др.) павильоны над скважинами могут быть надземными и подземными.

При применении для откачки воды насосов с трансмиссионным валом проектируют обычно надземные павильоны, а при использовании насосов типа ЭЦВ – подземные.

Размеры здания насосной станции в плане принимаются из условий размещения в нем оборудования и аппаратуры с обеспечением нормальных проходов для персонала службы эксплуатации водозабора.

Как правило, размеры в плане должны быть не менее 3×3 м, высота здания не менее 2,5 м.

Напорные линии, диаметры которых определяются согласно [1] в соответствии с рекомендуемыми скоростями движения воды в трубопроводах насосов, оборудуют аппаратурой для замера расходов воды и по защите скважин и водоводов от гидравлических ударов.

Для контроля и управления скважины оборудуются водомером для измерения расхода воды, электроуровнем для измерения уровня воды в скважине, манометром для оценки давления на насосе.

Привод насоса ЭЦВ осуществляется комплексно поставляемой станцией управления с электродными датчиками уровней, которая обеспечивает работу погружного насоса в режиме автоматического управления.

Для монтажа и демонтажа оборудования скважин применяются грузоподъемные устройства. Монтаж и демонтаж секций скважинных насосов предусматривается через потолочный люк павильона.

## 7. ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ

Зоны санитарной охраны имеют три пояса.

I пояс ЗСО (зона строгого режима) устанавливается в целях устранения возможности случайного или умышленного загрязнения водоносного горизонта в месте нахождения скважины.

Согласно СНиП [1] I пояс создается в радиусе 30 м для водоносных пластов, относящихся к категории защищенных, и 50 м для пластов, относящейся к категории недостаточно защищенных.

Граница II пояса определяется расчетом, исходя из условий, что если за пределами II пояса ЗСО в водоносный пласт поступают микробные загрязнения, то они не должны достигать скважины в течение 400 сут.

Радиус II пояса:

$$R_2 = \sqrt{\frac{Q_в T}{\pi t \mu}},$$

где  $Q$  – производительность водозабора, м<sup>3</sup>/сут;

$T$  – время, принимаемое равным 400 сут;

$t$  – мощность водоносного пласта, м;

$\mu$  – коэффициент водоотдачи водоносного пласта (см. табл. П4).

III пояс ЗСО, как и второй, предохраняет от неблагоприятного влияния химического загрязнения на качество водоносного горизонта в течение срока эксплуатации (25 лет).

Граница III пояса ЗСО определяется аналогично, принимая время продвижения химического загрязнения  $T$ , равное сроку эксплуатации водозаборного сооружения  $T = 25 \text{ лет} = 9125 \text{ сут}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1985. – 120 с.
2. Николадзе, Г.И. Водоснабжение / Г.И. Николадзе. – М.: Стройиздат, 1995. – 688 с.
3. Пособие по проектированию сооружений для забора подземных вод (к СНиП 2.04.02-84). – М.: Стройиздат, 1989. – 272 с.
4. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. В 3 т. Т. 1. Водозаборные сооружения / под ред. М.Г. Журбы. – Вологда; Москва: ВоГТУ, 2001. – 209 с.
5. Плотников, Н.А. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод / Н.А. Плотников, В.С. Алексеев. – М.: Стройиздат, 1990. – 256 с.
6. Курганов, А.М. Водозаборные сооружения систем коммунального водоснабжения / А.М. Курганов. – М.: СПб, 1998. – 246 с.
7. Хоружий, П.Д. Реконструкция систем водоснабжения: расчет и проектирование / П.Д. Хоружий. – Киев: Будивельник, 1983. – 144 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1

Значения коэффициента фильтрации  $k$

Грунты и породы	Средний диаметр зерен, мм	Коэффициент фильтрации, м/сут
Песок пылеватый	0,05 - 0,1	0,1 - 1
Супесь		0,2 - 0,7
Песок мелкозернистый	0,1 - 0,25	1 - 5
Песок среднезернистый	0,25 - 0,5	6 - 30
Песок крупнозернистый	0,5 - 1,0	31 - 75
Песок гравелистый	1 - 2	50 - 100
Гравий мелкий	2 - 3	75 - 100
Гравий средний	3 - 5	100 - 200
Гравий крупный	5 - 10	200 - 300
Галечник мелкий		300 - 500
Известняк трещиноватый		20 - 50

