

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

Кафедра водоснабжения, химии и экологии

А. М. РАТНИКОВА, О. К. НОВИКОВА

ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Учебное пособие

Гомель 2025

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра водоснабжения, химии и экологии

А. М. РАТНИКОВА, О. К. НОВИКОВА

ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего образования
непрерывной образовательной программы высшего образования
по специальности «Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений»*

Гомель 2025

УДК 628.11(075.8)
ББК 38.761.2
Р73

Рецензенты: кафедра водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета (заведующий кафедрой – канд. техн. наук, доцент *С. В. Андреюк*); заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения Белорусского национального технического университета канд. техн. наук, доцент *В. Л. Грузинова*

Ратникова, А. М.

Р73 Водозаборные сооружения : учеб. пособие / А. М. Ратникова, О. К. Новикова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2025. – 253 с.
ISBN 978-985-891-211-6

Содержит основные сведения об источниках водоснабжения, дана классификация водозаборных сооружений, а также указаны рекомендации по выбору различных типов водозаборов в зависимости от условий приема воды из источника и категории надежности проектируемой системы водоснабжения. Приведены рекомендации по проектированию сооружений для забора воды из поверхностных и подземных источников. Изложена методика определения основных расчетных параметров элементов водозаборных сооружений для их конструирования и выбора основного и вспомогательного технологического оборудования в соответствии с действующими техническими нормативными правовыми актами и технической литературой. Достаточное внимание уделено санитарному благополучию населенных мест в виде рекомендаций по устройству зон санитарной охраны.

Предназначено для студентов специальности 7-07-0732-02 «Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений».

**УДК 628.11(075.8)
ББК 38.761.2**

ISBN 978-985-891-211-6

© Ратникова А. М., Новикова О. К., 2025
© Оформление. БелГУТ, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ИСТОЧНИКИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ	7
1.1 Общая характеристика источников водоснабжения.....	7
1.1.1 Классификация источников водоснабжения	7
1.1.2 Требования к выбору источников водоснабжения	8
1.2 Охрана источников водоснабжения.....	9
1.2.1 Влияние деятельности человека на состояние природных источников водоснабжения.....	9
1.2.2 Охрана источников водоснабжения от загрязнения и истощения.....	10
1.2.3 Искусственное пополнение запасов подземных вод	11
2 СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАБОРА ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	15
2.1 Общая характеристика поверхностных источников.....	15
2.1.1 Общая характеристика поверхностных вод.....	15
2.1.2 Условия питания и сток рек	16
2.1.3 Оценка уровневого режима источника	17
2.1.4 Наносы.....	18
2.1.5 Термический и ледовый режимы	19
2.1.6 Деформация русла реки.....	22
2.1.7 Цветение и обрастание водотоков.....	23
2.1.8 Условия забора воды из поверхностных источников	25
2.2 Назначение и классификация водозаборных сооружений.....	27
2.2.1 Назначение водозаборных сооружений.....	27
2.2.2 Классификация водозаборных сооружений	28
2.2.3 Требования, предъявляемые к водозаборам	29
2.2.4 Выбор места расположения водозабора	30
2.3 Типы и схемы водозаборных сооружений	31
2.3.1 Выбор типа водозаборного сооружения	31
2.3.2 Определение производительности водозабора	32
2.3.3 Схемы водозаборных сооружений	33
2.3.4 Береговые водозаборы.....	35
2.3.5 Русловые водозаборы	38
2.3.6 Ковшевые водозаборы.....	41
2.3.7 Водозаборные сооружения на каналах	47
2.3.8 Водозаборные сооружения на водохранилищах	50
2.3.9 Водозаборные сооружения на озерах.....	52
2.4 Сороудерживающие решетки и сетки	53
2.4.1 Конструктивные особенности и типовые размеры	53
2.4.2 Определение размеров водоприемных окон. Подбор решеток.....	64
2.4.3 Подбор сеток	65
2.4.4 Гидравлический расчет устройства защиты сеток от прорыва.....	68

2.5	Водоприемники	69
2.5.1	Классификация водоприемников	69
2.5.2	Конструктивные особенности оголовков	70
2.5.3	Затопленные оголовки	71
2.5.4	Затопляемые и незатопляемые оголовки	76
2.5.5	Проектирование и расчет оголовков	78
2.6	Самотечные и сифонные водоводы	82
2.6.1	Характеристика самотечных и сифонных водоводов	82
2.6.2	Проектирование и расчет самотечных и сифонных водоводов	84
2.6.3	Расчет потерь напора в самотечных водоводах	86
2.6.4	Устойчивость самотечных водоводов на всплытие	87
2.7	Вспомогательное оборудование	89
2.7.1	Приемные сетки и воронки для всасывания и излива	89
2.7.2	Задвижки и клапаны	91
2.7.3	Грузоподъемное оборудование	92
2.8	Насосные станции I подъема	97
2.8.1	Характеристика насосного оборудования	97
2.8.2	Проектирование насосных станций I подъема	97
2.9	Обслуживание водозаборных сооружений	103
2.9.1	Промывка сеток и решеток	103
2.9.2	Промывка самотечных водоводов	106
2.9.3	Удаление осадка из водозаборных камер	109
2.9.4	Мероприятия по борьбе с наносами	114
2.9.5	Мероприятия по борьбе с шуголедовыми явлениями	118
2.9.6	Мероприятия по борьбе с биологическими обрастаниями и водорослями	122
2.9.7	Рыбозащитные мероприятия	123
2.10	Конструирование водозабора	131
2.10.1	Конструирование береговых колодцев	131
2.10.2	Определение отметок уровней воды в береговом водоприемном ко- лодце	132
2.10.3	Определение отметки дна в береговом водоприемном колодце	133
2.10.4	Определение строительных размеров водозабора	136
3	СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАБОРА ВОДЫ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ	138
3.1	Проектирование водозаборных сооружений подземных вод	138
3.1.1	Состав и стадии проекта	138
3.1.2	Исходные данные для проектирования	139
3.1.3	Необходимая степень разведанности подземных вод для проектирова- ния водозаборов	140
3.2	Типы сооружений для забора воды из подземных источников водоснабжения	143
3.2.1	Классификация подземных источников водоснабжения	143
3.2.2	Основные типы водозаборных сооружений, их конструктивные осо- бенности и условия применения	146
3.2.3	Состав и схемы водозаборных сооружений	150
3.2.4	Выбор водоносного пласта и места расположения водозабора	152
3.3	Водозаборные скважины	155
3.3.1	Конструкции водозаборных скважин и их оборудование	157

3.3.2 Основные параметры водозаборных скважин.....	160
3.4 Гидрогеологические расчеты водозаборных скважин	162
3.5 Водоприемная часть скважин.....	174
3.5.1 Фильтры водозаборных скважин.....	174
3.5.2 Определение размеров фильтров	184
3.5.3 Бесфильтровые скважины	190
3.6 Оборудование скважин	193
3.6.1 Водоподъемное оборудование.....	193
3.6.2 Оборудование скважин насосами и арматурой.....	197
3.6.3 Типы и конструкции надскважинных павильонов	199
3.7 Конструкции и методы бурения водозаборных скважин.....	202
3.7.1 Выбор и расчет конструкции скважины	202
3.7.2 Выбор способов бурения водозаборных скважин.....	206
3.7.3 Крепление скважины	213
3.8 Сборные водоводы на водозаборах подземных вод	214
3.8.1 Схемы сборных водоводов	214
3.8.2 Напорные и сифонные сборные водоводы	217
3.9 Горизонтальные водозаборы	220
3.9.1 Область применения и конструкции	220
3.9.2 Конструирование горизонтальных водозаборов	224
3.9.3 Расчет горизонтальных водозаборов.....	226
3.10 Лучевые водозаборы	230
3.10.1 Типы лучевых водозаборов.....	231
3.10.2 Конструирование лучевых водозаборов	231
3.10.3 Расчет лучевых водозаборов.....	234
3.11 Шахтные колодцы и каптажи	236
3.11.1 Конструирование и расчет шахтных колодцев	236
3.11.2 Каптаж родников	239
4 ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ	241
4.1 Содержание проекта зон санитарной охраны	241
4.2 Зоны санитарной охраны поверхностных источников водоснабжения.....	242
4.3 Зоны санитарной охраны подземных источников водоснабжения и водозаборных сооружений	245
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	249
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	252

ВВЕДЕНИЕ

Водозаборные сооружения являются первым элементом системы водоснабжения населенного пункта. От правильно принятых решений при проектировании, строительстве и эксплуатации этих сооружений будет зависеть надежность подачи воды определенного качества конечному потребителю, поэтому проектирование водозаборных сооружений производится на основании многолетних гидрологических, геологических и топографических изысканий.

Воды различных источников отличаются как химическим составом, так и объемами. Забираемая вода по своему химическому составу должна в наибольшей степени соответствовать требованиям потребителя к качеству воды. Источник и место расположения водозабора выбирается на основании технико-экономических расчетов по капитальным и эксплуатационным затратам с учетом гидрогеологических условий, мощности водоисточника, возможных методов водоподготовки, возможности обеспечения зон санитарной охраны. От того, насколько успешно составлен проект водозаборного сооружения, во многом зависит экономичность всей системы водоснабжения. Это обуславливает важность как выбора источника водоснабжения, типа и схемы водозаборных сооружений, так и оценки их влияния на окружающую среду.

Учебное пособие предназначено для приобретения необходимых знаний и навыков в проектировании водозаборных сооружений из поверхностных и подземных источников. Оно составлено с использованием последних достижений научных исследований отечественного и зарубежного опыта, на основании информационно-справочных данных по оборудованию и материалам для систем водоснабжения и действующих в Республике Беларусь нормативных правовых актов, а также иллюстрационного и теоретического материала, изложенного в работах ведущих специалистов в области водоснабжения: А. Д. Гуриновича, В. Н. Ануфриева, В. В. Ивашечкина, Б. Н. Житенева, М. Г. Журбы, Л. И. Соколова, М. А. Сомова, А. М. Курганова, Е. Э. Вуглинской, Е. В. Орлова.

1 ИСТОЧНИКИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

1.1 Общая характеристика источников водоснабжения

1.1.1 Классификация источников водоснабжения

Природные источники делят на две основные группы:

- поверхностные источники,
- подземные источники.

Особое место занимают атмосферные воды – это атмосферные осадки, которые собирают в искусственных сооружениях, например, резервуарах-цистернах.

К **поверхностным источникам** относятся:

- *водотоки* – реки, каналы;
- *водоемы* – озера, водохранилища, пруды, моря.

К **подземным источникам** по условиям залегания относятся:

- *верховодка*;
- *грунтовые воды*;
- *межпластовые воды*.

Подземные воды обычно надежнее в санитарном отношении и являются наиболее приемлемыми источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Преимущества и недостатки поверхностных и подземных источников водоснабжения приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Источники водоснабжения

Источник водоснабжения	Преимущества	Недостатки
Поверхностный	Доступность и небольшие затраты на подачу воды. Минимальное содержание солей и низкая жесткость. Возможность забора большого количества воды	Загрязнен (в особенности бактериально). Колебания температур и качества по периодам года. Незащищен при чрезвычайных ситуациях и экологических катастрофах
Подземный	Высокая степень чистоты, в том числе бактериальной. Постоянство температур и других показателей. Санитарная надежность. Защищенность от факторов массового поражения	Затраты на подъем воды. Ограниченный дебит. Глубокое залегание (труднодоступность). Содержит железо, соли, имеет повышенную жесткость

1.1.2 Требования к выбору источников водоснабжения

Выбор источника питьевого водоснабжения следует осуществлять в соответствии с требованиями кодекса [1] и действующих ТНПА.

Для выбора источника водоснабжения проводятся топографические, гидрологические (для поверхностных вод), гидрогеологические (для подземных вод), химико-санитарные изыскания.

Обследование поверхностных источников включает:

- гидрологические и гидрометрические данные (режим стока, расходы воды, сроки ледостава);
- санитарную характеристику местности (почвы, леса, сельхозугодий, населенных пунктов, предприятий, сбросы сточных вод, лесосплав);
- характеристику самоочищающей способности источника.

Основные требования при выборе источника водоснабжения:

- обеспечение необходимых потребителю расходов воды с учетом перспективного развития объектов;
- заданная степень надежности снабжения водой потребителей;
- обеспечение качества воды, наилучшим образом соответствующей требованиям потребителей, либо позволяющей достичь такого качества после очистки;
- в случае отбора воды из поверхностного источника обеспечение ниже места отбора гарантированного расхода воды, необходимого для удовлетворения потребностей ниже расположенных населенных мест, предприятий, сельского хозяйства, рыбного хозяйства, судоходства и т. п.;
- отбор воды из источника не должен ухудшать экологическую обстановку;
- экономические требования – минимальные затраты при строительстве и эксплуатации.

Также при выборе источника водоснабжения необходимо учитывать следующие **факторы**:

- расходный режим и водохозяйственный баланс источника с прогнозом на 15– 20 лет;
- качественную характеристику воды в источнике и прогноз возможного ее изменения;
- качественные и количественные характеристики наносов и сора, их режим перемещения;
- устойчивость берегов;
- наличие вечномёрзлых грунтов;
- возможность промерзания и пересыхания источника;
- наличие снежных лавин и селевых явлений, а также других стихийных явлений;

- осенне-зимний режим источника и характер шуголедовых явлений в нем;
- колебание температуры воды в источнике по месяцам года на различной глубине;
- характер прохождения весенне-летних паводков.

При наличии нескольких возможных источников водоснабжения выбор производится путем технико-экономического сравнения вариантов.

Подземные воды принимаются в качестве источников для хозяйственно-питьевого водоснабжения, а для технических нужд их можно использовать только при обосновании.

У одного потребителя может быть несколько источников водоснабжения.

Соответственно типу водоисточника водозаборы также делятся на поверхностные и подземные.

1.2 Охрана источников водоснабжения

1.2.1 Влияние деятельности человека на состояние природных источников водоснабжения

Хозяйственная деятельность людей оказывает значительное влияние на состояние источников водоснабжения – на количество и качество воды, получаемой из этих источников.

Так как природные воды используются не только для водоснабжения, но и в других целях (орошение, гидроэнергетика, водный транспорт и т. д.), то из источника может осуществляться как отбор воды (водоснабжение, орошение) – *водопотребление*, так и использование водного объекта без отбора воды (гидроэнергетика, водный транспорт) – *водопользование*.

Крупные водопотребители и водопользователи в настоящее время часто не могут удовлетворять свои потребности, используя реки в их естественном состоянии. Например, для целей гидроэнергетики обычно осуществляется регулирование речного стока путем устройства плотин и образования водохранилищ, что дает возможность сезонного регулирования уровня воды.

Иногда регулирование необходимо для нормальной работы крупных предприятий, а также для орошения.

Качество воды природных водных объектов формируется под влиянием комплекса факторов *естественного* и *антропогенного* происхождения.

Факторы естественного происхождения, как правило, обусловлены природным содержанием отдельных загрязняющих веществ в воде и почве. К таким веществам относятся железо и марганец, реже барий, кремний и бор. В бассейнах рек Республики Беларусь такими веществами являются железо, марганец и медь. Почти повсеместно содержание железа в подземных водах республики превышает нормы, установленные для питьевого водоснабжения.

К группе **факторов антропогенного воздействия** относятся:

- сброс хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод;
- вынос загрязняющих веществ поверхностными, грунтовыми и сточными водами с урбанизированных и сельскохозяйственных территорий;
- поступление загрязняющих веществ от рассредоточенных на водосборной площади бассейнов рек животноводческих комплексов, складов хранения ядохимикатов, минеральных удобрений, нефтепродуктов и других экологически опасных объектов;
- выпадение загрязненных атмосферных осадков;
- трансграничный перенос загрязняющих веществ.

1.2.2 Охрана источников водоснабжения от загрязнения и истощения

Согласно «Стратегии в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2035 года» [10] для повышения эффективности использования и охраны водных ресурсов и улучшения их качества могут быть проведены следующие мероприятия:

- реализация мероприятий по улучшению экологического состояния (статуса) поверхностных водных объектов, включая мероприятия по снижению антропогенной нагрузки на водные объекты;
- повышение эффективности очистки сточных вод на коммунальных очистных сооружениях за счет их реконструкции и модернизации;
- сокращение площадей и вывод из эксплуатации полей фильтрации;
- завершение разработки и реализация планов управления речными бассейнами, контроль диффузных источников загрязнения вод и режимов водохранных зон;
- заключение соглашений по охране и использованию трансграничных вод с сопредельными государствами (Латвийская Республика и Литовская Республика);
- проведение исследований взаимосвязи поверхностных и подземных вод в условиях изменяющегося климата;
- оценка региональных и локальных запасов и химического состава пресных подземных вод;
- повышение эффективности водопользования за счет сокращения удельного водопотребления, непроизводительных потерь воды и внедрения водосберегающих технологий, увеличения объемов повторного использования очищенных сточных вод, в том числе поверхностных сточных вод.

В результате проводимой государственной политики в области использования и охраны вод, а также в связи с переходом на применение наилучших доступных технических методов за последние 18 лет сократились объемы добычи (изъятия) вод на 20 % из подземных водных объектов и на 16 % из поверхностных водных объектов.

1.2.3 Искусственное пополнение запасов подземных вод

Интенсивная и длительная эксплуатация сооружений для забора воды из подземных источников может привести к снижению их производительности, а также к истощению запасов подземных вод. Одним из вариантов решения этой проблемы может быть *искусственное пополнение запасов подземных вод*, которое заключается в том, что поверхностные воды путём инфильтрации переводятся в подземные. Использование метода искусственного пополнения позволяет увеличивать производительность водозаборов подземных вод, предохранять эксплуатируемый водоносный горизонт от истощения, загрязнения и засоления, предотвращать нежелательное понижение уровня 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. В качестве источников пополнения, как правило, используются реки, озёра и водохранилища. Принципиальная схема сооружений искусственного пополнения подземных вод приведена на рисунке 1.1.

Система искусственного пополнения запасов подземных вод включает в себя сооружения для забора воды из источника пополнения (1 и 2), предварительной ее подготовки 3, инфильтрационные сооружения 4, через которые происходит инфильтрация воды в водоносный пласт. Забор подземных вод может производиться любым предназначенным для этого сооружением (скважинами, горизонтальными водосборами и т. п.), однако чаще всего используют скважины 5. Из скважин вода поступает в резервуар чистой воды 7. Если качество подземной воды не соответствует требованиям, то в схему включают сооружения водоподготовки 6 и обеззараживания воды 9.

Схемы искусственного пополнения подземных вод с размещением всего комплекса сооружений на одной площадке бывают с линейным однорядным и двухрядным расположением инфильтрационных сооружений (бассейнов).

Такие схемы целесообразно применять:

- для увеличения производительности существующего водозабора;
- увеличения запасов подземных вод в районе вновь проектируемого водозабора;
- уменьшения протяженности каптажных сооружений в условиях, когда водопроницаемые породы характеризуются песчаными или гравийно-галечниковыми отложениями достаточной мощности при общей толщине покровных слабопроницаемых слоёв не более четырёх метров.

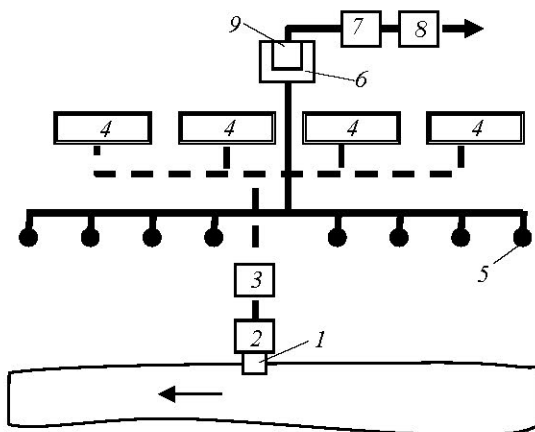


Рисунок 1.1 – Схема сооружений искусственного пополнения подземных вод:

1 – водозабор из поверхностного источника; 2 – насосная станция первого подъема; 3 – сооружения предварительной подготовки воды (при необходимости); 4 – инфильтрационные бассейны; 5 – скважины; 6 – сооружения очистки подземных вод; 7 – резервуар чистой воды; 8 – насосная станция второго подъема; 9 – установка для обеззараживания воды

При проектировании систем искусственного пополнения подземных вод осуществляется:

- выбор технологической схемы системы;
- выбор типа, конструкции, режима эксплуатации и способа регенерации инфильтрационных сооружений, определение их производительности;
- определение необходимой степени подготовки воды из источника пополнения, схемы и состава очистных сооружений с учётом прогнозирования качества воды в водозаборах подземных вод.

Проектирование устройств для забора воды из источника пополнения и её транспортирования, сооружений предварительной и последующей обработки воды, резервуаров чистой воды, насосных станций и водоводов производится так же, как и проектирование соответствующих сооружений в обычных (без пополнения) системах хозяйственно-питьевого водоснабжения, использующих поверхностные и подземные воды.

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 может включать в свой состав инфильтрационные сооружения различных типов.

Бассейны представляют собой искусственные углубления в виде котлованов и траншей со спланированным дном и откосами.

Часто бассейны образуются системой дамб и насыпей с относительно небольшой выемкой грунта.

Преимуществами бассейнов, сооружаемых в песках и гравийно-галечниковых отложениях с мелким заполнителем или имеющих искусственную песчаную загрузку дна, является высокая надёжность обеспечения необходимого количества и качества воды, практически неограниченный срок службы, хорошо отработанные приёмы устройства и эксплуатации. Для бассейнов характерны: подготовка воды перед подачей её на фильтрацию, достаточно высокое качество чистки бассейнов, и, как правило, их круглогодичная эксплуатация.

Инфильтрационные бассейны имеют прямоугольную форму в плане и трапециoidalное, реже прямоугольное, поперечное и продольное сечение.

На крупных установках искусственного пополнения подземных вод применяются бассейны шириной по дну 15–30 м и длиной 200–400 м.

Глубина бассейна зависит от геологических, топографических и климатических условий и обычно не превышает 3–4 м (чаще до 2,5 м).

При наличии слабопроницаемых покровных отложений днища бассейнов врезаются в хорошо фильтрующие породы на глубину не менее 0,3 м. Общая глубина бассейна от днища до верха откоса превышает глубину его наполнения не менее чем на 0,5 м.

Инфильтрационные бассейны устраиваются как без загрузки дна, так и с загрузкой (песчаной или гравийной). Под дном бассейна могут укладываться дренажные трубы с последующей их обсыпкой слоями гравия и песка общей мощностью не менее 2,0 м.

Песчаная и гравийная загрузка дна предусматривается при сооружении бассейнов в гравийно-галечниковых отложениях. Толщина песчаной загрузки составляет 0,5–0,8 м при крупности зёрен 0,5–2 мм, а толщина гравийной загрузки 0,3–0,5 м при крупности зёрен 3–8 мм. Вода в инфильтрационные бассейны подаётся при помощи одного или двух водовыпусков, а также аэрационных каскадов или разбрызгивающих сопел.

Инфильтрационные каналы имеют большую длину, чем бассейны, и общее их число в составе системы искусственного пополнения оказывается обычно малым, что снижает маневренность системы искусственного пополнения 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, исключающих или затрудняющих устройство бассейнов. По конструкции они сходны с ирригационными системами.

В последнее время получило распространение искусственное пополнение подземных вод дождеванием отведённых под инфильтрацию площадей при помощи устройств и механизмов, применяемых для орошения сельскохозяйственных земель.

Закрытые инфильтрационные сооружения (поглощающие скважины и галереи, шахты, колодцы, шурфы) по сравнению с открытыми сооружениями обладают *преимуществами*:

- имеют возможность пополнения относительно глубоко залегающих водоносных горизонтов или первого от поверхности земли водоносного пласта, прикрытого сверху мощным водоупорным слоем;

- практически не зависят от климатических условий и др.

К их *недостаткам* можно отнести:

- высокие требования к качеству подаваемой в них воды;

- создание больших инфильтрационных поверхностей;

- затруднительность восстановления их фильтрующей способности.

Применение закрытых инфильтрационных сооружений рекомендуется лишь в тех случаях, когда нет возможности использовать инфильтрационные сооружения открытого типа.

2 СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАБОРА ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

2.1 Общая характеристика поверхностных источников

2.1.1 Общая характеристика поверхностных вод

Водность рек и озер в той или иной местности из года в год меняется в зависимости от климатических и погодных условий. Меняется она также 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 адюмикатов, 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 воды. 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 км³. 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.

2.1.2 Условия питания и сток рек

Вода в реки может поступать из разных источников. В зависимости от климатических параметров местности можно выделить следующие **типы питания рек**:

- *дождевое* – характерно для рек экваториальной, тропических и муссонных областей, там, где выпадает большое количество осадков;
- *ледниковое* – получают реки, начинающиеся в высоких покрытых ледниками горах;
- *снеговое* – имеют реки умеренного климата с холодными снежными зимами;
- *подземное*, т. е. реки пополняются подземными водами – имеют реки в тропических широтах, где атмосферных осадков выпадает мало;
- *смешанное* – характерно для рек, имеющих несколько источников питания.

Для рек Беларуси характерен смешанный тип питания, включающий снеговое (весной), дождевое (осенью) и подземное (летом и зимой).

Режимом реки называется 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.

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 затопливают значительные площади земель вдоль рек, 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:

- продолжительность;
- величина характерных уровней и расходов;
- даты наступления и окончания фазы.

Наряду со средними значениями этих характеристик необходимо знать и их возможные колебания за многолетний период.

2.1.3 Оценка уровневого режима источника

Гидравлика речного потока подвержена изменению во времени и пространстве.

Пространственные изменения вызываются различием формы русла по длине реки, уклонами водной поверхности, наличием поймы и ее высотой, типом руслового процесса, величиной речного стока и другими факторами.

Изменения в году связаны с сезонными колебаниями природных процессов.

Гидрометрические наблюдения за уровнями воды в расчетном створе – явление достаточно редкое. Поэтому наиболее часто встречающийся случай – когда необходимо установить самый низкий или самый высокий уровень воды в расчетном створе, продолжительность стояния уровней воды той или иной гидрологической фазы.

При выборе в качестве источника водоснабжения поверхностных вод обеспеченность их среднемесячных или среднесуточных расходов, а также максимальных и минимальных уровней воды должна приниматься в зависимости от требований надежности подачи воды соответственно характеристике водопотребителей по данным, приведенным в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – 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 воды, %	
		максимального	минимального
I	95	1	97
II	90	2	95
III	80	3	90

Уровневый режим водоемов отличается от режима рек меньшей изменчивостью амплитуды колебаний уровней воды, абсолютной величиной амплитуды и зависит от притока воды к водоему. Информация об обеспеченных уровнях воды может быть получена на основании водного баланса водоема.

При расчете уровней водоемов возникает проблема оценки денивеляционных и сейшевых искажений естественных уровней воды. При большой

площади и плоской форме озерного ложа и малых глубинах за счет фронта разгона ветровой волны с наветренной стороны образуется нагон, называемый **денивелицией**. Чем больше акватория водоема, тем больше степень проявления воздействия ветра на поверхностные слои воды, за счет чего они увлекаются в направлении движения воздушного потока. Величина денивелиционного искажения уровня воды, как и других гидрологических характеристик, точнее всего определяется наблюдениями в створе водозабора.

Оценка высоты ветрового нагона принимается по натурным наблюдениям. При отсутствии наблюдений для ориентировочного определения высоты волны могут быть использованы эмпирические зависимости.

Сейши – колебания всей массы воды водоема без распространения волны на поверхности. Поверхность водоема за счет перемещения всей массы вокруг некоторой горизонтальной и неподвижной оси создает уклон то в одну, то в другую сторону. За счет этого то у одного, то у другого берега периодически изменяются уровни воды. Причиной возникновения *сейшей* являются метеорологические факторы (резкие изменения атмосферного давления в различных частях водоема, резкие скачки скорости и направления ветра, возникающего при прохождении циклонов), которые даже незначительно, но, строго периодически изменяя импульсы, попадая в резонанс с колебаниями водной массы водоема, постепенно раскачивают массу воды.

2.1.4 Наносы

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

В зависимости от характера движения в потоке речные наносы подразделяются на взвешенные и 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*, кг/м³. 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. Заторы возникают на отдельных участках русла. При прорыве затора по реке проносится селевой поток, насыщенный наносами и обладающий большой разрушительной силой. Заторы повторяются. Таким образом, сель 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.

2.1.5 Термический и ледовый режимы

Температура относится к числу наиболее универсальных экологических факторов, т. к. в отличие от многих элементов среды является неустранимым фактором. Температура влияет на многие процессы в гидросфере, в водной среде играет роль условного сигнала, воздействует на структуру живого, влияет на уровень метаболизма, условия дыхания, изменяет активность ферментов, скорость роста, темп воспроизводства популяций и др.

В природных водах температура колеблется от минус 7,75 °С (некоторые сильно минерализованные озера) до 96,3 °С (горячие ключи).

Термический режим водных объектов определяется:

- географическим положением;
- глубиной;
- особенностями циркуляции водных масс и другими факторами.

Поступление тепла в водном объекте зависит главным образом от проникновения солнечной радиации и контакта с более нагретой атмосферой. Известную роль играет также тепло осадков, берегов и то, которое образуется

во время перехода воды из жидкого состояния в твердое. Охлаждение воды происходит в результате испарения, лучеиспускания, контакта с менее нагретыми слоями атмосферы и берегами, за счет поступления холодных осадков и поглощения тепла во время таяния льда.

Как правило, с продвижением из низких в высокие широты водоемы становятся более холодными и менее термостабильными, в самых высоких широтах колебания температуры воды снова уменьшаются. В пределах одного водоема заметные изменения температуры прослеживаются на поверхности, с погружением в глубину температурные колебания выражены не столь сильно.

В условиях умеренного климата температура воды в реках изменяется по сезонам года. Вследствие турбулентного характера течения в реках наблюдается непрерывное перемешивание водных масс, что способствует выравниванию температуры воды в живом сечении реки. Однако температура воды в разных точках живого сечения неодинакова. Различия температуры могут быть вызваны интенсивным притоком подземных вод, влиянием вод притоков, малым водообменом между поверхностными и глубинными слоями или питанием реки озерными водами.

В озерах и прудах основным фактором, определяющим распределение по глубине температуры воды, является ее плотность.

Летом поверхностный слой воды более теплый, чем глубинный, зимой – наоборот. Переход от более к менее нагретым слоям часто происходит не постепенно, а скачкообразно, и между ними образуется слой так называемого *температурного скачка*, или *термоклин*.

Расслоение воды на теплые и холодные называется *температурной стратификацией*, а различие в температуре – *температурной дихотомией*.

Различают *прямую стратификацию*, когда более легкие теплые слои остаются на поверхности, располагаясь над тяжелыми холодными (летом), и *обратную*, когда в придонном слое более теплая вода (зимой), так как непосредственно подо льдом температура поверхностных вод меньше 4°C , и они в силу физико-химических свойств воды становятся более легкими, чем вода с температурой выше 4°C . В большинстве озер летом и зимой наблюдается резко выраженная температурная дихотомия, в результате которой образуется стратификация и нарушается вертикальная циркуляция воды. Такой период застоя называется *стагнацией*.

Весной холодная поверхностная вода нагревается до 4°C , становится более плотной и погружается вглубь, снизу поднимается более теплая вода. Происходит выравнивание температурных градиентов при интенсивной вертикальной циркуляции водных масс, называемое *гомотермией*, когда температура во всей массе воды становится 4°C . Дальнейшее повышение температуры поверхностных вод приводит к тому, что они становятся менее плотными, остаются на поверхности, прогреваются все больше, и

наблюдается температурная дихотомия. Наступает *летняя стагнация*. Осенью поверхностные воды постепенно охлаждаются до 4 °С, становятся более плотными и начинают опускаться вглубь. Процесс перемешивания приводит к *осенней гомотермии*. Далее поверхностные воды охлаждаются ниже 4 °С, становятся менее плотными и остаются на поверхности. Осенняя циркуляция заканчивается, в водоеме вновь наблюдается температурная дихотомия и наступает *зимняя стагнация*.

В периоды стагнаций в толще воды образуется дефицит кислорода – летом в придонной части, а зимой и в верхней, вследствие чего в зимний период нередко происходят заморы рыбы.

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 составляет 3–7 дней;
- на больших – 8–15 дней.

В течение зимы толщина льда постепенно увеличивается и достигает 0,6–1,0 м на реках центральных и северных районов европейской части СНГ, на реках Сибири – 1,0–1,5 м.

Рост кристаллов внутреннего льда и их соединение в общую массу носит название **внутриводного льда**.

Разновидностью внутриводного льда является *донный лед* и *шуга*, находящиеся в потоке во взвешенном состоянии.

Зажор – это закупорка живого сечения реки в период установления ледостава массой внутреннего льда.

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.

По *характеру ледового режима* реки разделяются на четыре группы:

- с устойчивым ледоставом (большинство рек СНГ);
- неустойчивым ледоставом;
- отдельными ледовыми явлениями;
- отсутствием ледовых явлений.

Для рек с *устойчивым ледоставом* характерны три фазы ледового режима – замерзание, ледостав и вскрытие; для рек с *неустойчивым ледоставом* – замерзание, вскрытие и частично ледостав; для рек с *отдельными ледовыми явлениями* – частичное замерзание.

Весной в результате таяния снегов начинается вскрытие рек, за которым следует **ледоход**, который 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 ледохода очень тяжелые. Позднее вскрытие нижних участков этих рек препятствует ледоходу, и на вышерасположенных участках образуются **ледяные зажоры**, вызывающие значительные подъемы уровней воды, приводящие нередко к наводнениям.

2.1.6 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 подвержено постоянным изменениям (деформациям).

Основные **факторы**, определяющие характер русловых деформаций и формы речного русла:

- 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;
- 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.

2.1.7 Цветение и обрастание водотоков

Среди обилия микро- и макроскопической растительности и животного мира встречаются виды, затрудняющие прием воды из поверхностных источников, ее обработку и использование.

К наиболее распространенным явлениям такого характера относится *цветение воды* – массовое развитие в поверхностных слоях воды планктонных организмов.

Планктон (от греч. *planktos* – парящий, блуждающий) – это совокупность пелагических организмов, не обладающих способностью к быстрым и активным передвижениям, пассивно переносимых течением.

К планктону относятся:

- преимущественно микроскопические водоросли – фитопланктон;
- мелкие животные – зоопланктон и бактериопланктон.

Периодически включаются в состав планктона и парящие в толще воды личинки многих животных.

Планктонные организмы располагаются либо на поверхности воды, либо в толще ее, либо даже в придонном слое.

Фитопланктон населяет слои воды с достаточной освещенностью, *зоопланктон* и *бактериопланктон* – всю толщу воды.

Цветение наблюдается в весенний, летний и осенний периоды года практически во всех поверхностных источниках и особенно интенсивным является в поверхностных слоях непроточных водоемов (прудах, водохранилищах). Реки с большими скоростями течения цветут значительно реже. В вегетационный период количество планктона часто увеличивается настолько, что поверхность воды покрывается сплошной пленкой. Вода

приобретает окраску, неприятный запах и привкус. В некоторых случаях цветение воды может достигать такой степени, что водоем становится опасным в санитарном отношении.

При заборе воды, подверженной цветению, водоприемные устройства забиваются водорослями, покрываются органической слизью, что существенно затрудняет их эксплуатацию. Весной и осенью фитопланктон наиболее широко представлен *диатомовыми водорослями*, летом – сине-зелеными и протококковыми. Преобладающую часть зоопланктона составляют мельчайшие ракообразные и простейшие. Наиболее благоприятны для развития планктонных организмов верхние слои воды глубиной 2–3 м, а также участки водоемов с небольшими глубинами, хорошо прогреваемые солнечными лучами, и достаточным количеством органических питательных веществ, поступающих в воду с поверхностными сточными водами.

Развитие зоопланктона в меньшей степени зависит от температурного и светового факторов и в большей – от наличия питательных веществ. Он может населять всю толщу воды от ее поверхности до самых глубинных слоев. Эту закономерность развития и концентрации планктона следует учитывать и использовать для борьбы с цветением, не допуская в водоем, предназначенный к использованию в качестве источника водоснабжения, поступления органических питательных веществ, и прежде всего сточных вод, располагая водоприемные отверстия ниже толщи воды (2–3 м), в которой концентрируется основная масса планктонных водорослей.

Еще одним фактором, значительно осложняющим забор воды из поверхностных источников, являются **обрастания**, т. е. поселения водных организмов на твердых предметах, находящихся под водой, в том числе на водоприемных устройствах и внутренних поверхностях самотечных и сифонных водоводов. Качественный состав и интенсивность развития обрастаний зависят от физических и химических свойств воды. В водоемах, загрязненных бытовыми и некоторыми производственными сточными водами, образуются обрастания из нитчатых бактерий с длиной пряди до 10 см. Водозаборные сооружения и водоводы обычно заселяют более крупные животные организмы: мидии, мшанки, губки, гидроидные полипы, моллюски, морские желуди и т. д.

Интенсивность обрастаний колеблется в широких пределах: от нескольких миллиметров в год до 30–40 см, что сказывается на пропускной способности водоприемных устройств. Плотность их также довольно различна: от рыхлых, легко удаляемых при механическом воздействии, до сильно сцементированных, с трудом удаляемых ударными инструментами.

Воздействие обрастаний на поверхность, на которой они поселились, и окружающую воду также различно: от безвредного до механического и даже химического ее разрушения, например, морскими древоточцами и

камнеточцами. В результате жизнедеятельности обрастаний может меняться химический состав воды, приобретая агрессивные свойства по отношению к металлам.

Большинство из перечисленных водных организмов, образующих обрастания, развиваются в водах, содержащих 5–33 % солей, имеющих температуру в пределах 8–25 °С, т. е. в морской воде.

При выборе места расположения водоприемников следует учитывать, что поселяются водные организмы обрастаний колониями в акваториях, обеспечивающих наиболее благоприятные условия их развития: необходимую температуру, питательные вещества, и относительно быстро погибают при изменении температурного режима, солевого и химического состава, а также при загрязнении воды.

Заращение водоемов вызывается развитием высшей водной растительности. Заращение наблюдается во всех без исключения водоемах, в особенности в прибрежной полосе прудов, водохранилищ и озер. Из всех водных растений в процессе заращения первостепенное значение имеют полупогруженные и погруженные растения, интенсивно развивающиеся в зоне мелководья. Высшая водная растительность устойчива к изменению состава воды, ее жизнедеятельность ведет к большим потерям воды, ухудшает ее физико-химические свойства, уменьшает площади и объем воды в водоеме, ведет к его заболачиванию и значительно затрудняет забор воды, засоряя решетки, водоводы и береговые сетчатые колодцы. Эти факторы необходимо учитывать при проектировании водозаборов.

2.1.8 Условия забора воды из поверхностных источников

Основные показатели, характеризующие условия забора воды из источника водоснабжения, следующие:

- водность и глубина источника;
- уровенный режим;
- структура потока в месте расположения водозаборных сооружений;
- термический, гидробиологический и качественный режимы водных масс источника;
- устойчивость берегов и дна;
- ледовый режим;
- наличие шуги;
- режим наносов.

В зависимости от сочетания этих показателей условия забора воды из поверхностных источников принято делить на *легкие, средние, тяжелые и очень тяжелые* (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Условия забора воды из поверхностных источников [11]

Природные условия забора воды	Характеристика природных условий забора воды из поверхностных источников водоснабжения по факторам		
	мутность воды, устойчивость берегов и дна	наличие шуги и льда	другие факторы
Легкие	Мутность до 500 мг/дм ³ . Устойчивое ложе водоема и водотока	Отсутствие внутриводного ледообразования. Ледостав толщиной не более 0,8 м устойчивый	Малое количество загрязнений и сора. Отсутствие биообратателей, водорослей
Средние	Мутность до 1500 мг/дм ³ (средняя за паводок). Русло (побережье) и берега устойчивые, с сезонными деформациями до 0,3 м. Вдольбереговое перемещение наносов не влияет на устойчивость подводного склона постоянной крутизны	Наличие внутриводного ледообразования, преобладающего с установлением ледостава, как правило, без шугозаполнения русла и образования шугозаборов. Ледостав толщиной от 0,8 до 1,2 м устойчивый, формирующийся с полыньями	Наличие сора, водорослей, биообратателей и загрязнений в количествах, вызывающих помехи в работе водозабора, судоходство
Тяжелые	Мутность до 5000 мг/дм ³ . Русло подвижное, с переформированием берегов и ложа, вызывающим изменение отметок дна до 2 м. Наличие переработки берега с вдольбереговыми перемещениями наносов по склону переменной крутизны	Неоднократно формирующийся ледяной покров с шугоходами и шугозаполнением русла при ледоставе от 60 до 70 % сечения водотока, в отдельные годы – с образованием шугозаборов в предледоставные периоды и ледяных заторов – весной. Участки нижнего бьефа гидроэлектростанций расположены в зоне неустойчивого ледяного покрова	Наличие сора, водорослей, биообратателей и загрязнений в количествах, затрудняющих работу водозабора и водопроводных сооружений
Очень тяжелые	Мутность > 5000 мг/л, русло неустойчивое, систематически и случайно изменяющее свою форму. Интенсивная и значительная переработка берега. Наличие или вероятность оползневых явлений	Формирование ледяного покрова только при шугозаборах, вызывающих подпор; транзит шуги под ледяным покровом в течение большей части зимы. Возможность наледей и промерзания русла. Ледоход с заторами и с большими навалами льда на берега. Тяжелые шуголедовые условия при наличии приливов	-
Примечание – Общую характеристику природных условий забора воды определяют по фактору, вызывающему значительные затруднения забора воды.			

2.2 Назначение и классификация водозаборных сооружений

2.2.1 Назначение водозаборных сооружений

Водозаборные сооружения – это сложный гидротехнический комплекс, предназначенный для обеспечения с необходимой надёжностью забора расчётного расхода воды и подачи его потребителю, защиты системы водоснабжения от попадания в неё сора, планктона, наносов, льда, защиты молоди рыбы от попадания в водоприёмник.

Сооружения для забора воды из поверхностных источников в условиях Республики Беларусь используются преимущественно для технического водоснабжения.

Главное назначение водозаборных сооружений поверхностных вод – водоснабжение промышленных предприятий различных отраслей: теплоэнергетики, металлообработки, текстильной промышленности и др.

Состав сооружений для забора поверхностных вод:

- водоприёмник;
- водоводы (самотечные или сифонные);
- водоприёмный колодец;
- насосная станция;
- оборудование и арматура.

Водоприёмником называется часть водозаборного сооружения, служащая для непосредственного приема (забора) воды из источника.

Водоприёмные сооружения входят в число головных сооружений водопроводов и определяют надёжность работы всей системы. Водоприёмники вторгаются в природную водную среду, и их работа не должна наносить вред окружающей среде.

К *технологическому оборудованию* водозаборных сооружений относятся:

- сороудерживающие решетки;
- водоочистные сетки;
- сетки приемные на всасывающих трубопроводах;
- насосы с электродвигателями;
- подъемно-транспортное оборудование;
- задвижки и клапаны;
- рыбозащитные устройства.

К *вспомогательному оборудованию* водозаборов относятся:

- насосы, гидроэлеваторы или эжекторы для очистки береговых колодцев от наносов;
- вакуумные насосы;
- дренажные насосы;
- вентиляторы для создания искусственной циркуляции воздуха;
- грузоподъемные и транспортные устройства и приспособления для монтажа и демонтажа оборудования и коммуникаций;
- водомеры;

- электрооборудование, обычно работающее от двух независимых вводов электроэнергии;
- телемеханические устройства и приспособления для полного или частичного автоматического управления работой водозабора;
- обратные клапаны для поддержания напора в водоводах при внезапной остановке одного из насосов;
- предохранительные клапаны для защиты водоводов и коммуникаций от гидравлических ударов;
- компрессоры;
- устройства для промыва решеток, сеток, самотечных водоводов;
- шугозащитные устройства;
- реагентное хозяйство;
- устройства для электрообогрева и пареообогрева.

2.2.2 Классификация водозаборных сооружений

Сооружения для забора поверхностных вод классифицируются:

- *по виду источника водоснабжения*: из водотока (рек и каналов); из водоемов (озер, водохранилищ, водохранилищ-охладителей);
- *назначению*: для хозяйственно-питьевых нужд, производственных, нужд пожаротушения и др.;
- *категории надежности подачи воды*: 3 категории (таблица 2.3);

Таблица 2.3 – Категории надежности источников водоснабжения

Показатель	Категория		
	первая	вторая	третья
Количество жителей населенных пунктов, чел.	Свыше 50000	5000–50000	Менее 5000
Допустимое снижение подачи, %	30	30	30
Длительность снижения подачи, сут	3	10	15
Перерыв в подаче	10 мин	6 ч	24 ч

- *виду компоновки основных элементов*: совмещенные и отдельные;
- *месту расположения водоприемника*: береговые, русловые, выносные (на водоемах);
- *способу приема воды в водоприемник*: с верхним, боковым, нижним, лобовым и низовым приемом воды;
- *условию приема воды в водоприемник*: поверхностный, глубинный или селективный (послойный), донный;
- *положению водоприемника*: незатопленный, временно затопленный, затопленный;
- *стационарности водоприемника*: стационарные и нестационарные;

– *сроку эксплуатации*: постоянные, временные [11].

Наибольшее распространение получили *береговые* и *русовые* водозаборы. У береговых водозаборов водоприёмные отверстия всегда доступны для обслуживания, что важно для обеспечения бесперебойной подачи воды. У русловых водозаборов водоприёмные отверстия находятся на некотором расстоянии от берега. Они не всегда доступны для обслуживания, особенно в период ледостава и ледохода. Поэтому по надёжности подачи воды береговые водозаборы на категорию выше, чем русловые.

2.2.3 Требования, предъявляемые к водозаборам

Для нормальной работы водозабора необходимо выполнение следующих **основных требований**:

- обеспечение забора из водоисточника расчетного расхода воды и подачи его потребителю;
- защита системы водоснабжения от попадания в нее сора, планктона, наносов, ракушки, шуги и пр.;
- обеспечение природоохранных требований в части рыбозащиты;
- прочность, устойчивость и долговечность конструкции водозабора.

Водозаборные сооружения должны быть рассчитаны на эксплуатацию в обычных (при максимальном и минимальном уровнях воды в источнике с обеспеченностью от 90 до 97 %), а также редко повторяющихся условиях при следующих возможных **осложнениях**:

- образование внутриводного льда и шуги;
 - транспортирование наносов, сора, топляков;
 - судоходство, лесосплав, регулирование стока на ГЭС, отбор воды для других целей;
 - переформирование русла и побережья;
 - волнение, нагон сора и льда;
 - развитие ракушки, планктона, водорослей и т. п.
- При этом водозаборы должны быть:
- достаточно просты конструктивно;
 - экономичны;
 - надёжны;
 - не вызывать затруднений при эксплуатации.

Требования простоты конструкции и экономичности находятся в противоречии с требованием надёжности. Так, для обеспечения надёжной работы в перечисленных выше условиях необходимо строить более сложные сооружения. Способ решения проблемы – технико-экономическое сравнение нескольких вариантов.

2.2.4 Выбор места расположения водозабора

При выборе типа, конструктивной схемы и места расположения водозаборных сооружений необходимо учитывать:

- назначение водозабора и предъявляемые к нему требования;
- наличие в источнике необходимых глубин для размещения водозабора;
- соответствие качества воды в источнике 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, а также перспективы водохозяйственных мероприятий на данном водоисточнике;
- возможность наиболее простого и экономичного способа забора воды.

При выборе места расположения водозабора необходимо составлять и учитывать прогноз следующих показателей:

- качества воды в источнике;
- руслового процесса;
- ихтиологической обстановки;
- гидротермического режима.

Расположение водоприёмника водозабора **не допускается**:

- 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 подпёртых рек.

Место забора воды должно приниматься *выше по течению водотока*:

- выпусков сточных вод (с учетом возможного подпора и нагона воды против течения);
- населённых пунктов (с учетом перспективы развития);
- расположенных на берегу кладбищ и скотомогильников;
- стоянок судов;

- оврагов, ручьев, островов, балок;
- притоков с большим количеством наносов;
- товарно-транспортных баз и складов, лесных бирж и т. п.

На реках с лёгкими шуголедовыми условиями наиболее благоприятными для размещения водозабора являются участки вогнутого берега реки в зоне наибольших глубин русла. При этом предусматриваются мероприятия по сохранению и укреплению берегового откоса.

На реках с тяжёлыми шуголедовыми условиями наиболее благоприятными для размещения водозабора являются сравнительно прямолинейные участки, суженные участки реки с наибольшими глубинами либо участки сразу за излучинами.

Во всех случаях большие глубины являются благоприятным фактором для устройства водозабора, так как в этом случае повышается эффективность методов борьбы со льдом, наносами и т. п.

2.3 Типы и схемы водозаборных сооружений

2.3.1 Выбор типа водозаборного сооружения

Основные факторы, влияющие на выбор **типа и конструктивной схемы водозаборных сооружений**:

- 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 (влияет 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.

Наиболее широкое распространение получили водозаборы **берегового и руслового** типа, отличающиеся месторасположением водоприемника по отношению к берегу.

Влияние величины расхода воды, забираемой из реки, обычно учитывается по относительному водоотбору, выражаемому в долях минимального расчетного расхода воды в водотоке:

– при $Q_v / Q_{\min} \leq 0,25$ можно забирать воду из русла равнинного водотока с помощью самых простых и недорогих сооружений типа затопленного руслового водоприемника;

– при $0,25 < Q_v / Q_{\min} \leq 0,75$ требуются специальные водозахватные или руслорегулирующие сооружения.

2.3.2 Определение производительности водозабора

Производительность водозаборного сооружения, $\text{м}^3/\text{с}$,

$$Q_v = \frac{(1 + 0,01K_{\text{с.н}}) Q_{\text{сут}}^{\max}}{3600T}, \quad (2.1)$$

где $K_{\text{с.н}}$ – коэффициент, характеризующий затраты воды на собственные нужды водозаборного сооружения в процентах от $Q_{\text{сут}}^{\max}$, принимается равным 3–8, в зависимости от качества воды используемого источника и способа её обработки;

$Q_{\text{сут}}^{\max}$ – максимальный суточный расход, подаваемый из рассматриваемого источника потребителям, $\text{м}^3/\text{сут}$;

T – расчетная продолжительность работы водозабора в сутки наибольшего водопотребления, обычно принимается 24 ч, для небольших систем водоснабжения при двухсменной их работе – 16 ч.

Расчетный расход одной секции водозаборного сооружения, $\text{м}^3/\text{с}$, определяется по формуле

$$q_p = \frac{Q_v}{n_c}, \quad (2.2)$$

где n_c – общее число секций водозаборного сооружения ($n_c \geq 2$).

Расход воды в работающих секциях, $\text{м}^3/\text{с}$, в момент возникновения в одной из них аварии или в случае ремонта

$$q_{\text{ав}} = \frac{n_c}{n_c - 1} K_{\text{ав}} q_p, \quad (2.3)$$

где $K_{\text{ав}}$ – коэффициент, представляющий допустимое снижение подачи воды потребителям в период аварии в системе коммунального водоснабжения, $K_{\text{ав}} = 0,7$.

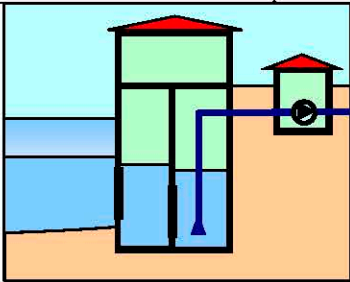
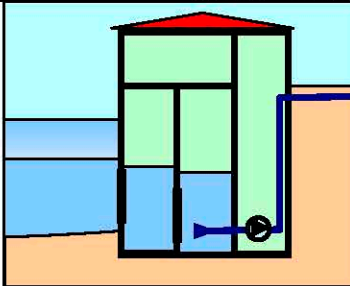
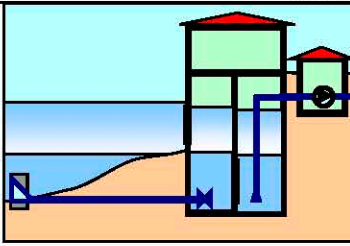
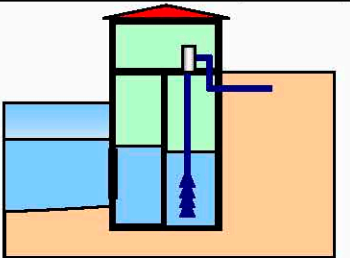
2.3.3 Схемы водозаборных сооружений

Схемы водозаборных сооружений и условия их применения приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Схемы водозаборов и условия применения

Схема водозабора	Условия применения
Русловый водозабор раздельного типа с самотечными водоводами	
	Слабая несущая способность береговых грунтов (супесь, суглинок, песок). Незначительная амплитуда колебаний уровней воды в реке (до 6–8 м). Использование насосов с допустимой высотой всасывания более 3–4 м. Производительность до 1 м³/с
Русловый водозабор совмещенного типа с самотечными водоводами	
	Пологий берег, сложенный слабыми породами. Отсутствие у берега достаточных глубин и наличие широкой поймы
Русловый водозабор с погружными насосами	
	Большая глубина берегового колодца. Значительная амплитуда колебаний уровней воды в реке (6–14 м). Сложение берега и дна реки несколькими породами. Производительность до 1 м³/с
Русловый водозабор с сифонными водоводами	
	Скальные и полускальные грунты берега (скала, известняк и т. п.). Незначительная амплитуда колебаний уровней воды в реке (до 6–8 м). Использование насосов с допустимой высотой всасывания более 3–4 м. Производительность до 1 м³/с

Окончание таблицы 2.4

Схема водозабора	Условия применения
Береговой водозабор раздельного типа 	
Береговой водозабор совмещенного типа с заглубленной насосной станцией первого подъема 	
Комбинированный водозабор с самотечными водоводами и водоприемными отверстиями 	
Береговой водозабор с погружными насосами 	

2.3.4 Береговые водозаборы

Береговые водозаборные сооружения (рисунки 2.1–2.3) применяются при наличии у берега глубин, обеспечивающих нормальные условия забора воды, или при наличии возможности их увеличения с помощью руслорегулирующих сооружений.

Береговой водозабор представляет собой комплекс сооружений по приему воды непосредственно у берега. Он состоит из берегового водоприемного колодца и насосной станции I подъема. Береговой водоприемный колодец включает водоприемное и всасывающее отделение.