Таблица П2

Значения радиуса влияния скважины

Грунты и породы	Радиус влияния скважины $R$ , м
Песок пылеватый, супесь	25 - 50
Песок мелкозернистый	50 - 100
Песок среднезернистый	100 - 300
Песок крупнозернистый	300 - 400
Песок гравелистый	400 - 500
Гравий мелкий	400 - 600
Гравий средний	600 - 1500
Гравий крупный	1500 - 3000
Галечник	400 - 600
Известняк трещиноватый	150 - 400

Таблица П3

Основные показатели скважинных насосов типа ЭЦВ,  
выпускаемых заводом «Промбурвод»

Показатели	ЭЦВ 4-1,5	ЭЦВ 4-2,5	ЭЦВ 5-4,0	ЭЦВ 5-6,5	ЭЦВ 5-10,0	ЭЦВ 6-6,5	ЭЦВ 6-10
Подача, м <sup>3</sup> /ч:							
минимальная	1,2	2,0	3,0	5,0	8,0	5,5	8,0
максимальная	2,0	3,0	5,7	8,0	12,0	8,3	12,0
Напор, м	35-140	35-100	125-220	80-200	50-140	60-325	50-260

Окончание табл. ПЗ

Показатели	ЭЦВ 6-16	ЭЦВ 6-25	ЭЦВ 8-16,0	ЭЦВ 8-25,0	ЭЦВ 8-40,0	ЭЦВ 8-65	ЭЦВ 10-65	ЭЦВ 10-120
Подача, м <sup>3</sup> /ч:								
минимальная	14,0	20,0	14,0	20,0	35,0	50,0	50,0	100,0
максимальная	19,0	32,0	19,0	32,0	50,0	80,0	80,0	140,0
Напор, м	50-160	50-100	80-300	15-300	15-200	20-125	65-325	40-200

К установке можно предусмотреть погружные насосы других заводов, в этом случае необходимо воспользоваться каталогами насосного оборудования этих заводов.

Таблица П4

Значения коэффициента водоотдачи

Грунты и породы	Коэффициент водоотдачи
Песок пылеватый	0,1 - 0,15
Супесь	0,15 - 0,25
Песок мелкозернистый	0,14 - 0,185
Песок среднезернистый	0,17 - 0,21
Песок крупнозернистый и гравелистый	0,19 - 0,23
Гравий мелкий	0,24 - 0,26
Гравий средний	0,26 - 0,28
Гравий крупный	0,28 - 0,3
Галечник	0,22 - 0,25
Известняк трещиноватый	0,05 - 0,1

Таблица П5

Соотношения диаметров труб

Наружные диаметры труб		Толщина стенки	Наружные диаметры труб		Толщина стенки
дюймы	мм	мм	дюймы	мм	мм
4	114	6...8	14	377	9...12
6	168	6,5...12	16	426	10...12
8	219	7...12	18	476	
10	273	7...12	20	529	
12	325	9...12	24	630	