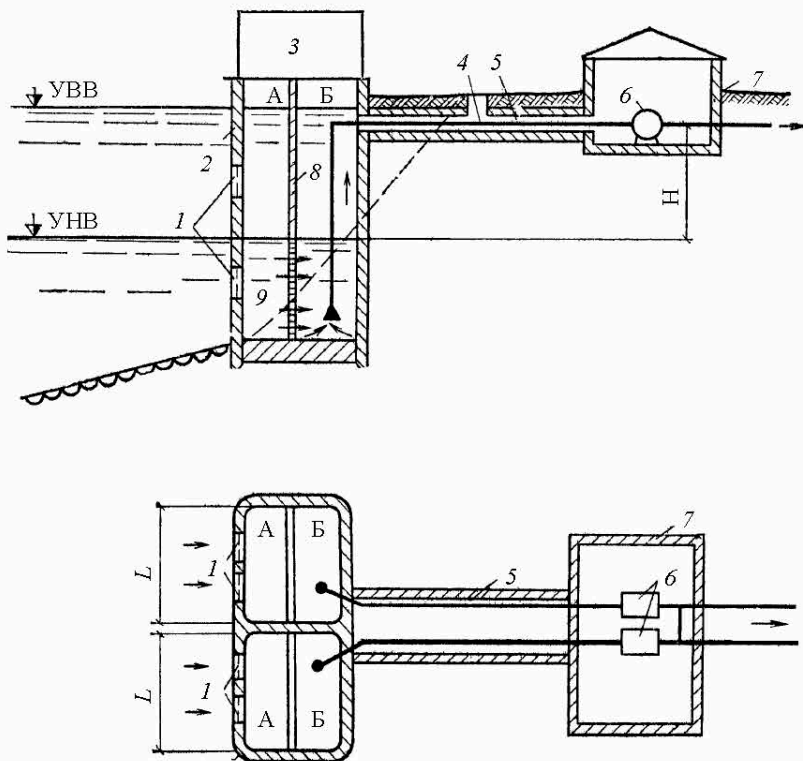


Рисунок 2.1 – Схема водозаборного сооружения берегового типа с раздельной компоновкой:

- 1 – водоприемные окна; 2 – водоприемный колодец;
- 3 – служебный павильон; 4 – всасывающие трубы; 5 – галерея;
- 6 – насос; 7 – насосная станция; 8 – перегородка; 9 – сетка
- А – приемное отделение; Б – всасывающее отделение

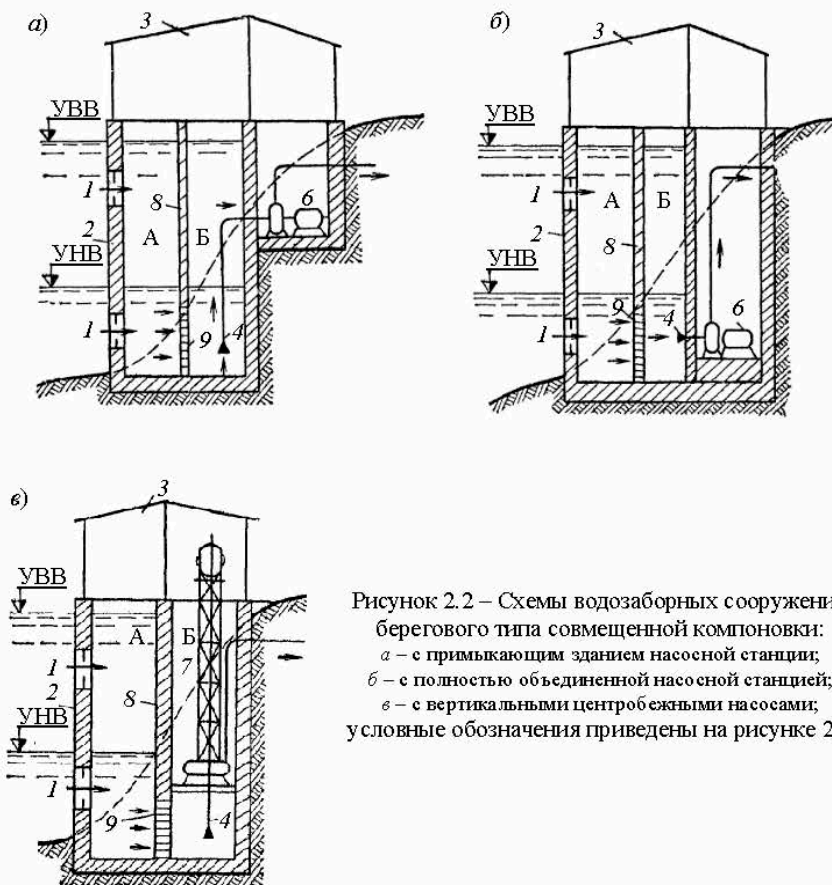


Рисунок 2.2 – Схемы водозаборных сооружений берегового типа совмещенной компоновки:
 а – с примыкающим зданием насосной станции;
 б – с полностью объединенной насосной станцией;
 в – с вертикальными центробежными насосами;
 условные обозначения приведены на рисунке 2.1

Прием воды и ее предварительная очистка осуществляются в *береговом колодце*:

- расположенном у берега – при колебании уровней до 10 м;
- несколько выдвинутом в русло и соединенном с берегом дамбой – при колебании уровней более 10 м;
- вдвинутом в берег и соединенном 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 раздельной компоновкой и совмещенные с насосной станцией.

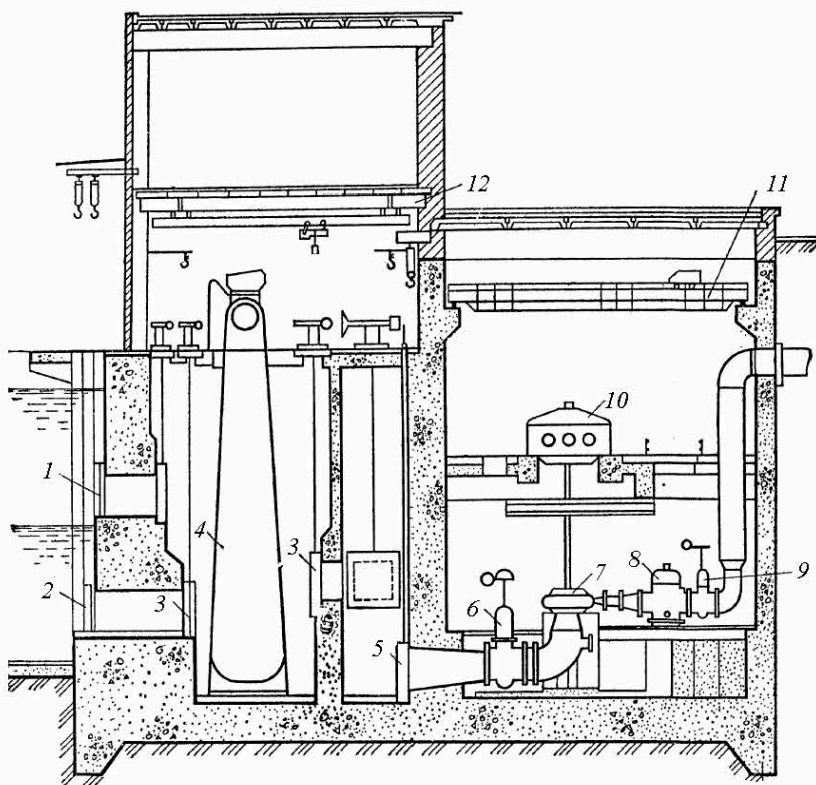


Рисунок 2.3 – Совмещенный водозабор берегового типа с вертикальными насосами:

1 и 2 – сороудерживающая решетка на водоприемном отверстии соответственно верхнего и нижнего ярусов; 3 – затвор; 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

Береговые водозаборы с раздельной 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 м³/с при нескальных грунтах в основании сооружений. Береговые водозаборы, совмещенные с насосными станциями, применяются 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 водоприемного колодца.

Поскольку водоприемные отверстия всегда доступны для осмотра и очистки, то береговые водоприемные колодцы 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 водоприемный колодец 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.

2.3.5 Русловые водозаборы

Водозаборы руслового типа устраиваются при пологих берегах и дне реки, когда требуемые для приема воды глубины находятся на значительном расстоянии от берега (рисунки 2.4, 2.5). Это водозаборы, как правило, малой и средней производительности.

Схема водозабора руслового типа включает:

- водоприемное устройство (оголовок);
- самотечные или сифонные водоводы;
- береговой колодец;
- насосную станцию первого подъема.

Водоприемники русловых водозаборов затоплены и удалены от берега, а их водоприемные отверстия в отдельные периоды года оказываются практически недоступными, что снижает надежность их работы. Для приема воды из реки или канала служит специально оформленное водоприемное сооружение – *оголовок*, от которого вода по самотечным или сифонным водоводам поступает в береговой сетчатый колодец.

При малой и средней производительности водозаборов, слабом основании (при наличии грунтов с различной осадкой), незначительных (до 6–8 м) амплитудах колебания воды в реке и использовании насосов с допустимой высотой всасывания более 3–4 м насосную станцию 1-го подъема располагают в отдалении от берегового колодца (водозабор с раздельной компоновкой) на участке с более надежным основанием, с незначительным заглублением. Оба сооружения имеют незначительную площадь, соединяются всасывающими трубопроводами, обычно располагаемыми в галереях.

При значительных колебаниях уровня воды, хороших основаниях для водозаборов средней и большой производительности здание насосной станции 1-го подъема объединяется с береговым колодцем, либо насосы располагаются в самом колодце (совмещенная компоновка).

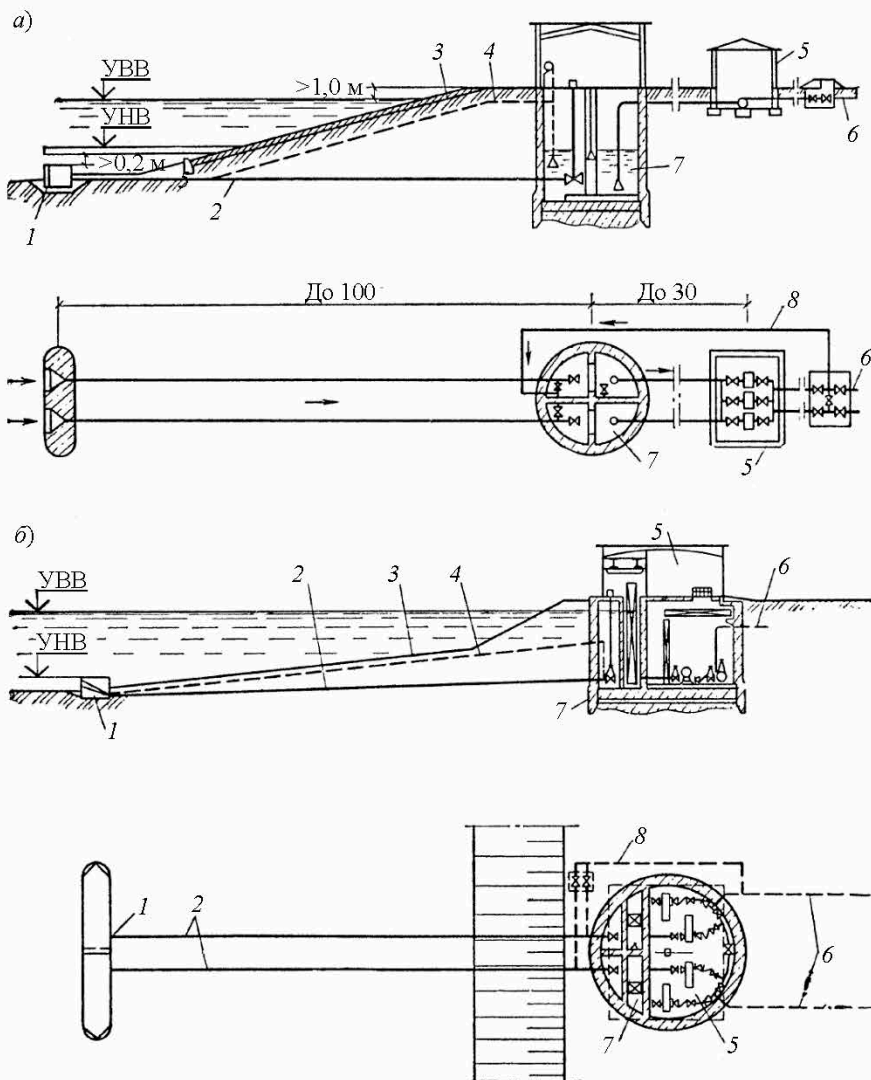


Рисунок 2.4 – Водозаборное сооружение руслового типа:

а – раздельного типа; б – совмещенного типа;

1 – водоприемный оголовок; 2 – самотечные трубы; 3 – крепление берегового откоса; 4 – сифонные трубы; 5 – насосная станция; 6 – напорные водоводы; 7 – береговой водоприемный колодец; 8 – напорные трубопроводы для подачи воды на промывку самотечных водоводов обратным током от насосной станции

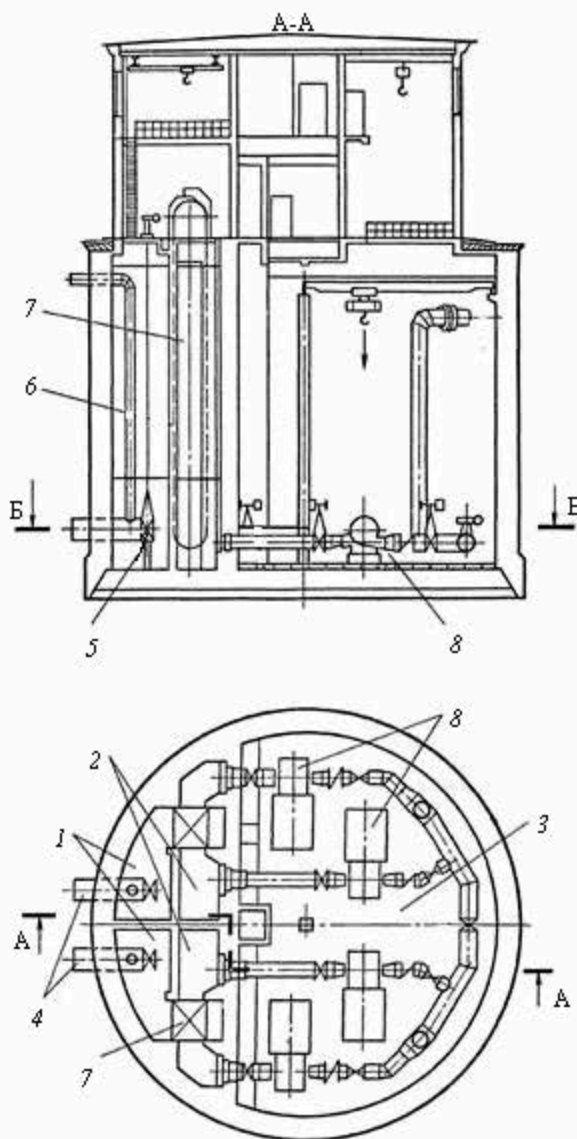


Рисунок 2.5 – Водозаборное сооружение совмещенного типа:
 1 – водоприемное отделение; 2 – всасывающее отделение;
 3 – машинный зал; 4 – самотечные трубопроводы; 5 – задвижки;
 6 – трубопроводы обратной промывки; 7 – вращающиеся сетки;
 8 – горизонтальные насосы с электродвигателями

Если прием воды береговыми водозаборами при меженных и минимальных уровнях затруднен, для повышения надежности работы сооружений применяют комбинированный прием воды: в одном сооружении совмещают русловой и береговой водозаборы, соответственно, при низких и высоких уровнях воды.

К *оборудованию водозаборных сооружений руслового типа* относятся:

– водоприемник (водоприемный оголовок) с сороудерживающей решеткой;

- самотечные (сифонные) водоводы;
- водоочистные сетки;
- сетки приемные на всасывающих трубопроводах;
- насосы с электродвигателями;
- подъемно-транспортное оборудование;
- задвижки и клапаны;
- рыбозащитные устройства;
- устройства для промывки самотечных водоводов;
- оборудование для удаления осадка.

Водоприемник (водоприемный оголовок) является одним из ответственных сооружений и служит для непосредственного забора и приема воды. Также он защищает концы самотечных и сифонных водоводов. Типы и конструктивные особенности приведены в подразд. 3.2.

Самотечные и сифонные водоводы соединяют водоприемный оголовок с водоприемным колодцем на берегу реки. С целью обеспечения надежности работы водозаборного сооружения и бесперебойного получения воды их число принимают равным числу секций водоприемника и, как правило, не менее двух. Самотечные водоводы имеют отметки ниже отметок минимального уровня воды в источнике. Сифонные водоводы при минимальных уровнях воды могут работать под вакуумом. Более подробно самотечные и сифонные водоводы рассмотрены в подразд. 3.3.

Береговые водоприемные 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 в сифонных водоводах.

В колодце располагают трубопроводы обратной промывки водоводов, а также арматуру управления промывкой.

2.3.6 Ковшевые водозаборы

На реках с наличием большого количества внутриводного льда (шуги) или наносов, а в отдельных случаях на реках с малыми глубинами и

недостаточными расходами в межень целесообразно применение **водозаборных ковшей**.

Под *ковшевыми водозаборными сооружениями* понимают обычный береговой водозабор совмещенного или раздельного типа, перед которым устраивается искусственный **водоем-ковш**, располагаемый непосредственно в реке или в береге и служащий для оттаивания внутриводного льда или осаждения крупных фракций наносов, а иногда также для увеличения глубин воды у водозабора.

По характеру подвода воды из рек различают ковши с подводом воды:

- по течению – *верхового титания*;
- против течения – *низового титания*;
- по течению и против течения – *двойного титания*.

При использовании шугоносной реки с целью водоснабжения целесообразно использовать ковш с низовым входом воды.

Водоприемные ковши по расположению бывают:

- частично или полностью выдвинуты в русло реки (рисунок 2.6, *а*);
- полностью (рисунок 2.6, *б*) или частично (рисунок 2.6, *в*) заглублены в берег.

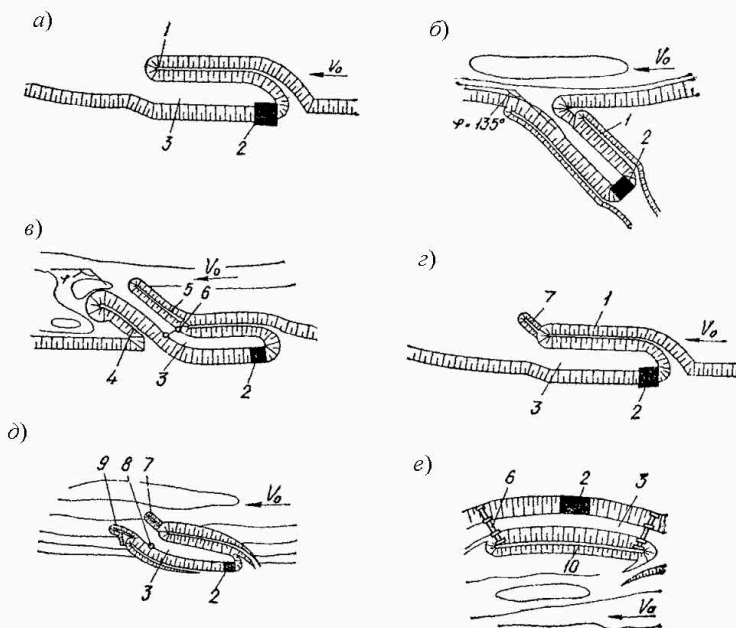


Рисунок 2.6 – Типы водоприемных ковшей:

1 – дамба; 2 – водозаборные сооружения; 3 – ковш; 4 – низовая незатапливаемая дамба; 5 – верховая затапливаемая дамба; 6 – регуляторы; 7 – верховая шпора; 8 – бортовая струенаправляющая стенка; 9 – низовая шпора; 10 – речная незатапливаемая дамба

Водоприемный ковш образуется дамбой, которая может быть затапливаемой или незатапливаемой в зависимости от высоты дамбы по отношению к уровням воды в реке. Для борьбы с избыточной заносимостью ковша взвешенными наносами у дамбы устанавливают специальное сооружение, которое называется *шпорой*. В зависимости от конструкции ковша и места его расположения в реке могут быть *верховые* (см. рисунок 2.6, *г*) или *низовые шпоры*. Возможен вариант строительства одновременно как низовой, так и верховой шпор (см. рисунок 2.6, *д*).

Как правило, вода забирается из ковшей водозаборным сооружением берегового типа.

Выбор определенного типа водоприемного ковша зависит от многих факторов:

- характера подъема уровня воды в реке перед и после установления ледостава;
- сложности ледохода;
- требований к предварительному осветлению воды;
- глубин реки на подходе к ковшу.

Во время паводков на очень шугоносной реке, а также при наличии большого количества взвешенных веществ, можно устраивать временный тип водоприемного ковша с низовым входом, выдвинутый в русло реки, который будет работать только в период шугохода (см. рисунок 2.6, *е*). Для этого перед водозаборным сооружением предусматривается дамба. В пролете между дамбой и берегом устанавливаются специальные регуляторы со щитами. Они работают на этом месте только в период шугохода и создают таким образом *ковш, выдвинутый в русло реки*. В период половодья данные щиты поднимаются выше самого высокого уровня воды в водотоке.

Ковши с верховым входом больше подвержены занесению шуги, чем наносов, так как в силу действия инерционных сил они заполняются поверхностными потоками воды из реки.

Ковши с низовым питанием, наоборот, заполняются донными потоками воды из реки, в которых в основном сосредоточены минеральные примеси. Эти ковши намного лучше защищают водозаборы от шуги и внутриводного льда. Поэтому в настоящее время применяют преимущественно ковши с низовым питанием. В обычных условиях ковш не должен значительно изменять режим речного потока. В частности, стеснение потока не должно вызывать затор льда или ухудшать существующее водопользование. У ковша нужно обеспечивать достаточно благоприятные условия для транзита шуги по руслу реки, чтобы входная часть ковша не оказалась закупоренной *шугозажором*.

Водоприемный ковш с низовым входом (рисунок 2.7), полностью или частично выдвинутый в русло реки, образованный незатапливаемой речной дамбой и имеющий свободный подход воды снизу, проектируется для следующих условий:

- для рек с шугозажорным режимом с постепенно нарастающими значительными подъемами уровня воды перед установлением ледостава и во время него;

- при наличии тяжелого весеннего ледохода, возникающего при незначительных подъемах уровня воды в руслах рек;

- при отсутствии сброса сточных вод ниже места забора воды, на участке берега на расстояние не менее десятикратного значения выноса внешней грани водоприемного ковша в русло реки.

Водоприемный ковш с низовым входом, образованный низовой незатопляемой в половодье речной дамбой, проектируют на реках с отсутствием шугозажорного режима или тяжелого весеннего ледохода, если содержание наносов в речной воде в половодье не превышает $0,75 \text{ кг/м}^3$. В этих случаях для борьбы с заилием водоприемного ковша взвешенными наносами у оголовка речной дамбы проектируют затопляемую в половодье верховую шпору, при этом гребень ее не затопляют в период хода шуги. Угол между осью гребня и направлением течения в реке принимают примерно равным 135° (см. рисунок 2.7, а).

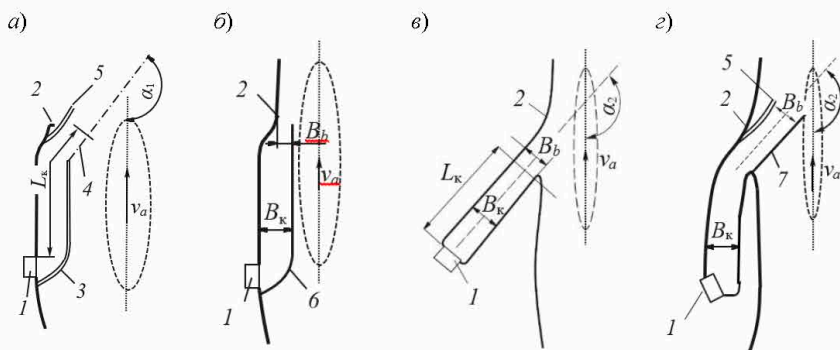


Рисунок 2.7 – Типы водоприемных ковшей с низовым входом:

B_k – ширина водоприемного ковша; B_b – ширина водоприемного ковша по дну; L_k – суммарная длина водоприемного ковша, заглубленного в берег; v_a – скорость течения реки; α_1 – угол между осью гребня и направлением течения воды в реке; α_2 – угол отвода водоприемного ковша, заглубленного в берег;

1 – водоприемник; 2 – линия берега; 3 – незатопляемая речная дамба; 4 – затопляемая верховая шпора; 5 – низовая незатопляемая в половодье шпора; 6 – затопляемая в половодье речная дамба; 7 – верховая затопляемая в половодье дамба

В тех же условиях, но при необходимости сброса промышленных сточных вод ниже водоприемного ковша на расстояние от 8 до 10-кратного значения выноса внешней грани речной дамбы в русло реки проектируют водоприемный ковш, образованный низовой незатопляемой в половодье речной дамбой

(см. рисунок 2.7, б). В этом случае для борьбы с заилинием водоприемного ковша взвешенными наносами проектируют верховую и низовую шпоры, а также бортовую струенаправляющую стенку у низового борта входа в водоприемный ковш.

Для уменьшения стеснения русла реки в период паводков и половодий при недостаточных глубинах у берега в межень и для возможности формирования береговых шугозажоров проектируют водоприемный ковш с низовым входом, полностью или частично выдвинутый в русло реки, образованный затопляемой в половодье речной дамбой.

На реках с ограниченной интенсивностью шуголедовых явлений, русла которых изогнуты или сложены слабыми и мелкозернистыми грунтами, рекомендуется [11] проектировать водоприемные ковши, заглубленные в берег, с углом отвода $\alpha_2 = 135 \dots 150^\circ$ (см. рисунок 2.7, в). Угол α_2 , как правило, предусматривается на входе в водоприемный ковш, если ось остальной части ковша размещаются в другом направлении (см. рисунок 2.7, г). Ширина входной части водоприемного ковша, заглубленного в берег, B_v принимается на 25–35 % менее значения B_k .

Решение об устройстве водоприемных ковшей специально для отстаивания взвешенных наносов принимается при соответствующем обосновании.

При проектировании водоприемных ковшей для предварительного частичного отстаивания наносов предусматриваются устройства для удаления отложений на реках с мутностью воды не менее 2 кг/м^3 .

При мутности воды в реке более 1 кг/м^3 и наличии специальных требований к предварительному осветлению воды в водоприемных ковшах, заглубленных в берег, предусматриваются бортовые стенки, регуляторы на входе в ковш или другие сооружения, снижающие заиляемость водоприемного ковша.

При необходимости поддержания у входа в водоприемный ковш или на подходе к нему глубин, превышающих бытовые, особенно в случаях неглубокого залегания коренных пород кровли, водоприемные ковши, которые также могут использоваться в качестве выпрямительных сооружений, проектируются с самопромывающимся входом.

Размеры водоприемного ковша определяют в зависимости от уровней воды в русле реки, устанавливаемых в период шугохода.

Ширина водоприемного ковша по дну, м,

$$B_v = \frac{Q_p}{v_k h_g} - m_{от} (2h_n + h_g), \quad (2.4)$$

где Q_p – расчетный расход воды, забираемой водозабором, $\text{м}^3/\text{с}$;

v_k – средняя скорость течения воды в водоприемном ковше, м/с , принимают по таблице 2.5 в зависимости от степени шугоносности

водотока и скорости течения воды на перекатах в русле в период шугохода;

h_g – глубина воды в слое рабочей зоны осаждения наносов; принимают равной высоте слоя воды между ледяным покровом и верхней границей слоя зоны накопления отложений наносов, м;

h_n – высота слоя наносов, м;

$m_{от}$ – коэффициент заложения откосов водоприемного ковша.

Таблица 2.5 – Скорость воды на перекатах

Скорость течения воды на перекатах, м/с	0,6	0,8	1,0	1,25	1,5
Средняя скорость течения воды в водоприемном ковше, м/с	0,146	0,115	0,09	0,082	0,05

Минимальная глубина воды в водоприемном ковше, м,

$$h_{g\min} = Z_g - Z_{дн} - h_{ш} - h_n, \quad (2.5)$$

где Z_g – отметка минимального уровня воды в русле реки в период шугохода, м;

$Z_{дн}$ – отметка дна водоприемного ковша, м;

$h_{ш}$ – высота слоя шуги в водоприемном ковше; принимают от 0,3 до 0,5 м;

h_n – высота слоя наносов, м.

Отметка дна водоприемного ковша $Z_{дн}$, м, принимается из расчета обеспечения в нем минимальных уровней воды в период зимней межени $Z_з$, когда в водоприемном ковше устанавливается расчетная толщина ледяного покрова, и определяется по формуле

$$Z_{дн} = Z_з - 1,33\delta_{л} - 0,3 - h_{во} - h_{п}, \quad (2.6)$$

где $Z_з$ – отметка минимального уровня воды в водоприемном ковше в период зимней межени, м;

$\delta_{л}$ – расчетная толщина ледяного покрова в русле реки, м;

$h_{во}$ – высота водоприемного отверстия, м;

$h_{п}$ – высота порога водоприемных отверстий; принимают от 0,4 до 1,0 м в зависимости от высоты слоя наносов в водоприемном ковше.

Суммарная длина водоприемного ковша, заглубленного в берег, определяется по оси от начального сечения входа в ковш до водоприемника, м,

$$L_{\kappa} = l_{в} + l_{ш} + l_{п}, \quad (2.7)$$

где $l_{в}$ – длина входной части водоприемного ковша, охватываемой водоворотом на входе в шугоход и засоряющейся шугой в начале шугохода, м,

принимается от 1,0 до 1,5 ширины входной части водоприемного ковша $B_{\text{в}}$, измеренной по урезу среднего уровня воды при шугоходе; $l_{\text{ш}}$ – длина участка водоприемного ковша с интенсивным отложением шуги под ледяным покровом в период шугохода, м; $l_{\text{р}}$ – длина рабочей части водоприемного ковша, м.

При расчете $L_{\text{к}}$ водоприемного ковша с низовым входом, полностью или частично выдвинутого в русло реки и имеющего низовые ограждающие дамбы, значение $l_{\text{в}}$ принимают равным нулю.

Длина участка водоприемного ковша с интенсивным отложением шуги под ледяным покровом в период шугохода определяется по данным результатов инженерных изысканий.

В зависимости от типа водоприемного ковша и режима его работы длина участка водоприемного ковша, м, принимается:

- 5–10 – для водоприемного ковша с низовым входом, полностью или частично выдвинутого в русло реки и не имеющего низовых дамб;
- 15–20 – то же, заглубленного в берег;
- 20–35 – то же с верховым входом, полностью или частично выдвинутого в русло реки.

Длина рабочей части водоприемного ковша, м,

$$l_{\text{р}} = 28,7 \left(\sqrt{b_{\text{н}}^2 + \frac{0,105}{\omega_{\text{с}}} Q_{\text{р}}} - b_{\text{н}} \right), \quad (2.8)$$

где $b_{\text{н}}$ – начальная ширина транзитной струи воды на входе в водоприемный ковш, м;

$\omega_{\text{с}}$ – расчетная гидравлическая крупность шуги; принимается 0,015–0,020 м/с;

$Q_{\text{р}}$ – расчетный расход воды, забираемой водозабором, м³/с.

Начальная ширина транзитной струи воды на входе в водоприемный ковш, м,

$$b_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{р}}}{H_{\text{к}} v_{\text{вх}}}, \quad (2.9)$$

где $H_{\text{к}}$ – глубина водоприемного ковша, м;

$v_{\text{вх}}$ – скорость потока на входе в водоприемный ковш, м/с.

2.3.7 Водозаборные сооружения на каналах

Для снабжения водой потребителей, находящихся на расстоянии десятков или сотен километров от источника водоснабжения, сооружают *водные каналы*. Такие каналы, как правило, являются открытыми и могут выполнять сразу несколько функций: судоходство, орошение, водоснабжение и т. д.

Водный канал делится на участки, которые могут быть как безнапорными, так и напорными. В последнем случае для преодоления препятствий, встречающихся на трассе канала, сооружают насосные станции, оборудованные водоприемными сооружениями.

Требования, предъявляемые к водозаборным сооружениям на каналах, такие же, как и к речным водозаборам: должны обеспечить надежный забор необходимых объемов воды, предохранять насосное оборудование от воздействия наносов и сора.

Каналы, имеющие значительные размеры и большую протяженность, называются *магистральными* (рисунок 2.8). Около насосной станции имеется расширение с аванкамерой. Впереди устанавливаются сороудерживающие решетки. Наличие плоских щитов позволяет в случае необходимости с помощью насосов осушать аванкамеру для проведения очистительных или ремонтных работ.

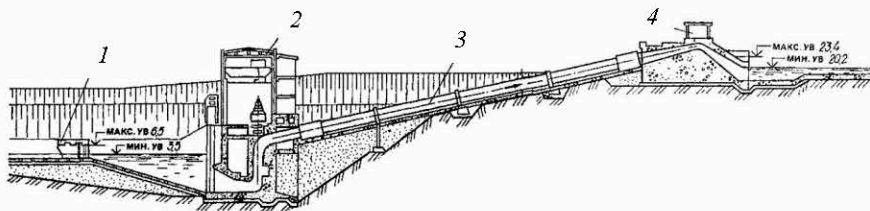


Рисунок 2.8 – Водозаборное сооружение на магистральном канале:
1 – сороудерживающее сооружение; 2 – насосная станция; 3 – напорные водоводы;
4 – водовыпускное сооружение

На *тупиковых каналах* при заборе небольших расходов воды существует простейшее решение, в котором аванкамера представляет собой ковш с откосными стенками. Всасывающие трубопроводы устанавливаются на торце откоса аванкамеры. Сороудерживающие решетки располагаются в начале камеры.

Для забора средних и больших расходов используются водоприемники *камерного типа*. Они могут быть как совмещенные с насосной станцией, так и отдельные. Данный тип водоприемников оборудуется сороудерживающими решетками, установленными в пазы. Они устанавливаются вертикально или под углом 80° к горизонту.

Каналы, соединяющие несколько водоемов, называют *транзитными*. Водозаборные сооружения для таких каналов располагаются на их берегах и состоят из ковша, соединяющего канал с водоприемником, и самого водоприемника, из которого вода забирается всасывающими трубами насосов. Такое решение применимо на водозаборных сооружениях малой и средней производительности.

Водозаборное сооружение на транзитном канале (рисунок 2.9) состоит из двух секций, в каждой из которых присутствует водоприемник, водоприемный колодец и самотечный трубопровод, соединяющий их. Вода из водоприемного колодца подается потребителю по всасывающим трубам насосов. Водоприемник промывается обратным током воды по промывному трубопроводу.

Водозаборные сооружения на канале могут быть с насосной станцией или с подачей воды самотеком. Насосная станция может быть расположена отдельно от водоприемника или совмещена с ним. При высоком содержании взвешенных веществ в воде канала в состав водозаборного узла включают отстойник.

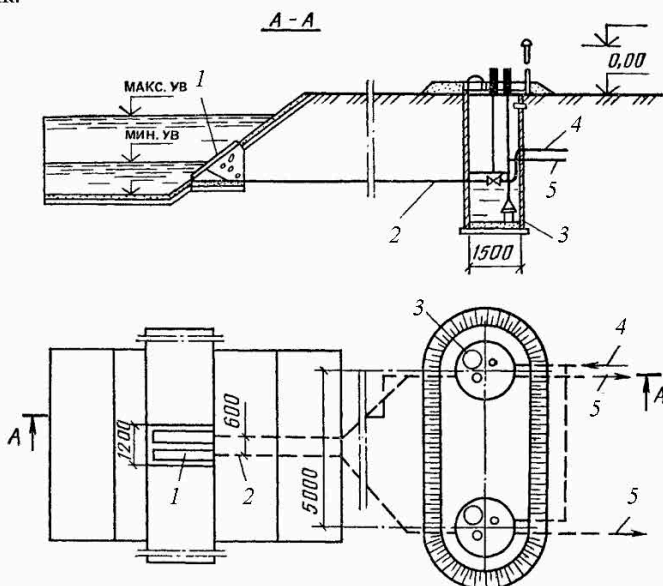


Рисунок 2.9 – Водозаборное сооружение на транзитном канале:
1 – водоприемник; 2 – самотечный трубопровод; 3 – водоприемный колодец;
4 – трубопровод для промывки; 5 – всасывающие трубы

Если в основании канала залегают хорошо фильтрующие грунты, то возможно применение водозаборных сооружений *инфильтрационного типа* с забором воды при помощи шахтных колодцев, буровых скважин, горизонтальных водосборов и лучевых водозаборов.

Водоприемные устройства должны иметь порог для предупреждения завлечения донных наносов из нижних слоев водотока, содержащих большое количество взвешенных наносов, сверху устраивается забральная стенка, препятствующая попаданию плавающего сора, льда и шуги. Водоприемные

отверстия оборудуются решетками или сетками для задержания крупной взвеси и затворами для отключения водозабора от канала. Размеры решеток назначают из расчета движения воды через них со скоростью 0,4–0,8 м/с, а при наличии ледовых осложнений – 0,2–0,4 м/с. При отсутствии крупных загрязнений воды, шуги и опасности обледенения вместо решеток могут быть установлены съёмные сетки.

Конструктивное решение водоприемных устройств зависит от производительности, наличия наносов, шуги, льда, месторасположения насосной станции или ее отсутствия.

2.3.8 Водозаборные сооружения на водохранилищах

Водохранилища, как и озера, широко используются в целях водоснабжения. Строительство водозаборных сооружений на озерах и водохранилищах в целом очень схоже. Основное отличие озера от водохранилища состоит в его естественном происхождении.

В большинстве случаев водохранилище образуется путем перекрытия речной долины водоподпорным сооружением, например, *плотиной*.

Комплексный подход к рациональному водопользованию водохранилища состоит в использовании его не только для развития гидроэнергетики, но и для водоснабжения. Если сравнивать водохранилище или озеро с водотоком (рекой), то их гидрологические условия будут сильно различаться, поэтому забор воды приобретает некоторые специфические черты.

Как правило, водохранилищам и озерам свойственны следующие особенности:

- существование волнений и течений;
- переформирование побережья;
- шуголедные явления;
- биологические факторы.

Течения и волнения, возникающие в период формирования ледяного покрова, способствуют образованию большого количества не только шуги и внутриводного льда, но и торосов.

Торосы – это нагромождение обломков льда, часто до 10–20 м в высоту, которые образуются в результате сжатия ледяного покрова.

Вышеперечисленные явления приводят к переработке берегов. Может наблюдаться нагон и сгон воды в месте водозаборных сооружений, поэтому при строительстве данные явления необходимо учитывать с целью поддержания высоких эксплуатационных характеристик возводимых сооружений.

На водохранилищах, используемых одновременно для нескольких целей, может наблюдаться изменение уровня воды в связи с регулированием мощностей гидроэлектростанций (ГЭС) и т. д.

Температурная стратификация воды в водохранилище очень заметна в летний период. Разница температуры в верхних, средних и нижних слоях может достигать 5–12 °С. Это позволяет использовать воду на различные

нужды одновременно. *Например*, вода, забираемая из более низких слоев, где температура ниже, может использоваться в целях охлаждения, как на промышленных предприятиях, так и на тепловых электростанциях (ТЭС).

Мутность в водоемах очень часто ниже мутности рек. Она уменьшается с удалением от берега из-за наличия отложений рядом с ним.

Физические, химические, бактериологические свойства воды зависят от многих факторов:

- состояние и состав почв, примыкающих к водоему;
- объем воды и глубина водоема;
- наличие водообмена и проточности;
- скорость течения;
- качество поступающей воды;
- использование водоема для судоходства;
- наличие пляжей для отдыха;
- наличие сброса очищенных сточных вод в водоем;
- работы по очистке ложа водохранилища;
- проведение операций по борьбе с заилением и эрозией почв и др.

Цветность воды в водохранилищах и озерах может быть выше, чем в водотоке. Это может происходить из-за распада органических веществ растений в воде. Также замедление стока приводит к быстрому развитию организмов. Благодаря части планктона, обитающего в воде и производящего фотосинтез, в период нагревания воды происходит ее цветение. Это приводит к развитию водорослей, ракушек и моллюсков, которые очень сильно осложняют работу водозаборных сооружений, откладываясь на сетках, решетках и т. д.

Одной из самых ответственных задач является выбор места забора воды из водохранилища. Водоприемник должен располагаться в месте, где возможен забор самой чистой воды. В этом месте должна быть достаточная глубина для забора воды, а также должны отсутствовать интенсивное выпадение наносов, размыв берега, развитие водной растительности и неблагоприятных ледовых явлений. При использовании воды водохранилища на цели энергетики необходимо учитывать еще некоторые специфические факторы, возникающие из-за этого.

Для забора воды из водохранилища могут быть использованы речные водозаборные сооружения. Бывают случаи объединения водозаборных сооружений с гидротехническими, например, с плотиной. Для этого в конструкции плотины предусматривается устройство водоприемных шахт, галерей и т. д. Однако чаще всего водозаборные сооружения строят отдельными.

Замутнение воды вблизи берега из-за его переработки приводит к необходимости выноса водоприемника на значительное расстояние от берега. В таком случае будет использоваться водозаборное сооружение *руслового типа*.

При возможных довольно сильных колебаниях уровня воды в водохранилище целесообразно использовать комбинированный тип водозаборного сооружения (рисунок 2.10).

Водоприемный колодец выполняется из железобетонной шахты, совмещенной с насосной станцией I подъема. При нормальном и высоком уровнях воды в водоеме забор воды осуществляется через водоприемные окна берегового колодца.

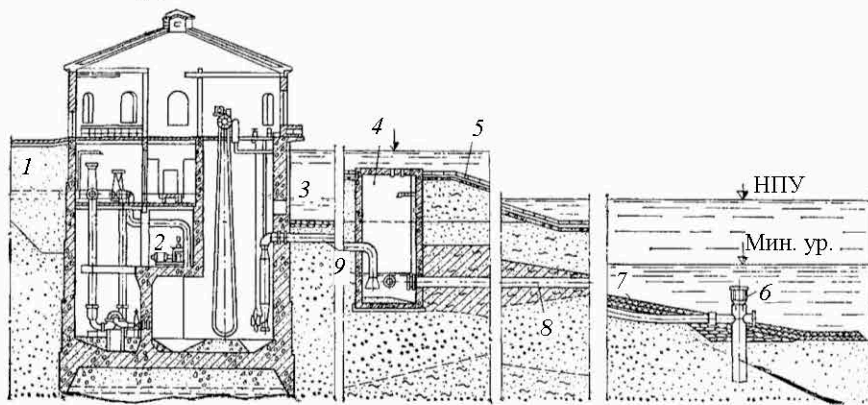


Рисунок 2.10 – Комбинированное водозаборное сооружение на водохранилище:

1 – напорные водоводы; 2 – вакуум-насос; 3 – водоприемный колодец; 4 – промежуточный колодец; 5 – бетонная плита; 6 – водоприемник (оголовок); 7 – каменная пригрузка (обсыпка); 8 – самотечные трубы; 9 – сифонные трубы/самотечные трубы, НПУ – нормальный подпорный уровень

При низких уровнях воды в водохранилище забор воды происходит через специальный водоприемный оголовок, вынесенный в бывшее до затопления русло реки и соединенный с водоприемным колодцем самотечными трубами от водоприемника до промежуточного колодца и сифонными трубами от промежуточного до водоприемного колодца на берегу реки. Труба от промежуточного до берегового водоприемного колодца работает как сифонная при низких уровнях воды в водоеме, а при более высоких уровнях она превращается в самотечную.

2.3.9 Водозаборные сооружения на озерах

Отсутствие постоянного течения воды в *озерах* определяет специфику гидрологического режима водоисточника и условий забора воды из них. Образование ледяного покрова на озерах наступает обычно на 6–8 дней раньше, чем в реке, а очищение ото льда происходит в среднем на 10–12 дней позже. В связи с этим во время осеннего и весеннего ледоходов на реках, впадающих в озера, наблюдаются *засорные явления*, образуются торосы и т. п.

В озерах в определенные периоды времени происходит цветение воды, которое сопровождается появлением запахов, повышением цветности и загрязнением воды. Это явление особенно характерно для мелких озер.

При выборе места расположения водозабора должны быть исключены места, куда нагоняются ветром вместе с поверхностным потоком воды планктон, мусор и прочие плавающие предметы.

На больших глубинах (20–40 м) вода в озерах имеет высокие физические, химические и бактериологические показатели качества и отличается постоянством температуры (4–10 °С).

Во время бурь и ветровых воздействий на озерах образуется высокое волнение, которое взмучивает илистые осадки. При этом ухудшаются качественные показатели воды.

Наиболее часто на озерах применяются *русовые водозаборы* с различным оформлением приемной части. Прием воды обычно предусматривается с нескольких уровней, выбирая наиболее чистые слои воды. Для этого концы водоприемников выполняются подъемными, на подставках или в виде стояков.

Для создания наиболее подходящих уровней приема воды водоприемники размещаются на значительном удалении от берега. В этом случае применяются *незатопляемые оголовки* (крибы), обычно кольцевого типа.

Расчетные скорости входа воды принимаются минимальными (0,1–0,05 м/с) в целях борьбы с донным льдом. Низ окон располагается не менее 2–3 м над дном, а верх – на глубине не менее 5–10 м от поверхности воды. Иногда предусматриваются два независимых ряда окон. При наличии большого количества донного льда предусматривается обогрев решеток.

2.4 Сороудерживающие решетки и сетки

2.4.1 Конструктивные особенности и типовые размеры

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 мелких загрязнений водозаборные сооружения оборудуют *сетками*.

Решетки предназначены для задержания крупного сора из воды (водоросли, ветки, шуга) с целью предотвращения их попадания в водоприемный колодец. Решетки устанавливаются в водоприемные окна берегового

колодца. Решетка состоит из сварной рамы и стальных стержней шириной 40–80 мм и толщиной 6–10 мм, расположенных вертикально. Прозоры между стержнями принимаются 50–100 мм (рисунок 2.11).

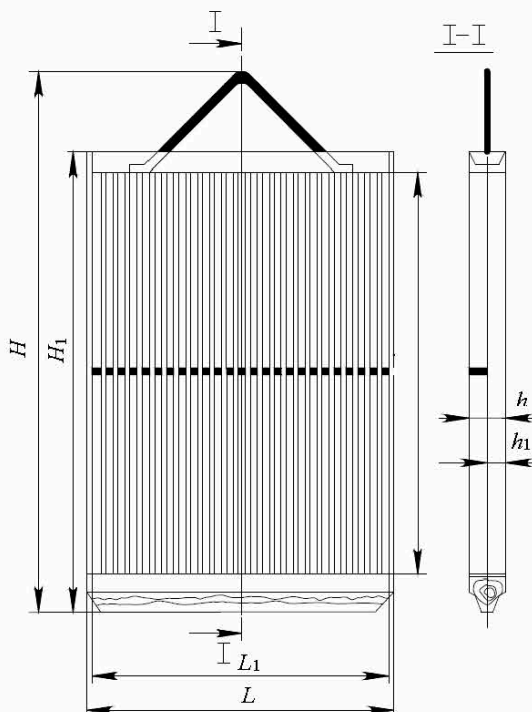


Рисунок 2.11 – Съемная сороудерживающая решетка

Расстояние между стержнями сороудерживающих решеток принимают равным:

- при ручной очистке – $0,03D$ – для центробежных насосов (но не менее 20 мм) и для осевых насосов – $0,05D$ (но не менее 35 мм), где D – диаметр рабочего колеса насоса;
- при механизированной очистке расстояние между стержнями может быть увеличено до 70 мм.

Очистка сороудерживающих решеток вручную, как правило, предусматривается, если она осуществляется не чаще трех раз в сутки при высоте решеток не более 2,5 м, и механизировано – во всех остальных случаях.

Основные размеры съемных сороудерживающих решеток приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Основные размеры съемных сороудерживающих решеток

Размер водо- приемного окна, мм	Основные размеры, мм							Масса ре- шетки, кг
	H	H_1	H_2	h	h_1	L	L_1	
400×600	840	700	600	50	40	500	400	20
600×800	1040	900	800	50	40	700	600	33
800×1000	1255	1130	1000	65	50	930	800	52
1000×1200	1620	1320	1200	80	50	1100	1080	90
1200×1400	1820	1520	1400	80	50	1300	1280	120
1250×2000	2600	2200	1986	120	60	1424	1404	253
1250×2500	3100	2700	2486	120	60	1424	1404	300

Как правило, решетки, так же, как и водоприемные окна колодца, располагают вертикально. Есть вариант расположения стержней решетки под определенным углом к течению воды. Например, на основе эксплуатационных данных было выяснено, что при установке стержней решетки под углом 135° такие загрязнения, как пуга и водоросли, при условии небольшой скорости втекания воды в водоприемное окно мало засоряют решетку.

Водозаборы средней и малой производительности оборудуют съемными решетками, размещаемыми в специальных пазах. Внизу под пазами решеток устраивают порог для строгой фиксации решеток перед водоприемными окнами. Вверху над пазами решеток имеется служебный балкон, размеры и конструкция которого должны обеспечивать извлечение решетки из пазов и ее очистку от загрязнения. Над балконом в створе пазов устанавливают грузоподъемные устройства (обычно тали).

На период ремонта или профилактического осмотра сооружения окна перекрывают шандорами или плоскими щитами, которые опускают в рабочие пазы вместо решеток.

Для перекрытия водоприемных окон небольших размеров с внутренней стороны колодца устраивают пазы для плоских затворов или дисковые затворы.

Крупные водозаборы оборудуют стационарными решетками с механической их очисткой, а перед решетками устраивают специальные ремонтные пазы, в которые закладывают шандоры или ремонтные щиты.

Сороудерживающие решетки русловых водозаборов (оголовков) очищаются от накопившегося на них сора посредством обратной промывки водой или водовоздушной смесью.

Сетки служат для предварительной механической очистки воды от взвесей и планктона, прошедших через решетки сооружения и не задержавшихся на них. Сетки устанавливаются в водоприемных колодцах водозаборных сооружений в перегородке на границе между приемным и всасывающим

отделениями. Существуют два типа сороудерживающих сеток: *сетки съемные плоские* и *вращающиеся*.

Плоские съемные сетки применяют на малых водозаборах из источников с небольшим загрязнением воды взвешенными веществами и планктоном, а стационарные вращающиеся – на водозаборах производительностью более $1 \text{ м}^3/\text{с}$, а также на водозаборах меньшей производительности при значительном загрязнении воды.

Плоские (съемные) сетки по конструкции подобны решеткам. Размеры каркаса (размеры перекрываемого окна) составляют от $800 \times 800 \text{ мм}$ до $2000 \times 3000 \text{ мм}$.

Плоская (съемная) сетка имеет раму из уголковой стали с натянутой на него рабочей сеткой (рисунок 2.12).

Рабочая сетка изготавливается из коррозионностойкого материала (нержавеющая сталь, бронза, латунь или капрон и т. п.) с размером ячеек от 2×2 до $5 \times 5 \text{ мм}$ из проволоки толщиной 1–2 мм.

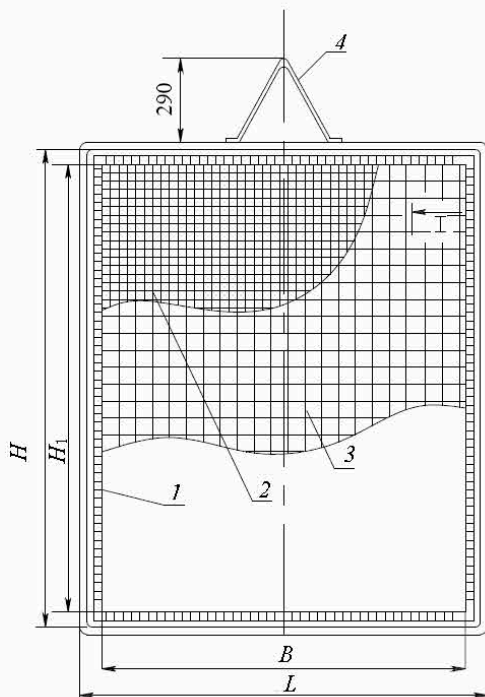


Рисунок 2.12 – Плоская сетка:

1 – металлическая рама; 2 – рабочее полотно сетки;
3 – поддерживающая сетка; 4 – монтажная скоба

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.

Недостатком таких сеток является невозможность организации автоматизированной промывки, она выполняется 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.

Перед подъемом рабочей сетки на ее место должна устанавливаться резервная.

Основные размеры съемных плоских сеток приведены в таблице 2.7.

Вращающиеся ленточные сетки используются при заборе больших расходов воды из значительно загрязненных водоемов и водотоков.

Вращающиеся сетки по конструкции бывают *каркасными* и *бескаркасными*. Вторые проще, легче, дешевле, но ненадежны, поэтому чаще применяют каркасные.

Вращающаяся каркасная сетка (рисунок 2.13) представляет собой бесконечную замкнутую ленту (типа транспортной), состоящую из отдельных небольших секций в виде рамок высотой 250–600 мм 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.

Ширина вращающихся сеток стандартизирована и составляет 1500, 2000, 2500 или 3000 мм. Скорость движения полотна составляет 10–100 мм/с.

Промывка вращающихся сеток и удаление загрязнений механизированы. Расход воды на промывку выбирается в зависимости от степени их загрязнения, скорости вращения, размеров ячеек полотна и может составлять от 15 до 20 л/с.

Скорость движения сетки составляет в среднем около 4 м/мин. Промывочное устройство состоит из трубы со специальными насадками рассеивающего типа. Их, как правило, принято располагать в два ряда. Струи воды, выходящие из насадок, смывают с сеток загрязнения, которые вместе с промывной водой попадают в грязевой желоб.