Таблица П6

## Основные параметры фильтров на каркасно-стержневой основе

Типовой размер секции фильтра	Диаметр фильтра, мм		Длина секции, мм	Скважинность, %	Масса секции, кг
	внутренний	наружный			
Стержневые фильтры (каркасы)					
С-5Ф.5В	132	174	3100	51,2	69
С-6Ф.5В	152	196	3100	53,8	77
С-8Ф.5В	203	247	3100	58,9	88
С-10Ф.5В	255	301	3100	62,2	106
С-12Ф.5В	307	352	3100	60,2	161
С-14Ф.5В	359	405	3100	60,8	178
С-16Ф.5В	408	454	3100	61,2	202
Фильтры стержневые с проволоочной обмоткой					
СП-5Ф.7В	132	178	3100	28,8	80
СП-6Ф.7В	152	200	3100	31,3	89
СП-8Ф.7В	203	251	3100	33,5	103
СП-10Ф.7В	255	307	3100	37,5	131
СП-12Ф.7В	307	359	3100	38,7	158
СП-14Ф.7В	359	411	3100	39,1	180
СП-16Ф.7В	408	460	3100	39,2	200
КСП-4Ф.13В	82	128	3000	25...50	59
КСП-5Ф.13В	114	160	3000	25...50	77
КСП-6Ф.13В	136	182	3000	25...50	90
КСП-8Ф.13В	187	233	3000	25...50	122
КСП-10Ф.13В	241	287	3000	25...50	153
Фильтры стержневые с покрытием просеченным листом					
СЛ-5Ф.11В	132	176	3100	15...25	81
СЛ-6Ф.11В	152	198	3100	15...25	90
СЛ-8Ф.11В	203	249	3100	15...25	104
СЛ-10Ф.11В	255	303	3100	15...25	122
СЛ-12Ф.11В	307	355	3100	15...25	189
СЛ-14Ф.11В	359	407	3100	15...25	210
СЛ-16Ф.11В	408	456	3100	15...25	237
Фильтры стержневые с сетчатым покрытием					
КСС-4Ф.14В	82	133	3000	24	44
КСС-5Ф.14В	114	165	3000	24	61
КСС-6Ф.14В	136	187	3000	24	66
КСС-8Ф.14В	187	238	3000	24	85
КСС-10Ф.14В	241	292	3000	24	103

Таблица П7

## Основные параметры трубчатых фильтров

Типовой размер секции фильтра	Диаметр фильтра, мм		Длина секции, мм	Скважинность, %	Масса секции, кг
	внутренний	наружный			
Трубчатые перфорированные фильтры					
T-4Ф.1В	98...102	114	3000	15,3...23,7	43...48
T-5Ф.1В	132	146	3100	13,5...22,5	69
T-6Ф.1В	152	168	3100	13,5...19,3	91
T-8Ф.1В	203	219	3100	15...18,1	118
T-10Ф.1В	255	273	3100	17,6...18,5	168
T-12Ф.1В	307	325	3100	18,5	195
T-14Ф.1В	359	377	3100	18,5	227
T-16Ф.1В	408	426	3100	18,0	259
Фильтры трубчатые с проволоочной обмоткой					
ТП-4Ф.2В	98...102	128	3000	15...50	55,9...69,2
ТП-5Ф.2В	132	160	3100	36...51	82...80
ТП-6Ф.2В	152	182	3100	39,5...51,2	106...103
ТП-8Ф.2В	203	233	3100	39,7...51,3	136...133
ТП-10Ф.2В	255	289	3100	33,8...41,9	203...198
ТП-12Ф.2В	307	341	3100	45,3	229
ТП-14Ф.2В	359	393	3100	45,9	269
ТП-16Ф.2В	408	442	3100	45,7	304
Фильтры трубчатые с покрытием просеченным листом					
ТЛ-5Ф.4В	132	160	3100	15...25	82
ТЛ-6Ф.4В	152	182	3100	15...25	107
ТЛ-8Ф.4В	203	233	3100	15...25	137
ТЛ-10Ф.4В	255	287	3100	15...25	190
ТЛ-12Ф.4В	307	339	3100	15...25	223
ТЛ-14Ф.4В	359	391	3100	15...25	259
ТЛ-16Ф.4В	408	440	3100	15...25	294
Фильтры трубчатые с сетчатым покрытием					
ТС-4Ф.12В	98...102	128	3000	24	58
ТС-5Ф.12В	130...132	160	3000	24	75
ТС-6Ф.12В	152...154	182	3000	24	88
ТС-8Ф.12В	199...203	233	3000	24	120
ТС-10Ф.12В	253...257	287	3000	24	151