Таблица 2.7 – Основные размеры съемных плоских сеток

Размеры перекрывае- мого отверстия ($B \times H_1$), мм	Наружные размеры сетки, мм		Масса сетки, кг, при диаметре проволоки 1,2 мм и размере ячеек 2×2 мм
	H	L	
800×800	930	930	47
800×1000	1130	930	53,5
800×1250	1380	930	61
800×1500	1630	930	68,7
1000×800	930	1130	53,5
1000×1000	1130	1130	60
1000×1250	1380	1130	68
1000×1500	1630	1130	88,8
1000×2000	2130	1130	107,3
1000×2500	2630	1130	119,5
1250×1000	1130	1380	67,8
1500×800	930	1630	69,2
1500×1000	1130	1630	85,3
1500×1250	1380	1630	97,2
1500×1500	1630	1630	108,5
1500×2000	2130	1630	127,5
1500×2500	2630	1630	170,3
1750×1000	1130	1820	93,8
1750×1500	1630	1820	118
1750×2000	2130	1820	159
1750×2500	2630	1820	185
2000×800	930	2130	91,7
2000×1000	1130	2130	101,8
2000×1250	1380	2130	114,7
2000×1500	1630	2130	127,5
2000×2000	2130	2130	172,3
2000×2500	2630	2130	216
2000×3000	3130	2130	260

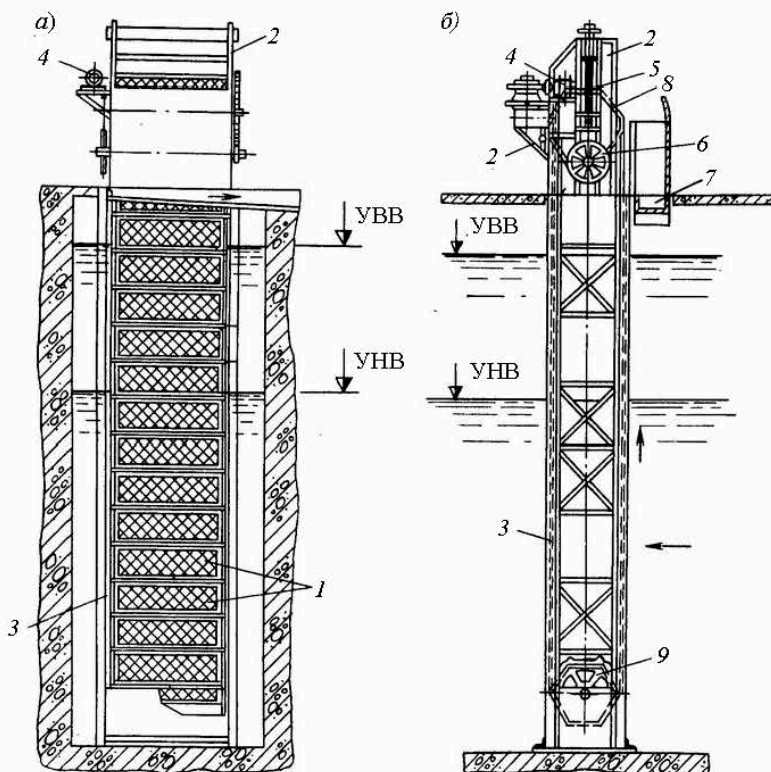


Рисунок 2.13 – Вращающаяся каркасная сетка:

a – продольный разрез; *б* – поперечный разрез; 1 – отдельные секции сетки; 2 – рама для размещения механизма привода; 3 – каркас с направляющими для роликовой цепи; 4 – электродвигатель; 5 – натяжное устройство; 6 – промывное устройство; 7 – лоток для отвода промывной воды; 8, 9 – соответственно верхняя и нижняя направляющие звездочки

Для улучшения чистки полотна его загрязненная поверхность дополнительно очищается капроновой вращающейся щеткой в виде вала. Чистка секток может быть автоматизирована – при предельном засорении полотна в нем создается определенный перепад уровней, фиксируемый датчиками уровня. Загрязненная вода отводится за пределы первого пояса зон санитарной охраны водозабора.

В *бескаркасных сетках* (рисунок 2.14) сеточное полотно непосредственно крепится к цепи.

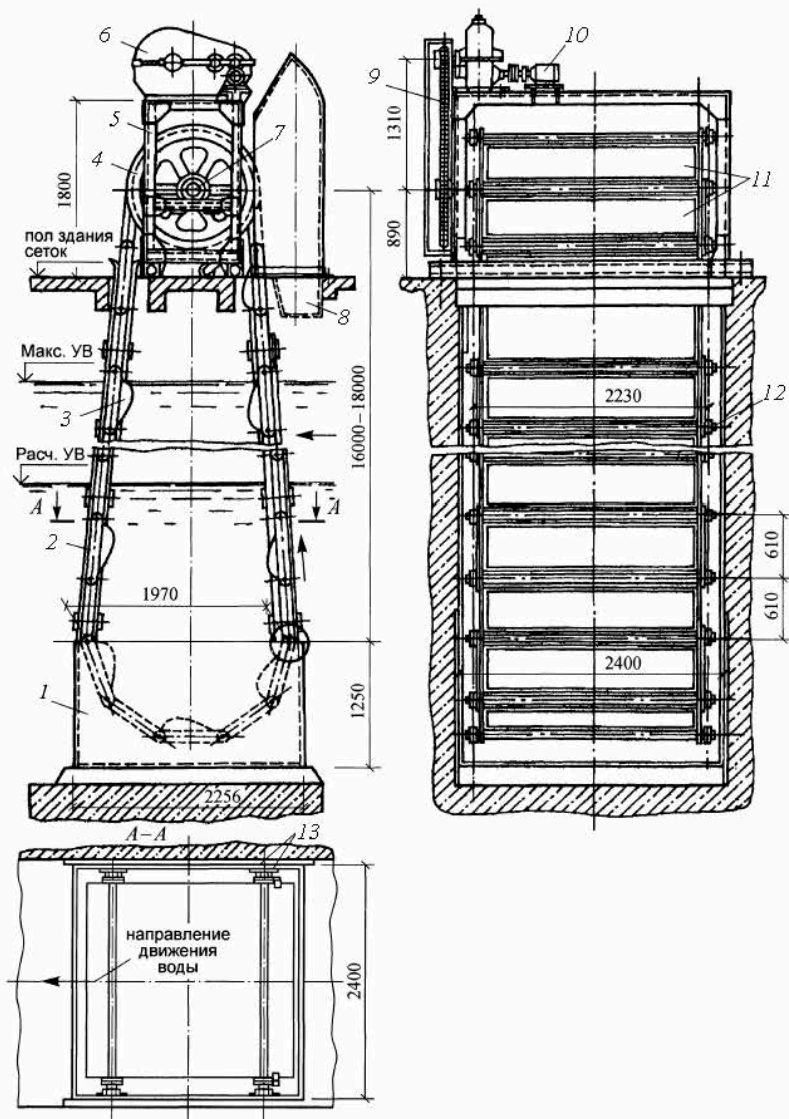


Рисунок 2.14 – Вращающаяся бескаркасная сетка с лобовым подводом воды
 1 – порог; 2 – пластинчатые шарнирные цепи; 3 – ковшовая секция сетки; 4 – грузовая шестерня; 5 – рама привода; 6 – редуктор; 7 – грузовой вал; 8 – сточный желоб; 9 – цепная передача; 10 – электродвигатель; 11 – секции сетки; 12 – ось с роликом; 13 – направляющие

По способу подвода забираемой воды к сеткам и отводу чистой вращающиеся сетки бывают разных типов (рисунок 2.15). Сетки каждого типа имеют свои особенности.

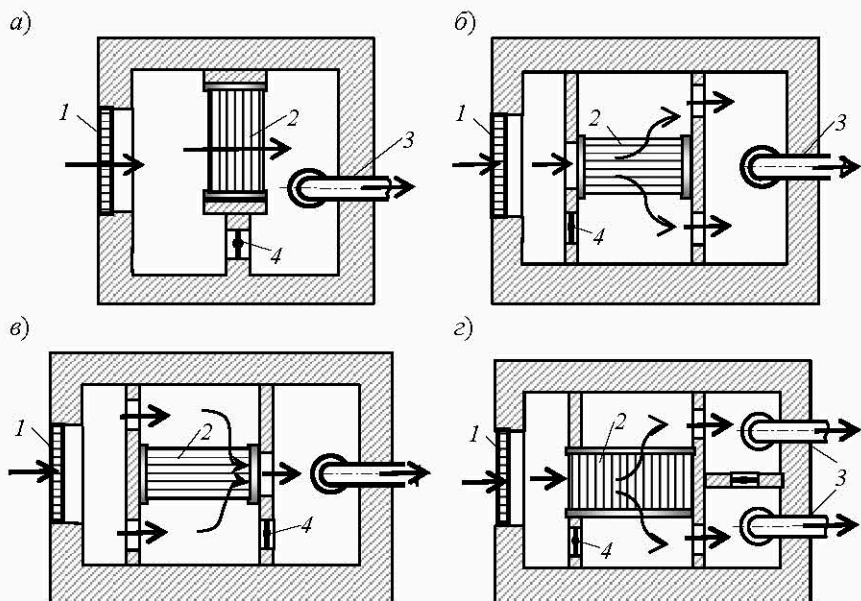


Рисунок 2.15 – Схемы установки вращающихся сеток на водозаборах:
 а – схема с лобовым подводом воды; б – схема с внутренним подводом и внешним отводом воды; в – схема с внешним подводом и внутренним отводом воды; г – схема с лобовым подводом и внутренним отводом воды;
 1 – решетка; 2 – сетка; 3 – всасывающая труба насоса; 4 – защитное устройство (клапан)

Схема с лобовым подводом воды (см. рисунок 2.15, а) применяется:

- для водозаборных сооружений средней производительности на водоемах и водотоках, где преимущественно находится много плавающего сора;
- на водозаборах малой производительности при тяжелых условиях, особенно при наличии шуги и внутриводного льда.

Преимущества таких сеток заключаются в компактности водозаборного колодца и удобстве осмотра. При возможной поломке промывного устройства данный тип сеток может перенести загрязнения в приемную камеру.

Сетки с внутренним подводом и внешним отводом воды (см. рисунок 2.15, б) применяются при средних и больших расходах воды, когда требуется хорошее качество очистки и отсутствует шуга в реке, позволяют сделать отделение более компактным, но имеют ряд *недостатков*:

- затруднена очистка, так как они плохо выносят загрязнения на поверхность;

– неспособны извлекать шугу, которая накапливается в межсеточном пространстве.

Сетки с внешним подводом и внутренним отводом воды (см. рисунок 2.15, в) используются при большой производительности и среднем количестве шуги, хорошо выполняют очистку воды, а также обеспечивают доступ к загрязненным поверхностям. Недостатком является их малоэффективность в удалении шуги, которая попадает в водоприемную камеру.

Сетки с лобовым подводом и внутренним отводом воды (см. рисунок 2.15, г) дают самый лучший эффект очистки, также при их использовании гарантируется хорошее удаление шуги. Такие сетки могут устанавливаться только в водоприемный колодец, имеющий более сложную конфигурацию.

Модели сеток, выпускаемых промышленностью, имеют буквенное и цифровое обозначение. Буквы обозначают тип подвода воды (ТЛ – лобовой, ТВ – внутренний, ТН – наружный). Цифры – расстояние между осями ведущих звездочек (ширина) – от 1000 до 5000 мм. Например, ТВ-2500 – вращающаяся водоочистная сетка с внутренним подводом воды, расстояние между осями ведущих звездочек составляет 2500 мм.

Основные технические характеристики вращающихся каркасных сеток приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Основные размеры вращающихся сеток

Марка сетки	Пропускная способность, м³/с	Размеры, мм							Масса, т
		<i>H</i>	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>h</i> ₁	<i>h</i> ₂	<i>R</i>	
ТН-1500	1–5	5000–20000	1500	1680	1150	1200	2695	730	1,1–1,4 на 1 м расстояния между звездочками
ТН-2000	1,5–7		2000	2180	1200	1150	3100	730	
ТН-2500	2–8		2500	2680	1700	1280	2775	1075	
ТН-3000	2–10		3000	3180	1900	1300	2800	1425	
ТЛ-3100	2–6	9000–18000	3100	3420	1000	2000	3100	1000	15 (для расстояния между звездочками 10500 мм)

Примечания

1 *H* – расстояние между осями звездочек, *B* – рабочая ширина, *b* – установочная ширина сетки, *h* – высота опорной конструкции, *h*₁ – высота приводного агрегата (расстояние от верхней звездочки до пола, на котором установлен приводной механизм сетки), *h*₂ – высота агрегата, *R* – радиус нижней петли. Для сеток типа ТН указанные обозначения приведены на рисунке 2.16.

2 Производительность сеток и расстояние между звездочками указаны ориентировочно и определяются расчетом в зависимости от глубины погружения сетки под расчетный уровень.

3 Скорость движения полотна сетки принимается: для сеток ТН – 4 м/мин, ТЛ – 5,25 м/мин.

4 Расход промывной воды составляет: для сеток ТН – 15–20 л/с при напоре 15–20 м, ТЛ – 30 л/с при напоре 40 м.

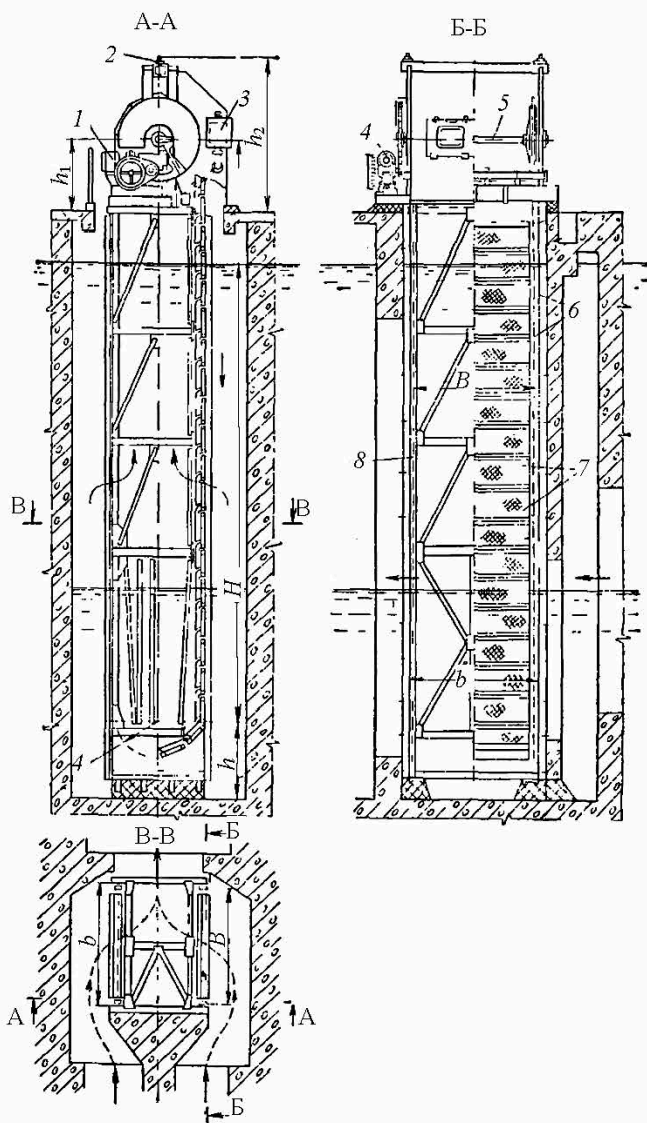


Рисунок 2.16 – Вращающаяся каркасная сетка типа ТН
с внешним подводом воды:
1 – электродвигатель; 2 – натяжное устройство; 3 – промывное устрой-
ство с фильтром; 4 – привод; 5 – грузовой вал; 6 – транспортные цели,
7 – секции сетки; 8 – каркас

2.4.2 Определение размеров водоприемных окон. Подбор решеток

Площадь водоприемного окна (брутто) одной секции, м^2 ,

$$\Omega_{\text{бр}} = \frac{1,25 q_p K_{\text{ст}}}{v_{\text{вт}}}, \quad (2.10)$$

где 1,25 – коэффициент, учитывающий засорение отверстий;

q_p – расчетный расход одной секции, $\text{м}^3/\text{с}$;

$K_{\text{ст}}$ – коэффициент, учитывающий стеснение отверстий стержнями решеток;

$v_{\text{вт}}$ – скорость втекания в водоприемные отверстия, $\text{м}/\text{с}$, отнесенная к их сечению в свету.

Коэффициент, учитывающий стеснение отверстий стержнями решеток,

$$K_{\text{ст}} = \frac{a_{\text{ст}} + c_{\text{ст}}}{a_{\text{ст}}}, \quad (2.11)$$

для сеток при квадратных отверстиях между проволоками

$$K_{\text{ст}} = \left(\frac{a_{\text{ст}} + c_{\text{ст}}}{a_{\text{ст}}} \right)^2, \quad (2.12)$$

где $a_{\text{ст}}$ – расстояние между стержнями в свету, см ;

$c_{\text{ст}}$ – толщина стержней, см .

Когда нет необходимости в устройстве рыбозащитных сооружений, допустимая скорость втекания в водоприемные отверстия береговых незатопленных водоприемников $v_{\text{вт}}$ принимается для средних и тяжелых условий забора воды соответственно равной 0,6 и 0,2 $\text{м}/\text{с}$. Для водоприемников затопленного типа при тех же условиях забора воды она снижается до 0,3 и 0,1 $\text{м}/\text{с}$ соответственно. С учетом требований к рыбозащите для водотоков со скоростью течения воды более 0,4 $\text{м}/\text{с}$ значение $v_{\text{вт}}$ принимают равным 0,25 $\text{м}/\text{с}$, в остальных случаях – равным 0,1 $\text{м}/\text{с}$.

При очень тяжелых шуголедовых условиях скорость втекания воды в прозорах решетки водоприемника снижается до 0,06 $\text{м}/\text{с}$. Размеры входных устройств в этом случае значительно увеличиваются.

Для водозаборов глубинного типа с послойным отбором воды допустимые скорости воды в водоприемных отверстиях обосновываются специальными расчетами.

Когда для борьбы с шугой применяются запани, ковши, обогрев решеток электричеством, паром или теплой водой, то скорость назначается от 0,1 до

0,6 м/с с учетом величины водоотбора, интенсивности и длительности шуговых явлений, эффективности мероприятий по борьбе с шугой.

Коэффициент, учитывающий стеснение отверстий стержнями решеток, определяется по формуле (2.11), принимая $a_{ст} = 5...10$ см, $c_{ст} = 0,8...2,0$ см.

Подбор решетки осуществляется по таблице 2.6 на основании рассчитанной площади водоприемных отверстий по формуле (2.10), а также исходя из их количества. Площадь подобранной решетки должна быть не меньше площади одного водоприемного отверстия.

Горизонтальные размеры B водоприемных отверстий водозабора принимают с учетом возможности перекрытия их стандартными решетками или сетками и, для удобства монтажа, демонтажа и обслуживания, меньшими, чем размер по вертикали H .

Число водоприемных отверстий в каждой секции водозабора принимается из условия, чтобы их суммарная площадь была не меньше требуемой:

$$n_{отв} = \frac{\Omega_{ср}}{HB}, \quad (2.13)$$

где H – горизонтальный размер водоприемных отверстий, м;

B – вертикальный размер водоприемных отверстий, м.

В секции водоприемные отверстия располагаются в ряд на одном уровне. Если в источнике содержится большое количество взвесей в нижних слоях воды в период паводков, то выше расчетного минимального уровня устраивается ряд (ярус) дополнительных окон. Они размещаются примерно на половине высоты расчетного диапазона колебаний уровня воды в источнике.

В береговых водоприемниках при наличии двух ярусов входных окон расчет каждого яруса производится на полную производительность водоприемника.

В комбинированных водозаборах окна в оголовке и входные отверстия в береговом водоприемнике рассчитываются на полный расход.

2.4.3 Подбор сеток

Плоские сетки.

Расчет площади водоприемного отверстия (брутто) одной секции для плоской сетки следует производить при одновременной работе всех секций водозабора (кроме резервных) по формуле (2.10), в которой $K_{ст}$ – коэффициент, учитывающий стеснение отверстий проволокой сеток при квадратных отверстиях между проволоками сетки определяется по формуле (2.12), принимая $a_{ст} = 0,2...0,5$ см; $c_{ст} = 0,01...0,2$ см.

Скорость втекания в сетки принимается $v_{вт} = 0,2...0,4$ м/с. Допускается снижение скорости $v_{вт}$ до 0,1 м/с только при очень малых расходах при

средних природных условиях забора воды с необходимым обоснованием принятых решений.

По необходимой площади отверстий для водоприемной сетки по таблице 2.7 принимаются габаритные размеры.

Фактическая скорость течения воды в ячейках сетки, м/с,

$$v_{\text{вт}}^{\text{факт}} = \frac{1,25q_p K_{\text{ст}}}{\Omega_{\text{бр}}^{\text{факт}}}, \quad (2.14)$$

где $\Omega_{\text{бр}}^{\text{факт}}$ – фактическая площадь водоприемного отверстия плоской сетки, м²,

$$\Omega_{\text{бр}}^{\text{факт}} = HB, \quad (2.15)$$

H – горизонтальный размер водоприемных отверстий, перекрываемых сеткой, м;

B – вертикальный размер водоприемных отверстий сетки, м.

Вращающиеся сетки.

Необходимая площадь погруженной в воду части вращающейся сетки, через которую процеживается вода при минимальном ее уровне, м²,

$$\Omega_{\text{бр.с}} = \frac{q_p K_{\text{ст}}}{v_{\text{вт}} \eta_1 \eta_2}, \quad (2.16)$$

где q_p – расчетный расход одной секции, м³/с;

$K_{\text{ст}}$ – коэффициент, учитывающий стеснение отверстий проволокой сетки, определяется по формуле (2.12);

$v_{\text{вт}}$ – скорость втекания в водоприемные отверстия, м/с;

η_1 – коэффициент, учитывающий засорение отверстий сетки; при непрерывной промывке вращающихся сеток принимается 0,7–0,8;

η_2 – коэффициент стеснения живого сечения сетки рамками и межрамочными уплотнениями, принимается 0,75.

Для вращающихся сеток при определении коэффициента стеснения значение $a_{\text{ст}}$ принимается в пределах 0,025–0,2 см, $c_{\text{ст}}$ – 0,01–0,2 см.

Скорость втекания в водоприемные отверстия принимается 0,65–1,2 м/с. При использовании сеток как рыбозащитных средств скорость в отверстиях сеток допускается не более 0,25 м/с, а при наличии специальных рыбозащитных устройств скорость воды на входе в водоприемное отверстие с сеткой составляет не более 1 м/с.

Исходя из рассчитанной по формуле (2.16) величине необходимой площади вращающейся сетки по таблице 2.8 подбирается сетка и ее параметры R и B .

Глубина погружения оси нижней звездочки под расчетный уровень воды, м, определяется по формулам:

а) для сетки с лобовым подводом воды

$$h = \frac{\Omega_{\text{бр.с}}}{B} - \frac{\pi R}{2}, \quad (2.17)$$

б) для сеток с внутренним и внешним подводами воды

$$h = 0,5 \left(\frac{\Omega_{\text{бр.с}}}{B} - \pi R \right), \quad (2.18)$$

где R – радиус нижнего закругления сетки, м;

B – ширина сетки, м.

Фактическая скорость течения воды в ячейках сетки, м/с,

$$v_{\text{вт}}^{\text{ф.акт}} = \frac{q_{\text{р}} K_{\text{ст}}}{\Omega_{\text{бр}}^{\text{ф.акт}} \eta_1 \eta_2}, \quad (2.19)$$

где $\Omega_{\text{бр}}^{\text{ф.акт}}$ – фактическая площадь водоприемного отверстия сетки, м²,

$$\Omega_{\text{бр}}^{\text{ф.акт}} = 2B \left(H + \frac{\pi R}{2} + \frac{\pi R'}{2} \right), \quad (2.20)$$

B – ширина сетки, м;

H – расстояние между центрами звездочек, м;

R – радиус нижнего закругления сетки, м;

R' – радиус верхнего закругления сетки, м.

Отметки осей верхнего и нижнего барабанов вращающейся сетки определяются по формулам:

$$Z_{61} = Z_{\text{и}}^{\text{max}} + c + \delta + A, \quad (2.21)$$

$$Z_{62} = Z_{\text{и}}^{\text{min}} - H - 0,5D_2, \quad (2.22)$$

где $Z_{\text{и}}^{\text{max}}, Z_{\text{и}}^{\text{min}}$ – максимальный и минимальный уровень воды в источнике, м;

c – превышение перекрытия водозабора над максимальным расчетным уровнем воды в источнике, принимаемое равным 1,0; 0,8 и 0,5 м для водозаборов I, II, III категорий надежности водозабора воды;

δ – толщина перекрытия водозабора, принимаемая равной 0,2–0,3 м;

A – высота расположения оси верхнего барабана (звездочки) сетки над верхней плоскостью перекрытия (над полом

сеточного помещения), в зависимости от типа устанавливаемой сетки она может быть равна 0,8–1,2 м;

H – высота рабочей части сетки (расстояние между центрами звездочек), м (см. таблицу 2.8);

D_2 – диаметр нижнего барабана сетки, м, $D_2 = 2R$;

Длина ленты, м, сеточного полотна вращающейся установки определяется по формуле

$$L_c = 2(Z_{61} - Z_{62}) + 0,5\pi(D_1 + D_2), \quad (2.23)$$

где D_1 – диаметр верхнего барабана сетки, м.

2.4.4 Гидравлический расчет устройства защиты сеток от прорыва

Для защиты сеток от прорыва используется устройство клапанного типа, которое устанавливается в каждой секции водозабора (рисунок 2.17).

При загрязнении сеток уровень воды в водоприёмном отделении увеличивается, когда перепад уровней в водоприёмном и всасывающем отделениях достигает значения ΔH , клапан 2 поднимется и часть воды сбрасывается во всасывающее отделение водозабора.

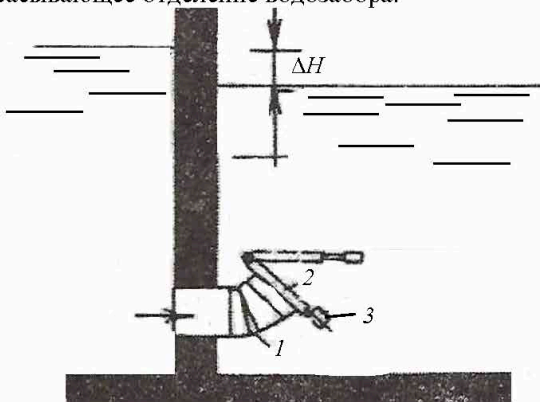


Рисунок 2.17 – Устройство для защиты сеток от прорыва клапанного типа:

1 – патрубок; 2 – клапан;
3 – груз

Пропускная способность устройства для защиты сеток от прорыва, м³/с,

$$Q = 0,2q_p, \quad (2.24)$$

где q_p – расчетный расход одной секции, м³/с.

Коэффициент расхода устройства

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{2g\gamma_0\omega^2 + \sum \xi}}, \quad (2.25)$$

где γ_0 – коэффициент удельного гидравлического сопротивления патрубка защитного устройства, $\text{с}^2/\text{м}$;

l – длина патрубка по его оси, м;

ω – площадь патрубка, м^2 ;

$\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений устройства, включающая сопротивление на входе потока в патрубок, повороте потока на 45° и выходе потока под клапан устройства.

Величина $2g\gamma_0 l \omega^2$ по сравнению с $\sum \xi$ незначительна, поэтому ей можно пренебречь.

Требуемый диаметр устройства, м,

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \mu \sqrt{2gh}}}, \quad (2.26)$$

где h – предельные потери напора, 0,3... 0,5 м.

Фактические потери, м,

$$h_{\Phi} = \frac{8Q^2}{\pi^2 \mu^2 g d^4}. \quad (2.27)$$

2.5 Водоприемники

2.5.1 Классификация водоприемников

С целью обеспечения нормальных условий работы водозаборных сооружений водоприемники должны быть защищены от попадания в них сора, взвешенных веществ, шуги, донного льда и т. п., а на водных объектах для воспроизводства водных биологических ресурсов 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.

Водоприемники классифицируются по ряду признаков:

– *способу приема воды* – открытые поверхностные, глубинные, донные, фильтрующие, инфильтрационные, комбинированные;

– *расположению относительно уровня воды* – затопленные, затопляемые при высоких уровнях воды, незатопляемые (крибы);

– *расположению водоприемных отверстий и направлению стекающего потока воды*:

а) с отверстиями – горизонтальными, вертикальными, наклонными;

б) с втеканием – лобовым, боковым, низовым;

в) с приемом воды – односторонним, двусторонним;

– *конструкции* – свайные, трубчатые, бетонные, бетонные в металлическом кожухе, железобетонные, с вихревыми камерами;

– *числу секций* – двухсекционные, трехсекционные и более.