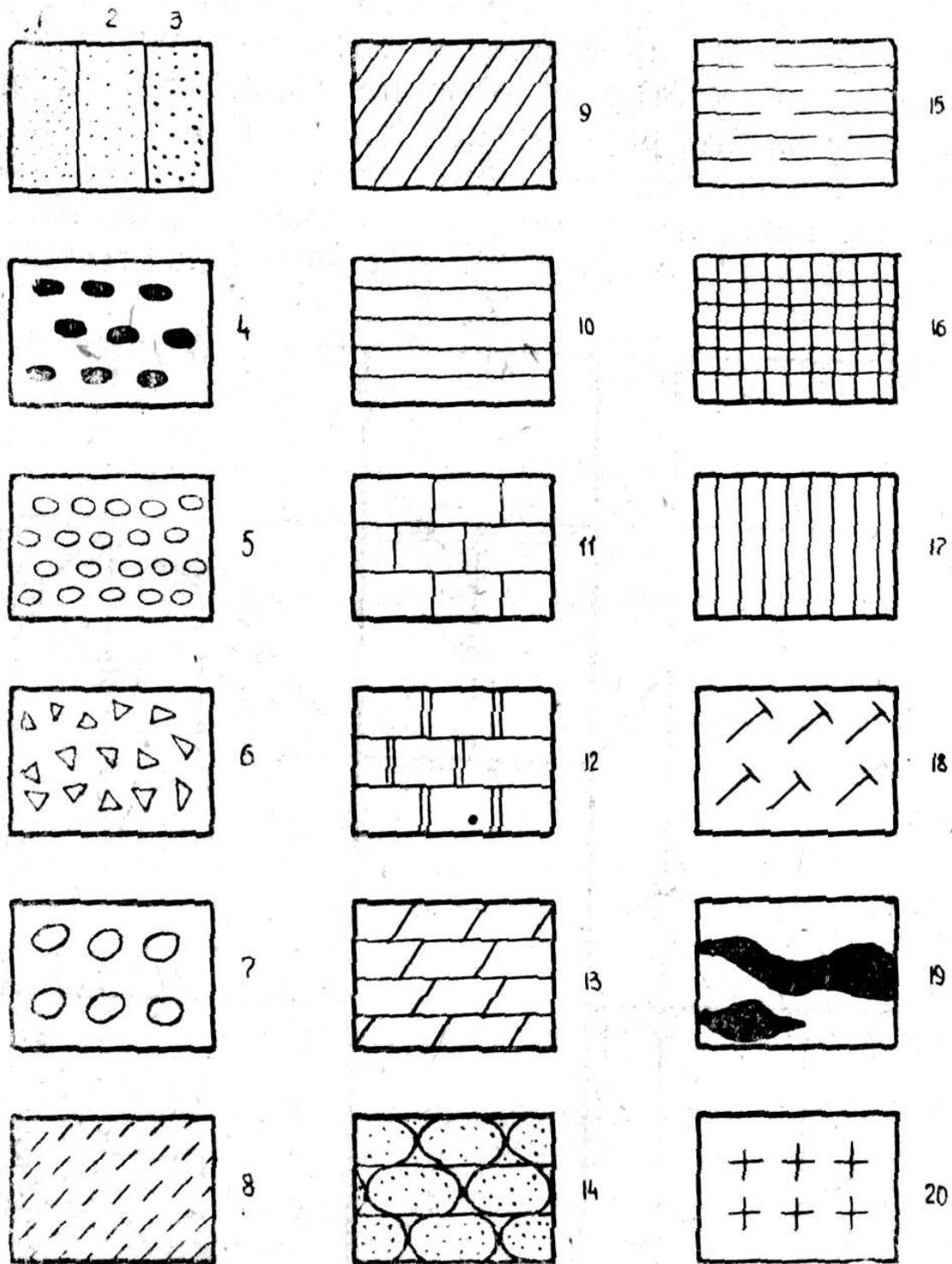


Рис. П2. Условные обозначения пород:

1 – песок мелкозернистый; 2 – песок среднезернистый; 3 – песок крупнозернистый; 4 – гравий; 5 – галечник; 6 – щебень; 7 – валуны; 8 – супесь; 9 – суглинок; 10 – глина; 11 – известняк; 12 – доломит; 13 – мергель; 14 – песчаник; 15 – глинистый сланец; 16 – мел; 17 – лессовидный суглинок; 18 – опока; 19 – каменный уголь; 20 – гранит и другие скальные породы