В водозаборах руслового типа водоприемником является *оголовок*, берегового типа – *водоприемные окна*, или *отверстия*.

2.5.2 Конструктивные особенности оголовков

Эффективность работы оголовков, 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 оголовки, водоприемные отверстия которых расположены вертикально. Применяют также оголовки 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 планктоном 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 оголовков.

При лобовом заборе воды в оголовки 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.

2.5.3 Затопленные оголовки

В системах водоснабжения наиболее широко применяют **затопленные оголовки**, 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 моледи в оголовки.

По конструкции затопленные оголовки делятся:

- на *незащищенные* (деревянные, стальные, тонкостенные железобетонные) применяются на реках с легкими условиями забора воды;
- *защищенные* – на судоходных и лесосплавных водоемах и реках со сложными условиями ледохода, выполняются из бетона и железобетона.

Оголовки располагаются ниже минимального расчетного уровня воды не менее чем на 0,3 м и на 0,2 м ниже нижней кромки льда.

Раструбные стальные незащищенные оголовки применяются на реках, не используемых для лесосплава и судоходства с относительно легкими природными условиями, при небольшой (до 0,4 м³/с) производительности водозабора.

Преимущества: сборные, простые, недорогие, быстросменяемые.

Недостатки: вносят значительные возмущения в поток, труднодоступные, требуют устройства рыбозаградителей.

Раструбные свайные незащищенные оголовки (рисунок 2.18) применяются на небольших реках, не используемых для лесосплава и судоходства с относительно легкими природными условиями, при малой производительности водозабора ($0,02-0,2 \text{ м}^3/\text{с}$).

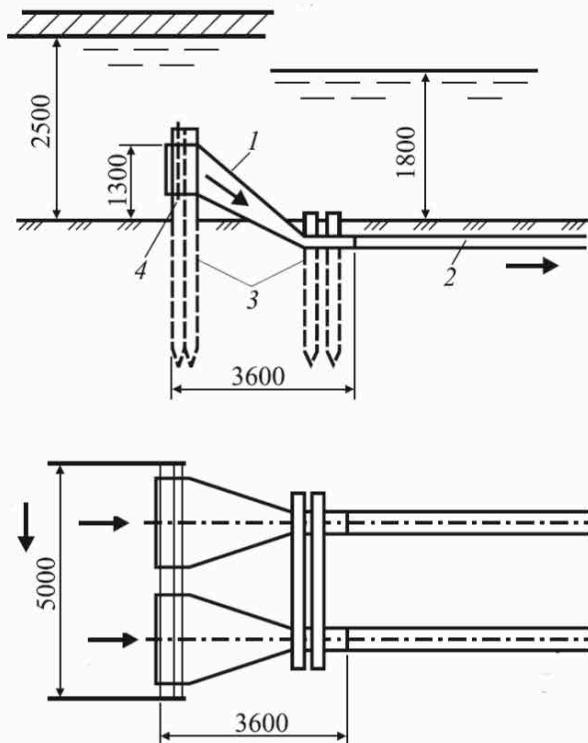


Рисунок 2.18 – Раструбный свайный незащищенный оголовок:

1 – раструб; 2 – самотечный или сифонный водовод;

3 – сваи; 4 – сороудерживающая решетка

Раструб может располагаться вертикально, наклонно или горизонтально. Иногда для их защиты от плавущих предметов выше по течению забиваются защитные сваи.

Преимущества: простой, компактный, экономичный.

Недостатки:

– вносит возмущения в поток;

- труднодоступный;
- боится ударов;
- требует установки рыбозаградителей.

Железобетонные раструбные защищенные оголовки с боковым приемом воды (рисунок 2.19) применяются на небольших лесосплавных реках с легкими и средними природными условиями при небольшой (до $1 \text{ м}^3/\text{с}$) производительности водозаборов.

Преимущества: надежно защищают концы самотечных или сифонных водоводов, позволяют забирать воду с небольшими входными скоростями, могут выполняться индустриальным способом.

Недостатки: громоздкие и тяжелые в монтаже, требуют установки рыбозаградителей, труднодоступны.

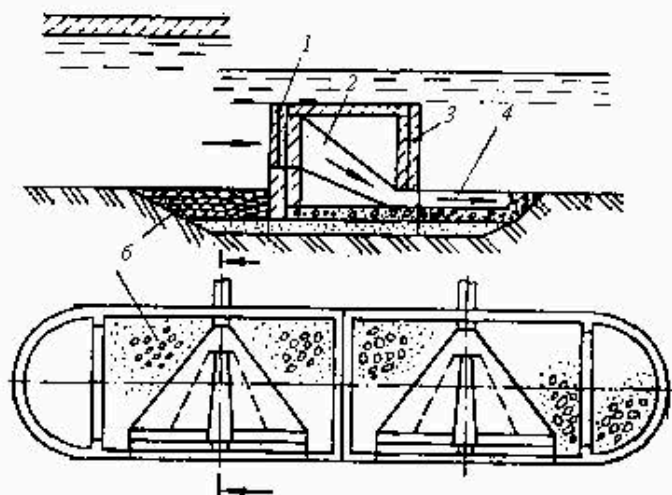


Рисунок 2.19 – Железобетонный раструбный защищенный оголовок с боковым приемом воды:

- 1 – сороудерживающая решетка; 2 – раструб; 3 – железобетонный корпус оголовка; 4 – самотечный или сифонный водовод; 5 – крепление русла камнем; 6 – загрузка галькой, щебнем или толстым бетоном

Водоприемники с вихревой камерой и щелевые применяются для приема больших количеств воды. Они обеспечивают равномерный забор воды в отдельные панели водоприемных отверстий, а также равномерный промыв всей поверхности сороудерживающих решеток. Их производительность составляет $0,7\text{--}1,0 \text{ м}^3/\text{с}$ на одну секцию.

Вихревые водоприемники бывают с *закрытой* и *открытой* камерой.

Закрытая вихревая камера представляет собой вихревой коллектор, расположенный за водоприемными отверстиями и имеющий продольную входную щель переменного сечения по длине. Вихревая камера располагается в бетонном оголовке. Коллектор имеет переменное сечение по длине и обслуживает несколько панелей водоприемных отверстий.

Водоприемник с *открытой вихревой камерой* имеет пирамидальный поток, размещенный под порогом водоприемных отверстий 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 происходит через вихревой патрубок под уровнем порога водоприемных отверстий. Эти водоприемники бывают с односторонними и двухсторонними отводами воды. На концах самотечных водоводов устанавливаются заглушки. Водоприемник с открытой вихревой камерой может иметь фильтрующую загрузку, что позволяет применять его на реках с тяжелыми шуголедовыми условиями и не предусматривать специальных устройств по рыбозащите.

Преимущества: 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.

Металлические оголовки с верхним приемом воды (рисунок 2.20) применяются на реках со средними природными условиями при недостаточных глубинах.

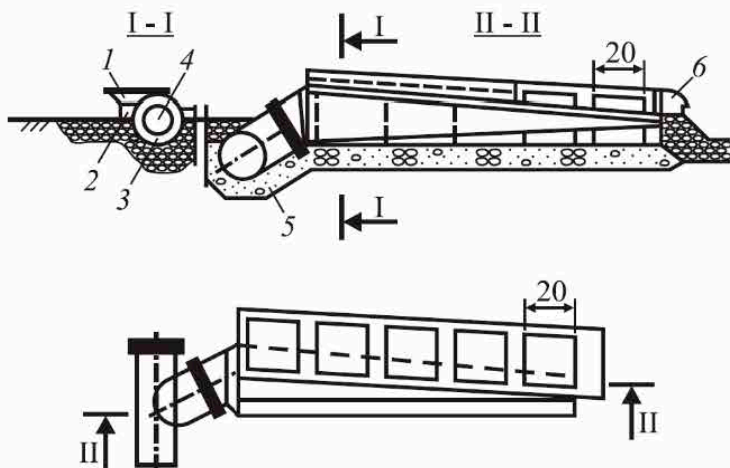


Рисунок 2.20 – Оголовок с вихревой камерой и верхним приемом воды:

1 – сороудерживающая решетка; 2 – порешетчатая камера; 3 – вихревая камера; 4 – входная щель; 5 – соединительные фланцы; 6 – струенаправляющий козырек

Преимущества: обеспечивает небольшие одинаковые по всей длине входного отверстия скорости входа воды в оголовок, может работать при шуге, хорошо промывается.

Недостатки: сложный в исполнении, недоступный для осмотра, требует устройства рыбозаградителей.

Фильтрующие простые и комбинированные оголовки (рисунок 2.21) применяются при малых глубинах потока и большом количестве донных и взвешенных наносов в средних и очень тяжелых шуголедовых условиях. Они могут применяться как при средней, так и при большой производительности. Являются надежными и не требуют организации рыбозащиты. К их *недостаткам* можно отнести необходимость в больших напорах для промывки, а также сложность при монтаже.

Фильтрующие оголовки могут иметь от 1 до 3 слоев фильтрации, толщина каждого слоя принимается не менее 0,8 м. Промывка осуществляется обратным током воды. Крупность фильтрующего слоя колеблется от 25 до 90 мм.

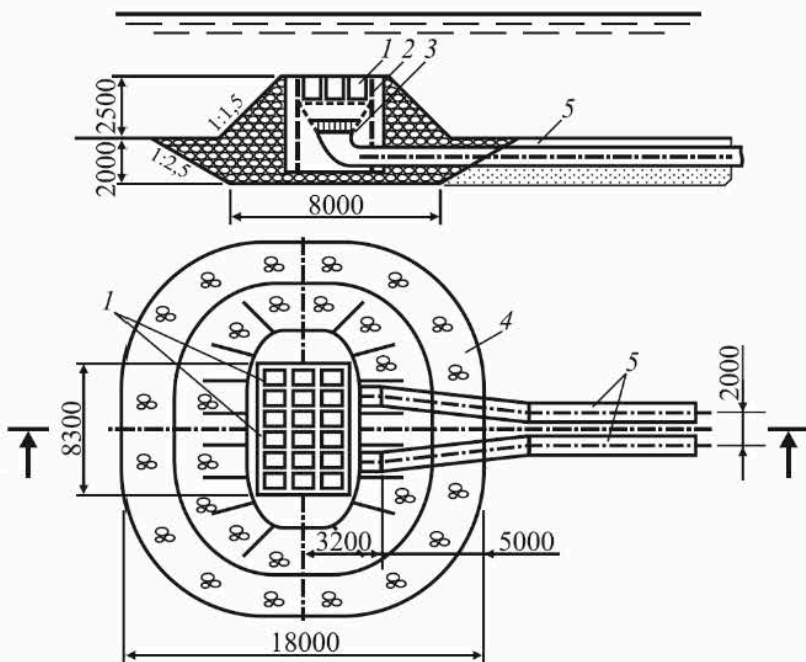


Рисунок 2.21 – Сборный фильтрующий оголовок:

- 1 – фильтрующие пластины на водоприемном отверстии;
- 2 – водоприемный раструб; 3 – направляющие на входе в самотечный или сифонный водовод; 4 – обсыпка оголовка щебнем или камнем;
- 5 – самотечные или сифонные водоводы

2.5.4 Затопляемые и незатопляемые оголовки

Затопляемые оголовки (рисунок 2.22) 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.

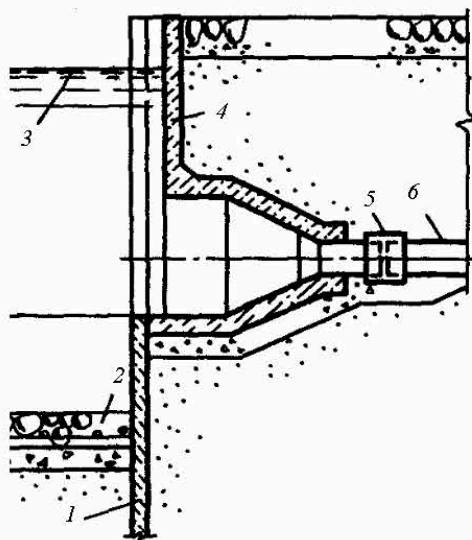


Рисунок 2.22 – Затопляемый оголовок:
1 – береговая шпунтовая стенка; 2 – крепление дна наброской камня по стальной сварной сетке;
3 – высокий меженный уровень воды; 4 – оголовок;
5 – соединительная муфта; 6 – самотечный водовод

Незатопляемые оголовки (крыбы) (рисунок 2.23) 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 используют на больших реках со значительными колебаниями уровня воды (более 10 м) для водозаборов средней и большой производительности в тяжелых природных условиях, когда технически невозможно оборудовать береговой водозабор.

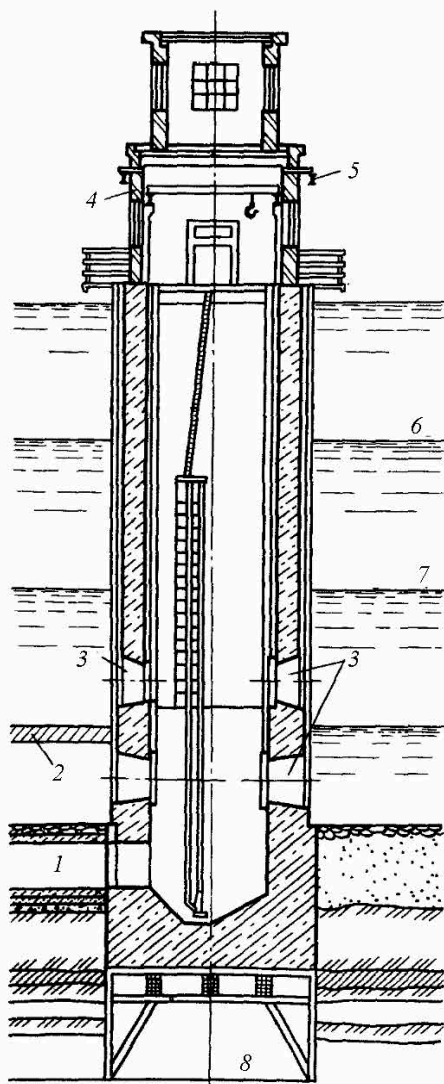


Рисунок 2.23 – Незатапливаемый оголовок речного водозабора:

1 – самотечная галерея; 2 – лед; 3 – водоприемные отверстия; 4 – мостовой кран; 5 – монорельс для тали; 6 и 7 – максимальный и минимальный уровни ледохода; 8 – заполнение кессона бетоном после опускания

2.5.5 Проектирование и расчет оголовков

При определении размеров оголовка необходимо учитывать, что оголовок должен иметь обтекаемую форму и в наименьшей степени стеснять сечение потока реки, чтобы избежать возможного переформирования русла реки у водозаборных сооружений.

Условные затопленные оголовки применяются при пологих берегах, т. е. в тех случаях, когда необходимые для расположения оголовка под уровнем воды глубины находятся на некотором (иногда значительном) расстоянии от уреза воды при минимальном ее уровне.

Определение минимальной глубины воды в источнике при проектировании оголовка.

Минимальная глубина воды в реке для размещения оголовка (рисунок 2.24), м, при отсутствии волновых нагрузок определяется по формуле

$$H_{\min}^n = p + h + s + k, \quad (2.28)$$

где p – высота порога водоприемных отверстий, м (расстояние от дна реки до низа водоприемных отверстий);

h – высота водоприемного отверстия, м;

s – высота забрала, м (расстояние от верха оголовка до уровня воды или до ложбины (подошвы) волны при волнении – не менее 0,3 м или до нижней поверхности льда – не менее 0,2 м), для равнинных рек $s \geq 0,5$ м;

k – высота, зависящая от конструкции оголовка, м (расстояние от верха водоприемного отверстия до верха оголовка), минимальная высота для равнинных рек составляет 0,2–0,3 м.

В целях борьбы с наносами высота порога p при незначительных глубинах должна быть не меньше 0,5 м, а при значительных глубинах рек, с учетом возможного отложения донных наносов у оголовка и для уменьшения поступления воды из придонных слоев, имеющих большую мутность, обычно принимается 0,7–1,5 м.

С учетом формулы (2.28) наименьшая требуемая глубина водоисточника, м, в летний период при волновых нагрузках определяется по формуле

$$H_{\min}^n = 0,5 + 0,3 + 0,2 + h + 0,5h_b = 1,0 + h + 0,5h_b, \quad (2.29)$$

где h_b – высота волны, м.

В зимний период наименьшая требуемая глубина в водоисточнике у оголовка, м,

$$H_{\min}^s = p + h + s + k + l_n, \quad (2.30)$$

где l_n – глубина погружения льда под уровень воды, м,

$$l_{\pi} = h_{\pi} \frac{\rho_{\pi}}{\rho_{\text{в}}} = 0,9h_{\pi}, \quad (2.31)$$

h_{π} – толщина льда, м;

$\rho_{\text{л}}, \rho_{\text{в}}$ – плотности льда и воды, равные соответственно 0,9 и 1,0 т/м³.

Тогда наименьшая требуемая глубина водоисточника в зимний период, м,

$$H_{\text{мин}}^{\pi} = 0,5 + 0,2 + 0,2 + h + 0,9h_{\pi} = 0,9 + h + 0,9h_{\pi}. \quad (2.32)$$

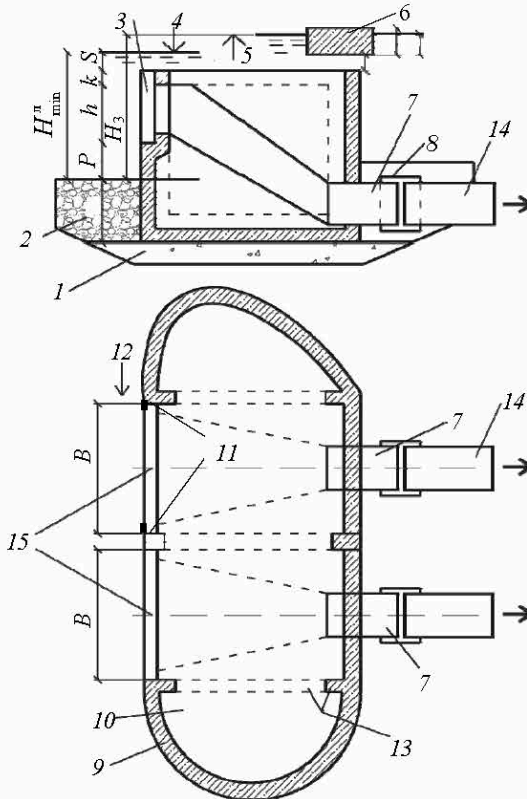


Рисунок 2.24 – Затопленный оголовок:

1 – щебеночная подготовка; 2 – заполнение пазух строительного котлована наброской камней; 3 – водоприемное отверстие; 4, 5 – соответственно летний и зимний минимальные уровни воды; 6 – лед; 7 – патрубок оголовка; 8 – соединительная муфта; 9 – корпус; 10 – заполнение тощим бетоном; 11 – направляющие швеллера; 12 – направление течения воды в реке; 13 – рама жесткости; 14 – трубопровод; 15 – решетка

Заглубление оголовка Z (рисунок 2.25) под дно реки должно быть не менее глубины возможного размыва дна. При назначении величины заглубления оголовка следует учитывать, что верх самотечного водовода должен быть заглублен под дно реки не менее чем на 0,5 м или должно быть предусмотрено крепление дна в этом месте.

Фактическая глубина водоисточника в месте расположения оголовка в зимний и летний периоды, м, определяется по формулам:

$$H_{\min}^{\text{з факт}} = Z_{\min}^{\text{з}} - Z_{\text{дн}} ; \quad (2.33)$$

$$H_{\min}^{\text{л факт}} = Z_{\min}^{\text{л}} - Z_{\text{дн}} , \quad (2.34)$$

где $Z_{\min}^{\text{з}}, Z_{\min}^{\text{л}}$ – минимальные уровни воды в источнике в зимний и летний периоды, соответственно, м;

$Z_{\text{дн}}$ – отметка дна в месте проектирования оголовка, м.

Если фактическая глубина больше расчетной минимальной глубины, то место расположения оголовка выбрано верно, если нет, то необходимо изменить проектную высоту водоприемных окон водозабора или место расположения оголовка.

Расчет статической устойчивости оголовка.

Затопленные оголовки водозаборных сооружений подвергаются воздействию силы тяжести G , сил взвешивающего P и гидростатического F давления воды (рисунок 2.25). Они находятся в состоянии статической устойчивости только тогда, когда коэффициенты их устойчивости на сдвиг и опрокидывание не меньше нормируемых, а дно русла водоисточника вокруг оголовка не размывается:

$$\begin{cases} K_{\text{сдв}} = \frac{(G-P)f}{F} \geq |K_{\text{сдв}}|_{\text{н}} , \\ K_{\text{опр}} = \frac{GX_G}{Fy_F + PX_P} \geq |K_{\text{опр}}|_{\text{н}} , \\ v_p \leq v_{\text{доп}} . \end{cases} \quad (2.35)$$

где X_G, y_F, X_P – плечи сил, действующих на оголовки сооружения относительно точки его опрокидывания;

f – коэффициент трения подошвы оголовка по его основанию, принимается по таблице 2.9;

$|K_{\text{сдв}}|_{\text{н}}, |K_{\text{опр}}|_{\text{н}}$ – допустимые коэффициенты статической устойчивости оголовков 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 водосточника, м/с;

$v_{\text{доп}}$ – допустимая при данном состоянии дна водосточника скорость неразмывающего потока, м/с.

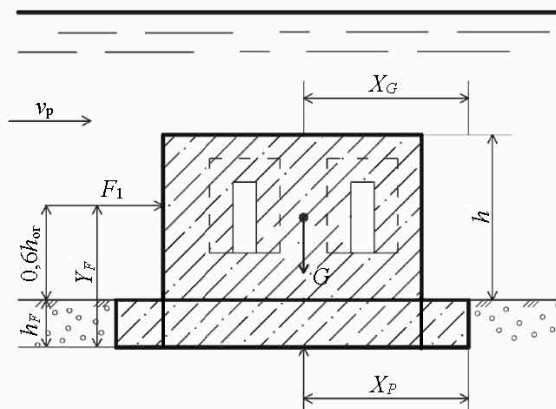


Рисунок 2.25 – Схема сил, действующих на оголовки руслового типа водозаборных сооружений

Если система уравнений (2.35) удовлетворяет требованиям устойчивости, то статическая устойчивость запроектированного оголовка обеспечена.

Таблица 2.9 – Коэффициенты трения

Вид трения	Коэффициент трения f
Бетон по бетону	0,5
Бетон по скальному грунту	0,5
Бетон по каменной наброске	0,6
Бетон по песку	0,45
Бетон по супеси	0,35
Бетон по суглинку	0,25
Бетон по глине	0,2
Ряжи по каменной наброске	0,6
Ряжи по песку	0,4

Сила, H , определяется по формуле

$$G = mg = g \sum \rho_i V_i, \quad (2.36)$$

где ρ_i – плотность материалов элементов оголовка, кг/м³, армированного бетона – 2150–2300 кг/м³, бетона – 2000–2150 кг/м³;

V_i – объем его отдельных элементов, м³.

Взвешивающая сила давления воды на оголовок, расположенный на хорошо проницаемых грунтах, Н,

$$P = g\rho_v V = g\rho_v \sum V_i, \quad (2.37)$$

где ρ_v – плотность воды, кг/м³;

$V = \sum V_i$ – общий объем оголовка, м³.

Сила гидродинамического воздействия потока на оголовок, Н,

$$F = \Psi g\rho_v \omega \frac{v_p^2}{2g}, \quad (2.38)$$

где Ψ – коэффициент лобового сопротивления оголовка потоку, принимается по таблице 2.10;

ω – площадь поперечного сечения части оголовка, воспринимающего гидродинамическое давление потока, м²;

v_p – расчетная скорость течения воды в источнике, м/с.

Таблица 2.10 – Коэффициенты лобового сопротивления

План профиля оголовка	Коэффициент лобового сопротивления Ψ
Прямоугольный	0,6
Круговой	0,4
Ромбический	0,3
Каплевидный	0,07

Плечо силы исходя из условия неравномерности распределения скоростей потока по вертикали равно $y_F = h_F + 0,6h_{ог}$.

2.6 Самотечные и сифонные водоводы

2.6.1 Характеристика самотечных и сифонных водоводов

Трубопроводы, подводящие воду из оголовка в береговой колодец, бывают самотечные и сифонные. Число этих водоводов должно быть не меньше 2, обычно число водоводов равно числу секций берегового колодца. Сифонный водовод прокладывается на значительно меньшей глубине, чем самотечный (рисунок 2.26). Однако надежность водозабора с сифонными водоводами меньше, чем с самотечными. Объясняется это тем, что при повреждении сифонного водовода вакуум в нем срывается, и подача воды прекращается. При самотечных трубах это не происходит. Поэтому сифонные водоводы допускается устраивать в водозаборах II и III категорий, применение таких водоводов для водозаборов I категории должно быть обосновано.

Для запуска сифонных водоводов 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 водоводам предъявляют повышенные требования по герметичности стыков.

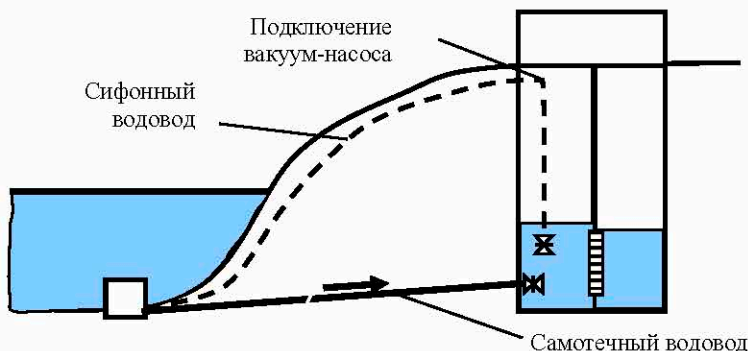


Рисунок 2.26 – Самотечный и сифонный водоводы

Самотечные водоводы прокладываются:

- на суше и возле уреза воды, ниже глубины промерзания;
- в русле:

а) над дном свободно или в обсыпке щебнем для защиты от истирания и повреждения;

б) под дном в траншее на глубине не менее 0,5 м на реках, не используемых для судоходства, и на 1,0–1,5 м – на судоходных реках для защиты от подмыва речным потоком и повреждений якорями судов.

Для предотвращения отложений наносов, сора и шуги самотечные водоводы трассируют без резких поворотов в плане и по вертикали.

Способы монтажа самотечных водоводов:

- в открытом котловане;
- спуском в траншею под воду;
- методами бестраншейной прокладки.

В зависимости от способа прокладки водоводы выполняются из стальных, железобетонных или пластмассовых труб.

Стальные трубы удобны для строительства, но подвержены коррозии, требуют антикоррозионной изоляции. Трубы свариваются в плеть, закупориваются пробками, транспортируются на место укладки, затапливаются и опускаются в траншею, устроенную земснарядом. Недлинные трубы можно прокладывать продавливанием, горизонтальным бурением. Стальные трубы

снаружи защищают весьма усиленной изоляцией, а внутри – цементом или другим покрытием.

Пропускная способность самотечных стальных водоводов может снижаться из-за их внутреннего зарастания, поэтому целесообразно использовать трубы из полимерных материалов (полиэтилен, полипропилен).

2.6.2 Проектирование и расчет самотечных и сифонных водоводов

Самотечные или сифонные водоводы водозаборов руслового типа прокладываются в одну нитку для каждой секции сооружения; укладка их в две нитки для каждой секции допускается только при соответствующем обосновании.

Диаметры самотечных и сифонных водоводов определяются по расчетному расходу при нормальном режиме работы. Также проверяется их пропускная способность при аварийном режиме.