**ЗАДАНИЕ (с корректировкой)**  
**ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ РАЗВЕДОЧНОЙ СКВАЖИНЫ**

Краткое литологическое описание пород	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Супесь	1/2,0							1/0,6		2/8,2
Растительный слой		1/0,5							1/0,4	1/6,5
Суглинок плотный							1/0,3			
Глина с галькой					6/12,0					
Суглинок	3/20,0	2/15,5				2/11,4				
Мел плотный		3/7,4			3/10,5		7/5,8			
Глина песчаная	2/14,0		2/4,8	3/29,6		3/20,0	3/12,8	4/62,9		4/60,1
Суглинок и глина	4/46,0	7/14,8		7/12,0					6/6,0	
Суглинок с валунами			3/5,0	1/24,3	2/7,3	1/17,8		2/2,5		
Сланец глинистый	7/8,0								4/30,0	
Песок глинистый		4/32,1	1/38,0	2/33,8	1/15,2		4/8,0		3/16,8	
Глина плотная		5/18,0		4/28,1	4/17,7	4/12,8	5/14,6			6/9,5
Известняк и глина	5/6,0		6/21,3	5/12,0			2/9,6			3/34,0
Известняк окремнелый						6/12,0		6/10,4		
Глина со щебнем			4/42,8					3/33,0	2/8,5	
Водоносные породы:										
Песок среднезернистый	6/11,0									
Песок мелкозернистый			5/18,0							
Гравий средний					5/13,2					
Песок крупнозернистый							6/11,4			
Песок гравелистый		6/15,5							5/21,3	
Гравий крупный				6/15,0						5/15,9
Гравий мелкий						5/23,2		5/23,7		

Краткое литологическое описание пород	№ варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Супесь		1/19,3				1/1,0		2/14,0	3/42,0	
Растительный слой	1/0,3			1/1,2				1/1,0	1/1,0	1/1,0
Суглинок плотный			2/7,4				1/1,0			
Глина с галькой				2/4,8	2/23,0					
Суглинок		3/13,0	1/16,8		3/14,1					
Мел плотный					7/9,0					
Глина песчаная					4/62,0	2/16,5	4/28,0		5/23,0	
Суглинок и глина				7/12,0						
Суглинок с валунами	2/14,3				1/7,0					3/22,0
Сланец глинистый				4/11,0			6/19,5	6/10,0		6/25,0
Песок глинистый	7/25,1	6/25,1	3/17,0	3/28,0		5/27,0		3/19,0	4/19,0	
Глина плотная	5/13,1		6/6,0	5/35,0	6/21,0	4/22,0	2/32,0	4/17,0	7/5,0	4/30,5
Известняк и глина	4/28,3	4/30,2								
Известняк окремнелый	3/16,9	2/23,7	4/37,2							
Глина со щебнем						3/23,0	3/19,5		2/11,0	2/17,5
Водонесная порода:										
Песок среднезернистый				6/17,5					6/12,5	
Песок мелкозернистый					5/35,0			5/15,0		
Гравий средний		5/21,0								5/17,0
Песок крупнозернистый	6/16,5									
Песок гравелистый							5/18,0			
Гравий крупный			5/18,0							
Гравий мелкий						6/12,0				

Краткое литологическое описание пород	№ варианта										
	21	22	23	24	25	26					
Супесь	1/14,5		1/27,0		2/25,6						
Растительный слой				1/0,5							
Суглинок плотный		1/15,0				6/8,5					
Глина с галькой		3/17,0	6/20,0								
Суглинок				3/39,7		2/13,1					
Мел плотный				4/35,2							
Глина песчаная	3/33,7		2/11,0		3/42,5						
Суглинок и глина	6/14,8		4/12,2	2/24,6	1/16,5	1/2,1					
Суглинок с валунами		4/18,0				3/19,9					
Сланец глинистый		6/15,0			6/12,9						
Песок глинистый	2/19,6			5/12,6							
Глина плотная	4/24,3	2/13,0	3/11,0		4/12,8	4/65,0					
Известняк и глина											
Известняк окремненный				7/10,1							
Глина со щебнем											
Водоносная порода:											
Песок среднезернистый		5/17,0									
Песок мелкозернистый			5/37,2								
Гравий средний					5/21,6						
Песок крупнозернистый	5/20,0										
Песок гравелистый				6/14,1							
Гравий крупный						5/10,5					
Известняк трещиноватый											
Гравий мелкий											

## ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ВОДОНОСНОЙ ПОРОДЫ

Размеры частиц водоносной породы, мм	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_{10}$	0,4	0,8	0,05	3,0	1,5	1,0	0,3	1,0	0,7	3,5
$d_{50}$	0,8	1,5	0,2	8,0	4,5	2,5	0,8	3,0	1,8	9,0
$d_{60}$	1,1	2,1	0,4	12,0	6,0	4,5	1,3	3,5	2,1	11,0

Размеры частиц водоносной породы, мм	№ варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$d_{10}$	0,35	2,5	6,0	0,2	0,06	1,5	0,5	0,02	0,1	1,8
$d_{50}$	1,0	4,8	9,0	0,5	0,25	3,0	1,8	0,2	0,45	4,5
$d_{60}$	1,2	5,6	12,0	0,6	0,3	3,5	2,0	0,25	0,6	6,0

Размеры частиц водоносной породы, мм	№ варианта									
	21	22	23	24	25	26				
$d_{10}$	0,3	0,1	0,03	0,6	2,6	8,0				
$d_{50}$	0,8	0,4	0,2	1,9	4,6	9,2				
$d_{60}$	1,2	0,55	0,25	2,1	5,0	11,0				

## ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА И РАЗВЕДОЧНОЙ СКВАЖИНЫ

Показатели	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Отметка статического уровня, м	13,0	19,2	15,1	26,2	7,3	22,3	9,3	9,8	5,8	5,6
Понижение уровня, м	3,0	5,2	4,1	3,5	7,0	6,5	7,8	4,9	9,2	8,0
Дебит, м <sup>3</sup> /ч	16,0	54,0	16,0	40,0	65,0	50,0	70,0	45,0	90,0	105,0
Потребность заказчика в воде, м <sup>3</sup> /ч	64,0	200,2	65,0	150,0	200,0	240,0	227,0	190,0	350,0	350,0
Расстояние от площадки очистных сооружений до водозабора, км	2,1	11,5	8,0	5,5	4,2	3,5	2,6	3,0	7,5	1,5

Показатели	№ варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Отметка статического уровня, м	35,0	20,5	25,0	20,4	6,0	19,6	24,0	8,3	19,8	28,0
Понижение уровня, м	7,1	3,0	4,0	6,5	17,5	5,1	6,8	5,0	4,2	8,1
Дебит, м <sup>3</sup> /ч	70,0	30,0	65,0	50,0	72,0	40,0	65,0	18,0	24,0	80,0
Потребность заказчика в воде, м <sup>3</sup> /ч	220,0	110,0	290,0	290,0	250,0	130,0	190,0	70,0	45,0	210,0
Расстояние от площадки очистных сооружений до водозабора, км	1,6	5,5	21,5	15,0	4,0	2,5	2,2	6,0	7,5	4,6

Показатели	№ варианта					
	21	22	23	24	25	26
Отметка статического уровня, м	13,0	22,0	10,7	9,3	20,2	10,0
Понижение уровня, м	7,4	8,0	15,0	5,0	5,3	7,0
Дебит, м <sup>3</sup> /ч	72,0	50,0	65,0	60,0	56,0	80,0
Потребность заказчика в воде, м <sup>3</sup> /ч	250,0	290,0	340,0	330,0	260,0	195,0
Расстояние от площадки очистных сооружений до водозабора, км	3,8	6,1	12,0	3,9	2,3	4,1

*Учебное издание*

СОФИНСКАЯ Ольга Сергеевна

## ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Учебно-методический комплекс  
для студентов специальности 1-70 04 03  
«Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Редактор *О. П. Михайлова*  
Дизайн обложки *А. Н. Парфёновой*

---

Подписано в печать 12.05.2014. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 15,31. Уч.-изд. л. 14,23. Тираж 30 экз. Заказ 596.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/494255 от 08.05.2014.

Ул. Блохина, 29, 211440 г. Новополоцк.