Ориентировочные скорости движения воды в самотечных и сифонных водоводах при нормальном режиме работы водозаборных сооружений рекомендуется принимать по таблице 2.11 в зависимости от диаметра трубопроводов и категории надежности водозабора.

Диаметр самотечных или сифонных водоводов, м,

$$D_{\text{с.л}} = 1,13 \sqrt{\frac{q_p}{v_{\text{с.л}}}}, \quad (2.39)$$

где q_p – расчетный расход одной секции, м³/с;

$v_{\text{с.л}}$ – допустимая расчетная скорость в трубопроводе, м/с, определяется по таблице 2.11.

Диаметр трубопроводов подбирается как ближайший по сортаменту.

Фактическая скорость, м/с, определяется по формулам:

– при нормальных условиях эксплуатации

$$v_{\text{с.л.}}^{\text{факт}} = \frac{4q_p}{\pi D_{\text{вн}}^2}, \quad (2.40)$$

– при аварийном режиме

$$v_{\text{с.л.}}^{\text{ав}} = \frac{4q_{\text{ав}}}{\pi D_{\text{вн}}^2}, \quad (2.41)$$

где $q_{\text{ав}}$ – расход воды в момент возникновения аварии или ремонта, м³/с;

$D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубы, м.

Таблица 2.11 – Скорости движения воды в самотечных и сифонных водоводах различной категории надежности

Диаметр труб, мм	Скорость движения воды в самотечных и сифонных водоводах, м/с, в водозаборах категорий надежности	
	I	II и III
300–500	0,7–1,0	1,0–1,5
500–800	1,0–1,4	1,5–1,9
Свыше 800	1,5	2,0

Примечание – При наличии возможности обрастания водоводов дрейсенной, баянусом, мидиями и т. п. расчет потерь в водоводе следует производить при значении коэффициента шероховатости 0,02.

Фактические скорости движения воды в самотечных водоводах должны соответствовать экономичным и находиться в пределах 0,7–2,0 м/с при нормальном режиме и 0,5–2,5 м/с – при аварии.

Оптимальная скорость движения воды в самотечных водоводах водозабора должна быть не меньше незаиливающей скорости. Самотечные водоводы должны быть проверены на устойчивость к всплыванию.

Незаиливающая скорость, м/с, по формуле А. С. Образовского

$$v_{\text{нез}} = \sqrt[3]{\frac{c_{\text{в}} \omega D_{\text{с.л}} g}{0,11 \left(1 - \frac{\omega}{u}\right)^{4,3}}}, \quad (2.42)$$

где $c_{\text{в}}$ – концентрация взвешенных частиц в воде, кг/м³;

ω – средневзвешенная гидравлическая крупность взвешенных частиц в воде источника, м/с, принимается в зависимости от среднего размера частиц взвеси по таблице 2.12;

u – скорость выпадения частиц взвеси в потоке (динамическая скорость), м/с, определяется по формуле

$$u \approx 0,07 v_{\text{с.л}}^{\text{факт}}. \quad (2.43)$$

Таблица 2.12 – Средневзвешенная гидравлическая крупность взвешенных частиц

d , м	ω , м/с	d , м	ω , м/с
0,01	0,00007	0,85	0,084
0,03	0,00062	0,9	0,0875
0,05	0,00173	0,95	0,0906
0,08	0,00443	1,0	0,0944
0,1	0,00692	1,25	1,150
0,13	0,0116	1,5	1,256
0,15	0,0156	1,75	1,392
0,18	0,0174	2,0	1,529

2.6.3 Расчет потерь напора в самотечных водоводах

Потери напора в самотечных водоводах определяются как для нормального, так и для аварийного режимов работы водозабора. В случае аварии (при отключении одного водовода) водозаборы I категории надежности подачи воды должны обеспечивать весь расчетный расход забираемой воды, водозаборы II и III категории надежности подачи воды – 70 % расчетного расхода забираемой воды.

Потери напора в самотечных и сифонных водоводах рассчитываются как сумма потерь напора по длине трубопровода и потерь напора на местных сопротивлениях, кроме этого, учитываются потери напора на решетках или касетах

$$h_{\text{сн}} = h_l + \sum h_m, \quad (2.44)$$

где h_l – потери напора по длине, м;

$\sum h_m$ – местные потери, состоящие из потери при входе в решетку оголовка, при сужении трубы, в колене и т. д.

Потери напора по длине, м,

$$h_l = i l, \quad (2.45)$$

где i – удельные потери напора (на единицу длины), принимаются по таблицам гидравлического расчета, в зависимости от материала труб, скорости движения воды в трубопроводе и диаметра трубопровода;

l – длина самотечного водовода трубопровода, м.

Длина самотечного водовода определяется расстоянием на поперечном профиле реки между оголовком, который устанавливается в месте, где обеспечивается необходимая минимальная глубина, и водоприемным береговым колодцем, который устанавливается на незатопленном берегу. Длина водовода не должна превышать 100 м. При большей длине оголовки приближают к берегу, заглубляя дно, или береговой водоприемный колодец приближают к оголовку, обеспечивая одновременно подсыпку и выравнивая берег.

Суммарные потери напора на местные сопротивления, м,

$$\sum h_m = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \quad (2.46)$$

где h_1 – потери напора в решетке (на входе), м, ориентировочно можно принять равными 0,05–0,1 м для нормального режима работы, для аварийного режима работы – 0,10–0,20 м;

h_2 – потери на вход, м;

h_3 – потери напора в фасонных частях (тройнике) и арматуре (здвижке) на самотечных водоводах, м;

h_4 – потери напора на выходе (выход в колодец), м.

Потери напора на местное сопротивление, м,

$$h_i = \xi_i \frac{v^2}{2g}, \quad (2.47)$$

где ξ_i – коэффициент местного сопротивления, принимается по таблице 2.13;

v – скорость движения воды после сопротивления, м/с.

Потери напора подсчитываются как для нормального режима, так и для аварийного (выключение одного самотечного водовода на ремонт).

В результате подсчета потерь напора определяется минимальный уровень воды в приемной части берегового колодца и отметка днища колодца.

Таблица 2.13 – Коэффициенты местных сопротивлений

Вид местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления, ξ
Вход в трубу без расширения	0,5
Плавно очерченный вход в трубу	0,1
Приемная сетка без клапана	2–3
Приемный клапан с сеткой	5–10
Обратный клапан	1,7
Колено с углом 90°	0,5–0,76
Колено с углом 45°	0,25–0,30
Переход суживающийся	0,1
Переход расширяющийся	0,25
Тройник в прямом направлении	0,1
Тройник в направлении ответвления	2,0
Тройник при разделении потока	1,5
Выход из трубы в резервуар	1,0
Сварное колено	1,5
Сварной отвод с углом 45°	0,45
Задвижка (в зависимости от степени открытия)	0,15–0,2
<i>Примечание</i> – Для сварных колен коэффициент сопротивления следует увеличить на 50 %.	

2.6.4 Устойчивость самотечных водоводов на всплытие

При водовоздушной промывке самотечных водоводов, при их опорожнении во время их ремонта или профилактического осмотра нарушается статическая устойчивость самотечных водоводов.

Проверка самотечных водоводов на устойчивость к всплытию выполняется по условию

$$\frac{G}{\rho_v g \omega} \geq K_{\text{вспл}}, \quad (2.48)$$

где G – сила тяжести трубы длиной 1 м с учетом гидроизоляции, Н;

ρ_2 – плотность воды, кг/м³;

ω – площадь поперечного сечения самотечного водовода по наружному диаметру, м²;

$K_{уст}$ – коэффициент устойчивости самотечных водоводов к всплытию, принимается 1,1–1,3.

Площадь поперечного сечения самотечного водовода определяется по наружному диаметру, м²,

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (2.49)$$

Сила тяжести трубы, Н,

$$G = mg, \quad (2.50)$$

где m – масса трубы длиной 1 м с диаметром и толщиной стенок, принимается в зависимости от материала труб.

Если условие не выполняется, то прибегают к пригрузке водовода специальной обшивкой или балластными грузами.

Сила пригрузки водовода на длине 1 м, Н,

$$G_{приг} \geq K_{уст} \rho_2 g \omega - G. \quad (2.51)$$

Подводным трубопроводам, имеющим положительную плавучесть, устойчивость придается балластными грузами:

- чугунными и железобетонными в виде полуколец, устанавливаемых на деревянную зашивку футеровки и стягиваемых друг с другом болтами;
 - бетонными и железобетонными в виде седловидных блоков (рисунк 2.27), устанавливаемых с верку трубопровода без крепления;
 - разъемными кольцевыми грузами;
 - сплошными утяжеляющими покрытиями из армированного бетона.
- Сплошные утяжеляющие покрытия имеют следующие особенности:
- исключается необходимость устройства деревянной футеровки;
 - повышается надежность защиты изоляции трубопровода от воздействия микроорганизмов и разрушения диссимилируя донными наносами;
 - уменьшаются тяговые усилия при протаскивании трубопровода.

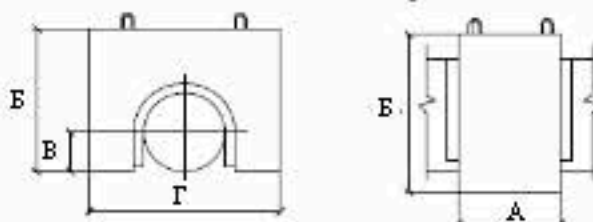


Рисунок 2.27 – Балластный груз седловидной формы

Минимальная толщина бетонных покрытий, выполняемых в заводских или полевых условиях, составляет 40 мм. В полевых условиях бетонные покрытия наносят торкретированием или бетонированием в опалубке, перед которым трубопровод подвергают гидравлическому испытанию давлением, превышающим рабочее на 25 %.

2.7 Вспомогательное оборудование

2.7.1 Приемные сетки и воронки для всасывания и излива

Для задержания взвешенных загрязнений при заборе воды насосами на концах всасывающих трубопроводов устанавливаются приемные сетки (рисунок 2.28), которые изготавливаются из листовой стали или обрезков труб.

Диаметр отверстий в сетках принимается 5–20 мм в зависимости от требований к качеству получаемой воды. Во избежание засорения сеток такого диаметра площадь всех отверстий сеток принимается в 3 раза больше, чем площадь сечения всасывающего трубопровода.

Если нет опасности попадания в насос крупных загрязнений из всасывающего отделения, способных нарушить его работу, очень часто на всасывающих трубопроводах устанавливаются конусные воронки (рисунок 2.29, таблица 2.14). Их также можно установить на трубопровод при изливе жидкости в резервуар.

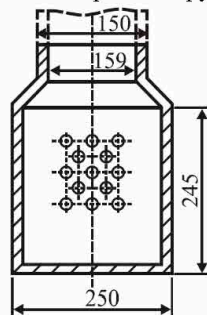


Рисунок 2.28 – Приемная стальная сварная сетка

Это позволяет значительно уменьшить сопротивление при работе насоса, как при всасывании, так и при изливе. Диаметр раструба конусной воронки составляет $D = (1,25 \dots 2)D_y$, длина $L = (1,3 \dots 1,8)(D - D_y)$, где D_y – диаметр условного прохода трубопровода.

При горизонтальном расположении всасывающих трубопроводов могут использоваться эксцентричные воронки (рисунок 2.29, в).

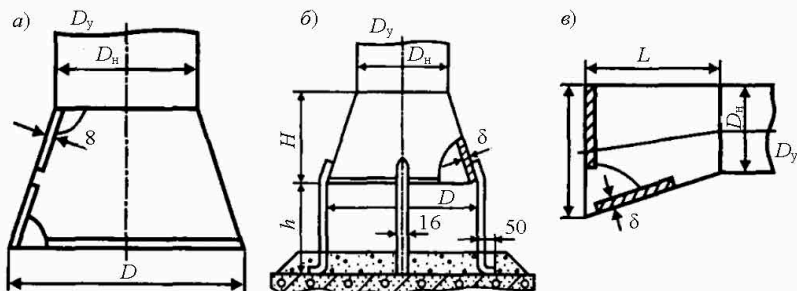


Рисунок 2.29 – Приемные воронки:

а – воронка обычная; б – воронка с опорными стойками; в – воронка эксцентрическая

Таблица 2.14 – Приемные стальные сварные воронки

Условный проход D_y , мм	Размеры, мм					
	D_n	D	H	h	L	δ
100	108	190	115	250	150	4
150	159	270	165	300	190	6
200	219	380	230	350	225	6
250	273	470	280	400	350	6
300	325	565	340	500	550	6
350	377	650	390	550	600	6
400	426	730	440	600	490	6
500	529	900	540	700	685	8
600	630	1070	840	850	680	8
800	820	1400	840	1050	705	8
1000	1020	1750	1050	1300	475	10
1200	1220	2080	1250	1550	480	10

Расположение всасывающих трубопроводов с воронками во всасывающем отделении (рисунок 2.30) определяется исходя из следующих требований:

- расстояние от трубопровода до стенки принимать не менее $(0,7 \dots 1,0)D$;
- заглубление входных отверстий от минимального уровня должно быть не менее $2D$ (см. рисунок 2.30, а, б);
- расстояние от нижней кромки входных отверстий до дна колодца должно быть не менее $0,8D$, но в любом случае не менее 500 мм;
- при наличии двух и более труб в одной камере расстояние между ними во избежание взаимного влияния должно быть не менее $(1,5 \dots 2)D$.

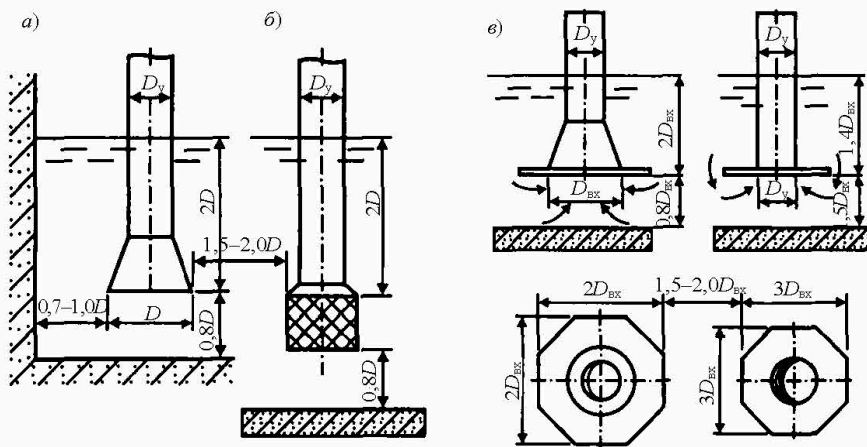


Рисунок 2.30 – Расположение всасывающих трубопроводов в приемном колодце при установке на концах труб:

а – воронки, б – приемных сеток; в – диафрагм

Для устранения образования воронок в существующих камерах при увеличении производительности системы водоснабжения на концах труб рекомендуется устанавливать диафрагмы (см. рисунок 2.30, в). Установка такой диафрагмы равносильна заглублению конца всасывающей трубы на 30 %.

2.7.2 Задвижки и клапаны

Задвижки предназначены для перекрытия потока жидкости и отключения отдельных участков трубопроводов. Они бывают параллельные и клиновые с выдвижным или невыдвижным шпинделем. Управление может осуществляться как ручным, так и электрическим приводом.

Для отключения различных частей (секций, камер) водозаборных сооружений применяются **затворы**, которые бывают двух типов: постоянные и временные. К временным относятся щитовые плоские затворы, которые устанавливаются на период ремонта отдельных частей водозабора или на случай какой-либо аварии на сооружении.

При небольших гидростатических давлениях и для малых водозаборных окон эти затворы изготавливаются деревянными (таблица 2.15); для крупных водозаборных окон и при больших гидростатических давлениях – металлическими (таблица 2.16), которые свариваются из швеллеров, уголков и листовой стали.

Поворотные обратные клапаны предназначены для предотвращения оттока воды в обратном направлении при выключении насоса.

Таблица 2.15 – Щитовые деревянные затворы

Размеры, мм				Допустимый напор, м	Масса, кг
<i>H</i>	<i>L</i>	<i>l</i>	<i>b</i>		
1000	80	170	80	8	101
1000	890	170	110	15	117
1950	1850	400	170	8	684
1950	1850	400	220	15	820

Таблица 2.16 – Щитовые металлические затворы

Размеры, мм				Допустимый напор, м	Масса, кг
выходное окно		<i>H</i>	<i>L</i>		
высота	ширина				
2000	1250	2100	1005	10	420
2500	1250	2600	1255		506

Поворотные обратные клапаны устанавливаются:

- на напорном трубопроводе между насосом и запорной арматурой;
- напорных водоводах около насосных станций для защиты их от затопления при нарушении герметичности коммуникаций в насосной станции.

Предохранительные клапаны устанавливаются на напорных водоводах для защиты от повышенного давления, гашения гидравлического удара, выпуска и заземления воздуха с целью предотвращения вакуума. Бывают пружинные и рычажные предохранительные клапаны.

Приемные обратные клапаны устанавливаются на всасывающей трубе насоса для заполнения трубы и насоса водой перед пуском. Также они используются для предохранения насоса от попадания в него крупного сора.

2.7.3 Грузоподъемное оборудование

Грузоподъемное оборудование используется для монтажа оборудования и трубопроводов, а также при проведении ремонтных работ. Тип и его параметры принимаются в зависимости от назначения и требуемой грузоподъемности:

- при массе поднимаемого груза до 5 т предусматриваются *ручные тали*, перемещающиеся с помощью «кошки» по монорельсу, или *подвесные однобалочные краны*;

- при массе груза более 5 т – *мостовые ручные краны, электрические тали* грузоподъемностью до 10 т;

- при подъеме груза на высоту более 6 м при длине кранового пути более 18 м применяется *электрическое крановое оборудование*.

В помещениях с крановым оборудованием необходимо предусматривать монтажные площадки, на которые оборудование доставляется такелажными средствами или только на монорельсе.

Для обслуживания плоских решеток и сеток обычно используются *лебедки, кошки* или *тали*.

Грузоподъемность кошек или талей, кг, определяется исходя из необходимости преодоления силы тяжести решетки (сетки) и силы трения в пазах по формуле

$$R = \left[m + f \left(h + \Psi \frac{u^2}{2g} \right) \rho_v \omega \right] k, \quad (2.52)$$

где m – масса решетки или сетки, кг;

f – коэффициент трения рамки решетки или сетки в пазах, определяемый по таблице 2.17;

h – перепад уровней воды на сетке или решетке, м;

Ψ – коэффициент обтекания стержней или проволок решетки или сетки, принимаемый по таблице 2.18;

u – скорость потока на подходе к решетке или сетке, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

ρ_v – плотность воды, кг/м³;

ω – площадь решетки или сетки, м²;

k – коэффициент запаса, принимается равным 1,5.

Перепад уровней, м, определяется по формулам:

– на сетке

$$h = Z_{\text{ис}}^{\text{max}} - Z_{\text{ис}}^{\text{min ав}}; \quad (2.53)$$

– на решетке

$$h = Z_{\text{пр}}^{\text{max}} - Z_{\text{пр}}^{\text{min ав}}. \quad (2.54)$$

Таблица 2.17 – Коэффициенты трения

Вид трения	Коэффициент трения f
Сталь по стали	0,3
Сталь по бетону	0,5
Сталь по швеллеру с одной стороны и железобетону с другой стороны	0,45

Таблица 2.18 – Коэффициенты обтекания

План профиля стержней или проволок	Коэффициент обтекания Ψ
Круглый	0,4
Квадратный	0,6
Прямоугольный	0,6
Ромбический	0,3
Эллипсовидный	0,07

Необходимая грузоподъемная сила устройства для подъема затворов или щитов водозаборных сооружений определяется по формуле (2.52).

Тали выпускаются:

- подвесные с червячным или шестеренным механизмом подъема;
- передвижные ручные (без механизма и с механизмом передвижения);
- электрические (с ручным и электрическим механизмом передвижения).

Ручные тали изготавливаются грузоподъемностью до 12,5 т при высоте подъема 3–12 м, электрические тали – грузоподъемностью до 10 т при высоте подъема 6–36 м.

Из подвесных талей предпочтение следует отдавать *червячным талям*, так как они имеют более простую и надежную конструкцию, а также дешевле шестеренных.

Электрические тали представляют собой самоходную тележку, передвигающуюся по подвесному монорельсу из двутавра, который располагается, как правило, вдоль здания над осью установки насосных агрегатов. Специальные тележки обычно выполняются с электроприводом и называются *тельферами*, грузоподъемность которых составляет 0,25–5 т.

К тележке снизу крепится канатный барабан с редуктором, электродвигателем и тормозным устройством. Управление талью осуществляется с пола

подвесным переключателем. Высота подъема талей составляет разность отметок наивысшего положения крюка и пола сооружения. В грузоподъемность тали входят масса груза и масса устройств для строповки.

Кошки предназначены для подвешивания тали и перемещения груза по подвесному пути (монорельсу) из двутавра. Кошка грузоподъемностью 1 т движется по двутаврам № 16, 18 и 20 (при радиусе закругления пути не менее 1,5 м); расстояние от низа двутавра до грузовой траверсы составляет 80 мм. Масса подъемного механизма, подвешиваемого к кошке, в ее грузоподъемность не входит.

Для монтажа и демонтажа негромоздкого насосного оборудования, задвижек, обратных клапанов, затворов дисковых, предохранительных клапанов применяются как тали, так и кран-балки.

Краны подвесные однобалочные наиболее часто устанавливаются в водопроводных сооружениях, так как для них не требуются подкрановые пути, что упрощает строительную часть сооружений. Кран подвесной однобалочный представляет собой отрезок двутавра, подвешенный к двум кареткам, каждая из которых передвигается по подвесному крановому пути из двутавра (подвешенному к балкам перекрытия). По балке (двутавру), на которой находятся каретки и механизм перемещения крана, движется ручная или электрическая таль для подъема груза.

Краны подвесные *ручные* выпускаются грузоподъемностью 0,5–5 т, длиной 3–12 м, высотой подъема груза 3–12 м; *электрические* – грузоподъемностью 1–5 т, длиной 3,6–18 м, высотой подъема груза 6–36 м, при скорости его подъема 0,13 м/с, скорости передвижения тали 0,33 м/с и передвижения крана 0,5 м/с.

Подкрановые балки подвешиваются или к балкам перекрытия, или к специально уложенным балкам. Если на водозаборных сооружениях установлено большое число насосных агрегатов (четыре и больше) или агрегаты имеют значительную массу и габариты, то рациональнее вместо неподвижных балок установить один *мостовой кран* (ручной или с электроприводом). Такой кран позволяет поднимать груз и перемещать его в горизонтальной плоскости в нужную точку машинного зала.

Мостовые краны (ручные и электрические) в зависимости от грузоподъемности и пролета изготавливаются однобалочными грузоподъемностью 0,5–10 т и с пролетами 5–11 м и двухбалочными при грузоподъемности 5–20 т и пролетах 8–17 м (рисунок 2.31).

Подкрановые пути укладываются на консоли колонн или пилястры стен. Грузоподъемность ручных мостовых кранов составляет 3,2; 5 и 8 т, пролеты – 4,5; 7,5; 10,5; 13,5; 16,5 м (допускается изготовление кранов с увеличенными на 0,5 м пролетами для подъема грузов на высоту до 12 м).

Электрические однокрюковые краны выпускаются грузоподъемностью 5 и 10 т, пролетами 11–32 м.

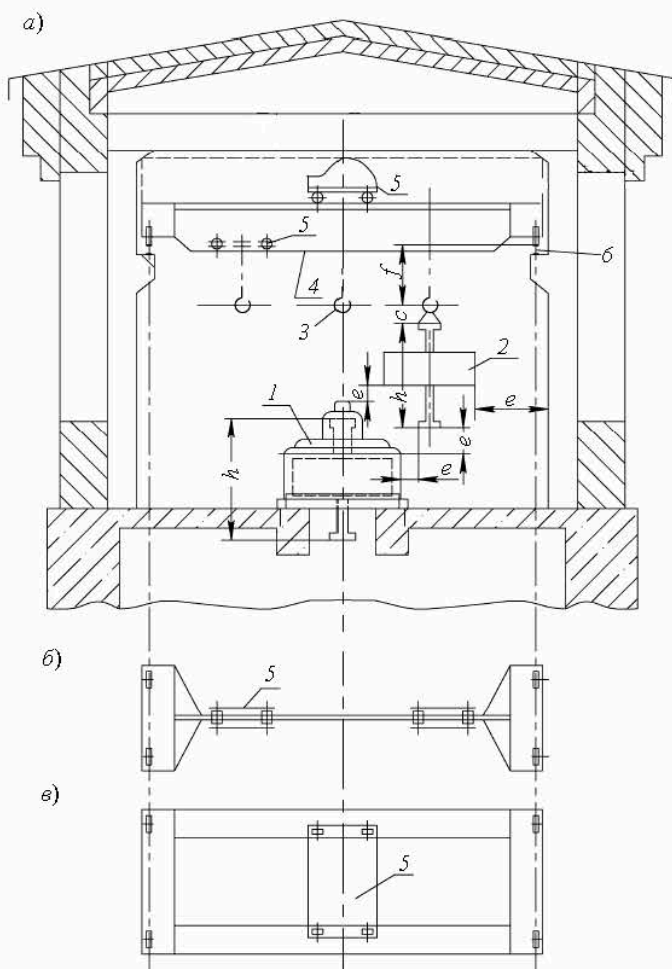


Рисунок 2.31 – Установка мостового крана в машинном зале насосной станции I подъема:

а – разрез машинного зала; *б* – однобалочный кран (тележка 5 перемещается по нижнему поясу балки); *в* – двухбалочный кран (тележка 5 перемещается по верхнему поясу балки); 1 – электродвигатель; 2 – ротор; 3 – верхнее положение крюка; 4 – мостовой кран; 5 – тележка; 6 – подкрановый рельс; *h* – высота ротора; *e* – габарит приближения ротора при его перемещении к оборудованию и конструкции, равный 0,5 м; *c* – стропы длиной 0,8–1,0 м; *f* – расстояние до крюка от головки подкранового рельса (50–650 мм в зависимости от типа крана)

При грузоподъемности от 5 до 50 т и пролетах от 11 до 32 м можно применять *электрические мостовые краны общего назначения*.

Мостовые радиальные краны (поворачивающиеся вокруг центральной опоры) предназначены для установки их в насосных станциях круглой формы в плане.

Мостовые радиальные краны грузоподъемностью 5 и 8 т с ручным приводом состоят из двутавровой балки, по которой передвигается таль. Балка с одной стороны заканчивается цапфой с радиально-сферическим подшипником, воспринимающим вертикальную нагрузку от груза и крана и передающим ее на центральную опору; с другой стороны несущая балка соединена с торцевой балкой (изогнутой в плане), которая оборудована колесами (приводным и холостым), передвигающимися по круговому рельсу. Торцевая балка с несущей соединена подкосами. На одном подкосе расположен приводной механизм (ручной) передвижения крана. Вращение приводного колеса осуществляется тяговой цепью через звездочку, трансмиссию и пару шестерен, одна из которых выполнена вместе с ходовым колесом. Кран грузоподъемностью 10 т с электроприводом и талью имеет аналогичную конструкцию. Радиальные краны изготавливаются по индивидуальному заказу, а тали кранов выпускаются серийно.

Для *насосных станций открытого типа* либо применяются краны козлового типа, которые перемещаются по рельсовым путям, уложенным по подземной части станции, либо указанные выше грузоподъемные устройства монтируются на специальных металлических или железобетонных каркасах, устанавливаемых также на надземной части.

Грузоподъемность кранов, кран-балки определяется по массе наибольшей монтажной единицы.

Расчетной подъемной силой при выборе грузоподъемных устройств считается *масса наиболее тяжелой детали монтируемых насосных агрегатов*: ротора двигателя или насоса, статора двигателя или корпуса насоса. Когда таких данных нет, при предварительных расчетах максимальная масса детали принимается в пределах 50–60 % от общей массы агрегата.

При горизонтальных агрегатах иногда за расчетную грузоподъемность принимается полная масса двигателя, чтобы не увеличивать общую длину здания станции, так как при выемке ротора на месте установки агрегата требуется значительное увеличение расстояния между агрегатами. Для облегчения и ускорения выполнения ремонтных работ при массе деталей более 3–5 т рекомендуется грузоподъемное оборудование с электроприводом.

При выборе типа грузоподъемных устройств необходимо учитывать возможность их использования при съеме монтажных единиц с транспортного средства и доставки к месту установки. Для этого в перекрытиях водозаборных сооружений проектируются монтажные люки, а в стенах – дверные проемы. А на водозаборах небольшой производительности грузоподъемные устройства выводятся за пределы водозабора.

2.8 Насосные станции I подъема

2.8.1 Характеристика насосного оборудования

Для подачи воды от водозабора на очистные сооружения используется **насосная станция I подъема**, которая в большинстве случаев совмещается с ним, если окружающие условия позволяют это сделать. Для оснащения станции первого подъема применяются насосные агрегаты, предназначенные для перекачивания воды из поверхностных водных объектов, преимущественно центробежные вертикальные и горизонтальные (консольные, консольно-блочные, линейные, с двухсторонним подводом воды), осевые насосы, а также насосные агрегаты с погружным монтажом.

Количество рабочих насосных агрегатов на станции принимается минимальным, как правило, не менее двух при большой производительности. Увеличение количества рабочих насосных агрегатов приводит к возрастанию строительного объема насосной станции и усложнению условий эксплуатации [12].

Кроме основных на водозаборных сооружениях устанавливаются *вспомогательные насосы* в следующих случаях:

- для откачки осадка из сеточных отделений, а также для их опорожнения при проведении ремонтных работ в каждой секции;
- повышения напора с целью промыва вращающихся сеток при возможной нехватке напора от основных насосов;
- откачки из насосной станции профильтровавшейся воды;
- вакуум-насосы – для откачки воздуха из всасывающих водоводов и корпусов основных насосов и заполнения их водой перед пуском (если насос устанавливается выше минимального уровня воды).

Для удаления наносов из приемной камеры используются водоструйные или центробежные насосы. Загрязнения большей площади, как правило, удаляются вручную после отключения секции водозабора, которую необходимо очистить.

2.8.2 Проектирование насосных станций I подъема

Параметры рабочих насосов находятся исходя из требуемой надежности подачи воды на станцию водоподготовки.

Режим подачи насосной станции (НС) I подъема зависит от режима работы водопроводных очистных сооружений в течение суток.

При постоянном режиме работы подача НС I подъема, м³/с, рассчитывается исходя из среднего часового расхода в сутки с максимальным водопотреблением с учетом расхода воды на собственные нужды станции водоподготовки по формуле

$$Q_{ис} = \frac{\alpha Q_{\max \text{ сут}}}{3600T}, \quad (2.55)$$

где α – коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды станции водоподготовки, принимается в зависимости от использования промывной воды: 1,03–1,04 – при повторном использовании промывной воды; 1,1–1,14 – без повторного использования промывной воды;

$Q_{\max \text{ сут}}$ – максимальный суточный расход, м³/сут;

T – количество часов работы очистных сооружений, ч.

На насосных станциях I подъема необходимо предусматривать минимальное количество рабочих насосных агрегатов.

Количество рабочих насосных агрегатов принимается равным или кратно числу секций водозабора.

При использовании n параллельно работающих насосов требуемая подача одного насоса, м³/с,

$$Q_n = \frac{(1+0,05)Q_{ис}}{n}, \quad (2.56)$$

где n – число рабочих насосов, шт.

В насосных станциях для группы насосных агрегатов одного назначения, подающих воду в одну и ту же сеть или водоводы, количество резервных агрегатов принимается по таблице 2.19 в зависимости от категории надежности насосной станции.

Таблица 2.19 – Количество резервных агрегатов в насосных станциях

Количество рабочих насосных агрегатов одной группы, шт	Количество резервных насосных агрегатов, шт., в насосных станциях категорий		
	I	II	III
До 6 включ.	2	1	1
6–9	2	1	–
Свыше 9	2	2	–
<i>Примечания</i> 1 Рабочих насосных агрегатов одной группы, кроме пожарных, должно быть не менее двух. В насосных станциях II и III категорий, при обосновании, допускается установка одного рабочего насосного агрегата. 2 В насосных станциях II категории при количестве рабочих насосных агрегатов 10 и более один резервный насосный агрегат допускается хранить на складе.			

Требуемый напор насосов станции I подъема рассчитывается в соответствии с принятой схемой ее подачи для конкретной схемы размещения насосной станции в системе водоснабжения.

При подаче воды на очистные сооружения (рисунок 2.32) требуемый напор, который должны создавать насосы, м,

$$H = H_{\Gamma} + \sum h_{\text{вс}} + \sum h_{\text{н}} + h_{\text{и}}, \quad (2.57)$$

где H_{Γ} – геометрическая высота подъема воды насосами, м,

$\sum h_{\text{вс}}$ – сумма потерь напора во всасывающем водоводе, м;

$\sum h_{\text{н}}$ – сумма потерь напора в напорном трубопроводе НС I подъема и водоводе, м;

$h_{\text{и}}$ – свободный напор на излив воды в смеситель, м, принимается 0,5–1,0 м.

Геометрическая высота подъема воды насосами, м,

$$H_{\Gamma} = Z_{\text{см}} - Z_{\text{мин}}^{\text{вс}}, \quad (2.58)$$

где $Z_{\text{см}}$ – максимальный уровень воды в сооружениях станции водоподготовки (смесителях, барабанных сетках, микрофилтрах), м;

$Z_{\text{мин}}^{\text{вс}}$ – минимальный уровень воды во всасывающем отделении берегового колодца, м.

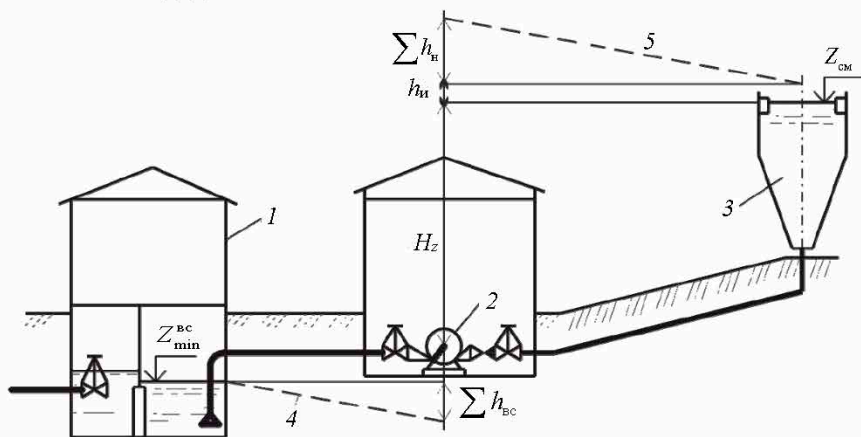


Рисунок 2.32 – Расчетная схема определения напора насосной станции I подъема:
1 – береговой колодец; 2 – насос I подъема; 3 – смеситель очистной станции; 4 – пьезометрическая линия всасывающего трубопровода; 5 – пьезометрическая линия напорного трубопровода

Для предварительных расчетов высоту расположения смесителя можно принимать 4–6 м над поверхностью земли, при окончательных расчетах эта высота устанавливается в соответствии с проектом очистной станции.

При подаче воды непосредственно в водопроводную сеть полная высота подъема насосами I подъема, м,

$$H = H_r + \sum h_{\text{вс}} + \sum h_n + H_{\text{св}}, \quad (2.59)$$

где H_r – разность отметки расчетного уровня воды в источнике и геодезической отметки диктующей точки, м;

$H_{\text{св}}$ – требуемый свободный напор в точке водопроводной сети, принятой за расчетную, м.

Расчет всасывающих и напорных трубопроводов насосных станций выполняется применительно к нормальным и аварийным условиям работы. Скорости течения воды в водоводах при нормальных условиях рекомендуется принимать по таблице 2.20.

Таблица 2.20 – Скорости движения воды в трубопроводах насосных станций

Диаметр труб, мм	Скорость движения воды в трубопроводах, м/с	
	всасывающих	напорных
До 250	0,6–1,0	0,8–2,0
250–800	0,8–1,5	1,0–3,0
Свыше 800	1,2–2,0	1,5–4,0

Количество всасывающих трубопроводов на насосной станции I подъема I и II категории надежности подачи воды принимается не менее двух. Для каждого насоса желательно иметь свой всасывающий трубопровод. При выключении одного трубопровода остальные должны быть рассчитаны на пропуск полного расчетного расхода для насосных станций I и II категорий и 70 % расчетного расхода – для III категории. Для насосных станций III категории допускается устройство одного всасывающего трубопровода.

Всасывающий трубопровод должен иметь непрерывный подъем к насосу с уклоном не менее 0,005.

Диаметр всасывающих труб, м, определяется по расчетному расходу при нормальном режиме работы водозабора и допустимой скорости движения воды в трубах по формуле

$$D_{\text{вс}} = 1,13 \sqrt{\frac{Q_n}{v_t}}, \quad (2.60)$$

где Q_n – расчетный расход одного насоса, м³/с;

v_t – допустимая расчетная скорость в трубопроводе, м/с, определяется по таблице 2.20.

Трубопроводы в насосных станциях, а также всасывающие трубопроводы за пределами машинного зала, как правило, выполняются из стальных труб на сварке с применением фланцев для присоединения к арматуре и насосам.

Диаметр всасывающих труб подбирается как ближайший по сортаменту.
Фактическая скорость, м/с, определяется по формулам:
– при нормальных условиях эксплуатации

$$v^{\Phi} = \frac{4Q_{\text{н}}}{\pi D_{\text{вс.т}}^2}; \quad (2.61)$$

– при аварийном режиме

$$v_{\text{ав}}^{\Phi} = \frac{4Q_{\text{ав}}}{\pi D_{\text{вс.т}}^2}, \quad (2.62)$$

где $D_{\text{вс.т}}$ – принятый диаметр всасывающего трубопровода, м;

$Q_{\text{ав}}$ – аварийный расход, м³/с.

Для НС I подъема аварийный расход, м³/с, определяется по формулам:

– I и II категорий

$$Q_{\text{ав}} = \frac{Q_{\text{нс}}}{n-1}; \quad (2.63)$$

– III категории

$$Q_{\text{ав}} = 0,7 \frac{Q_{\text{нс}}}{n-1}, \quad (2.64)$$

где $Q_{\text{нс}}$ – полный расчетный расход насосной станции I подъема, м³/с;

n – количество всасывающих трубопроводов.

Количество линий напорных водоводов от НС I (после камеры переключения) принимается с учетом категории системы водоснабжения и очередности строительства:

– I и II категорий – не менее двух;

– III категории допускается устройство одного напорного водовода.

В случае отключения одного водовода или его участка общая подача воды объекту на хозяйственно-питьевые нужды может быть снижена не более чем на 30 % расчетного расхода.

Для напорных водоводов применяются *пластмассовые и стальные трубы*.

Диаметр напорных труб, м, определяется по расчетному расходу при нормальном режиме водозабора:

$$D_{\text{н}} = 1,13 \sqrt{\frac{Q}{v_{\text{т}}}}, \quad (2.65)$$

где Q – расчетный расход по одной нитке напорного водовода, м³/с,

$$Q = \frac{Q_{\text{нс}}}{n}, \quad (2.66)$$

где Q_{nc} – производительность насосной станции I подъема, м³/с;

n – количество ниток водовода.

Диаметр напорных труб подбирается как ближайший по сортаменту.

Фактическая скорость в напорном водоводе, м/с:

– при нормальном режиме эксплуатации

$$v^{\phi} = \frac{4Q}{\pi D_{н.т}^2}; \quad (2.67)$$

– при форсированном режиме

$$v^{\phi} = \frac{4Q_{ав}}{\pi D_{н.т}^2}, \quad (2.68)$$

где $Q_{ав}$ – аварийный расход при выключении одной из ниток, м³/с;

$D_{н.т}$ – принятый диаметр напорного водовода, м.

Аварийный расход при выключении одной из ниток водовода, м³/с,

$$Q_{ав} = 0,7 \frac{Q_{nc}}{n-1}. \quad (2.69)$$

Потери напора в водоводах при нормальном и аварийном режимах эксплуатации, м,

$$\sum h = \sum h_l + \sum h_m; \quad (2.70)$$

$$\sum h^{ав} = \sum h_l^{ав} + \sum h_m^{ав}, \quad (2.71)$$

где $\sum h_l, \sum h_l^{ав}$ – сумма потерь по длине при нормальном режиме и при, м;

$\sum h_m, \sum h_m^{ав}$ – сумма местных потерь напора при нормальном и форсированном режиме, м.

Потери напора по длине могут быть рассчитаны с использованием таблиц Ф. А. Шевелева [15], по которым определяются диаметры всасывающих и напорных труб, соблюдая нормируемые скорости движения воды при заданных значениях экономического фактора и вычисленных значениях расхода воды.

Значения местных сопротивлений в напорных водоводах можно принять в размере 5–10 % от потерь по длине, т. е.

$$\sum h_m = (0,05 \dots 0,1) \sum h_l; \quad (2.72)$$

$$\sum h_m^{ав} = (0,05 \dots 0,1) \sum h_l^{ав}. \quad (2.73)$$

Потери напора внутри насосной станции ориентировочно могут быть приняты на всасывающих трубопроводах – 1,0–1,5 м, напорных – 2,0–2,5 м.

2.9 Обслуживание водозаборных сооружений

2.9.1 Промывка сеток и решеток

Важнейшим условием эксплуатации водоочистных сеток (вращающихся и плоских) является их своевременная и качественная промывка.

Масса взвешенных веществ, извлекаемых сетками из воды, кг/сут, в наиболее напряженные дни (форсированный режим, паводок и т. д.)

$$m_{\text{взв}} = \frac{C_{\text{взв}} \rho_{\text{взв}} Q_{\text{в}}}{1000}, \quad (2.74)$$

где $C_{\text{взв}}$ – концентрация наиболее крупных фракций взвесей, задерживаемых сетками, мг/дм³;

$\rho_{\text{взв}}$ – плотность взвесей, кг/м³;

$Q_{\text{в}}$ – производительность водозаборного сооружения, м³/сут.

При очистке плоских сеток их поднимают с помощью специальных механизмов, устанавливают в ванну и промывают вручную струей воды из брандспойта или, реже, через перфорированные трубы. Перед подъемом рабочей сетки на промывку должна устанавливаться запасная сетка.

Диаметр перфорированной трубы принимается по скорости течения воды при промывке, равной 1–1,5 м/с, но он должен быть не менее 50 мм.

Отверстия диаметром 3–6 мм располагаются в один или два ряда, обычно через 10 см друг от друга в шахматном порядке.

Потери напора в перфорированной трубе, м, определяются исходя из максимальной скорости движения воды в ней

$$h_{\pi} = \xi \frac{v^2}{2g}, \quad (2.75)$$

где ξ – коэффициент гидравлического сопротивления, для прямолинейной распределительной трубы с круглыми отверстиями определяется по формуле

$$\xi = \frac{2,2}{K_{\pi}^2} + 1, \quad (2.76)$$

K_{π} – коэффициент перфорации, определяется как отношение суммарной площади отверстий к площади поперечного сечения прямолинейной трубы, $0,15 \leq K_{\pi} \leq 2$,

$$K_n = n \frac{d_n^2}{d_r^2}, \quad (2.77)$$

n – число отверстий в трубе, шт.;

d_n – диаметр отверстий, мм;

d_r – диаметр трубы, мм.

При расчете расхода воды на промывку из брандспойта диаметр пожарного рукава длиной 125 м принимается равным 66 мм или 50 мм с диаметром spryska равным 19 мм.

Потери напора на 1 м длины рукава, м,

$$h_p = K Q_{np}, \quad (2.78)$$

где K – коэффициент, равный 0,012 при диаметре рукава 50 мм и 0,00385 – при диаметре 66 мм;

Q_{np} – промывной расход, м³/с.

Потери напора при промывке учитываются в расчете напора основного насоса.

При гидравлическом способе промывки плоских сеток расход воды на одну промывку, м³/с,

$$Q_{np1} = n_n \mu \omega_o \sqrt{2gH}, \quad (2.79)$$

где n_n – число одновременно работающих промывных устройств: при промывке из брандспойта в одной секции водозабора $n_n = 1$, при промывке из перфорированной трубы n_n равно числу отверстий в трубе;

μ – коэффициент расхода; при истечении воды из малого круглого отверстия $\mu = 0,62$;

ω_o – площадь отверстий, через которые происходит истечение промывной воды, м²;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²;

H – напор воды в промывном устройстве, м, равен напору, развиваемому основными насосными агрегатами насосной станции первого подъема.

Площадь отверстий, через которые происходит истечение промывной воды, м²:

– при промывке из брандспойта

$$\omega_o = \frac{\pi d_c^2}{4}; \quad (2.80)$$

– при промывке из перфорированной трубы

$$\omega_o = \frac{\pi d_n^2}{4}. \quad (2.81)$$

Промывка и удаление загрязнений во вращающихся ленточных сетках механизированы, а включение их на промыв автоматизировано.

Предусматривается сначала подача воды на промыв и лишь затем по сигналу от датчика давления на промывной трубе сетка приводится в движение. Струями воды из промывного устройства смывают с сеточного полотна сор, который вместе с промывной водой попадает в грязевой желоб. Вращающиеся круглые щетки позволяют повысить эффективность промыва сетчатого полотна от сора.

Общий расход воды на промывку вращающихся сеток, м³/сут,

$$Q_{\text{пр}} = Q_1 n_{\text{пр}} n, \quad (2.82)$$

где Q_1 – расход воды на промывку одной вращающейся сетки, м³/сут;

$n_{\text{пр}}$ – необходимое число промывок в сутки, $n_{\text{пр}} = 1 \dots 2$.

n – количество вращающихся сеток, шт.

Расход воды для промывки зависит от степени загрязненности сетки, скорости ее вращения, размеров ячеек полотна, вида загрязнений. Вода на промывку подается под давлением 0,3–0,4 МПа.

Расход воды составляет 15–30 л/с при напоре 15–40 м. Очистка сеток производится при достижении перепада напора на сетке в 5–10 см.

Скорость движения сетки принимается в зависимости от засоренности воды и составляет 4–10 м/мин. При использовании на водозаборных сооружениях с учетом требований рыбозащиты конусных сеток с подводным промывом налипающих загрязнений и гидравлическим рыбомусороотводом, струереактивных рыбозаградителей и т. д. в сетках создается сплошной турбулентный поток воды ножевой формы, который, очищая полотно сетки, одновременно отпугивает рыбу.

Суммарный расход воды на промывку сеток водозабора обычно не превышает 2 % его расчетной производительности:

$$Q_{\text{пр}} \leq 0,02 Q_{\text{в}}. \quad (2.83)$$

При расходах воды на промывку, превышающих 5 % расчетной производительности водозабора, гидравлические способы регенерации сеток становятся экономически невыгодными и применяется *водовоздушная промывка* сеток, а также интенсификация процессов отделения от них загрязнений вибрационным способом.

При промывке сеток *гидроимпульсным* способом с импульсной подачей сжатого воздуха из пневмоколонны время промывки составляет не более 1 мин.

Если суммарный расход воды на промывку сеток превышает 2 % расчетной производительности водозабора, то устанавливаются дополнительно два насоса (один рабочий и один резервный) консольного типа.

2.9.2 Промывка самотечных водоводов

Полностью исключить осаждение взвесей в самотечных водоводах, диаметр которых был подобран с учетом незаилающих скоростей течения воды, как правило, не удастся вследствие вероятности внезапного превышения расчетного количества взвеси в воде, изменения ее крупности, снижения скоростей движения вод в водоводах.

Прочистка самотечных водоводов может осуществляться:

– *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;

– *гидравлическим методом* – созданием повышенных скоростей движения воды в трубе.

Для удаления осадка из самотечных водоводов наиболее распространен промывной способ.

Также промывка предусматривается и тогда, когда незаилающая скорость оказывается значительно больше рекомендуемой скорости (см. таблицу 2.20). В этом случае в двухсекционном водозаборе большую часть года в эксплуатации находятся оба самотечных водовода, а в период половодья или паводка – один. Скорость течения воды в нем при этом увеличивается вдвое; тем самым удастся обеспечить транспорт наносов по водоводам в береговые сооружения водозабора, откуда их удаляют специальным насосом или гидрозелеватором.

Промывная скорость течения воды, м/с,

$$v_{\text{пром}} \geq v_{\text{н}} = 10^4 \sqrt{d_{\text{сл}} d_{\text{н}}} . \quad (2.84)$$

где $v_{\text{н}}$ – незаилающая скорость в трубе, м/с;

$d_{\text{сл}}$ – диаметр самотечных водоводов, м;

$d_{\text{н}}$ – диаметр наносов, м.

Профессор Н. Г. Малишевский рекомендует производить промывку самотечных и сифонных труб таким количеством воды, при котором скорость в промываемой трубе достигала бы 2–3 м/с. В. П. Сироткин считает целесообразным определять наименьшую промывную скорость, м/с, по формуле

$$v_{\text{пром}}^{\min} = (1,25 \dots 1,5) v_{\text{нез}} , \quad (2.85)$$

где $v_{\text{нез}}$ – незаилающая скорость в трубе, м/с.

Промывка может быть *прямой, обратной, водовоздушной*, а также *импульсной*.

При **прямой промывке** (рисунок 2.33) один из подающих трубопроводов отключают, насосы работают в нормальном режиме, и весь расход промывной воды движется по оставшимся в работе трубопроводам. Из-за этого

При необходимости цикл прямой промывки самотечных водоводов повторяется несколько раз. Промывка этим способом осуществляется при достаточно высоких уровнях воды водоисточника, и такой же режим требуется в паводок при высокой мутности воды в реке для самотечных водоводов небольших диаметров (300–350 мм).



- простота эксплуатации;
- отсутствие специальных устройств для промывки;
- не происходит снижение подачи воды потребителю.

- не промываются решетки (от мусора и шуги) (вода прижимает задержанные загрязнения к решетке);

– промывка невозможна при низких уровнях воды в реке, т. е. не обеспечивается надежность.

При обратной промывке к подающим водоводам подводится дополнительный трубопровод от НС I подъема, связывающий напорные водоводы с самотечными. Этот трубопровод может подключаться как внутри, так и вне колодца (рисунок 2.34).

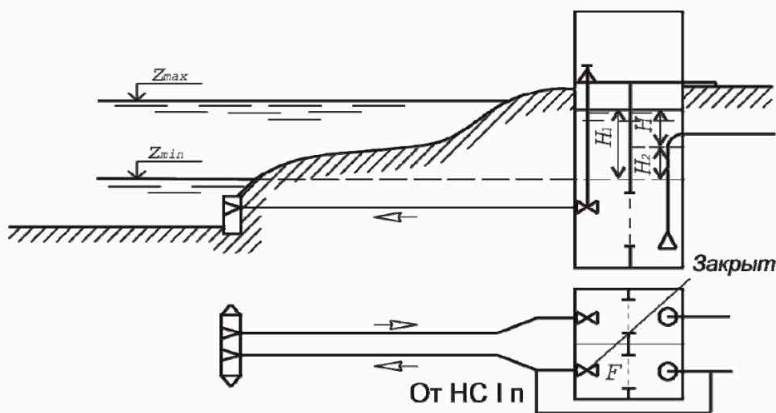


Рисунок 2.34 – Схема обратной промывки самотечной трубы

При промывке одна из самотечных водоводов отключается и по ней в обратном направлении подается вода из напорных водоводов. Во втором самотечном водоводе происходит прямая промывка.

Преимущества обратной промывки:

- одновременная промывка решеток;
- возможность отбрасывать шугу от входных окон (автоматическая обратная промывка обеспечивает русловому водозабору I степень надежности забора воды);
- возможность проведения в любое время (обеспечивается надежность);
- загрязнения уносятся промывным потоком в реку.

Недостатки:

- сложность эксплуатации;
- большие капиталовложения на устройство промывного трубопровода;
- снижение подачи воды потребителю;
- потери воды.

Обратная промывка рекомендуется при диаметре трубопровода до 500 мм включительно. При промывке труб больших диаметров применяется **гидропневматический способ**, при котором в водоводы подается сжатый воздух от компрессора. Создаются волны и пробки, пульсации давления и расхода, вибрации, эффективно очищающие самотечные водоводы.

При **импульсной промывке** (рисунок 2.35, а) возбуждается волна давления, воздействующая на всю площадь решетки. В береговом колодце на каждом подающем трубопроводе устанавливается вертикальная колонна (труба), закрытая сверху, подключенная к вакуум-насосу и снабженная клапаном впуска воздуха.

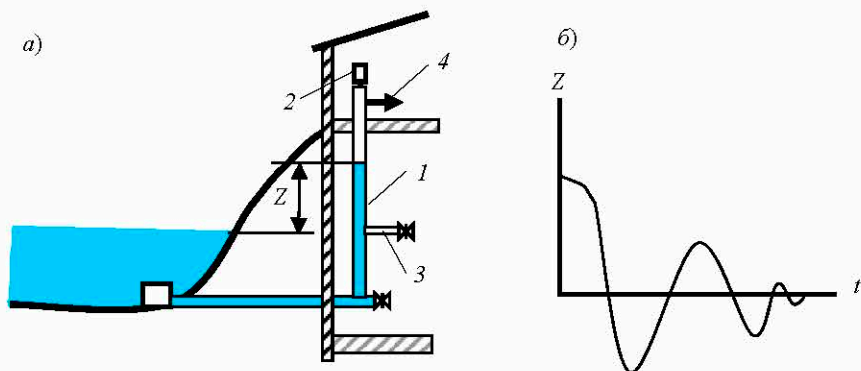


Рисунок 2.35 – Схема импульсной промывки подводящих трубопроводов и оголовка:

а – схема коммуникаций; *б* – график колебаний перепада уровня воды в колонне;
 1 – колонна для импульсной промывки; 2 – клапан для впуска воздуха; 3 – трубопровод обратной промывки; 4 – подключение вакуум-насоса

После закрытия задвижки на подводящей трубе включают вакуум-насос. Уровень воды в колонне повышается и после ее наполнения вакуум-насос выключается и открывается клапан впуска воздуха. Столб воды в колонне быстро движется вниз и в сторону реки по самотечному водоводу, создавая волну положительного давления, действующую на решетку. По инерции уровень воды в стояке опускается ниже равновесного и над водой самопроизвольно создается вакуум, под действием которого вода поднимается по стояку вверх, а в самотечном водоводе движется к колодцу. Таким образом, в трубах создается затухающее колебательное движение воды (см. рисунок 2.35, б), эффективно очищающее самотечные водоводы от отложений, а решетки – от скоплений сора и шуги. При необходимости зарядку колонны повторяют.

В результате импульсной промывки одновременно очищаются решетки, кассеты и фильтрующие обсыпки оголовков сооружений.

2.9.3 Удаление осадка из водозаборных камер

Предварительное удаление взвешенных веществ из исходной воды на водозаборных сооружениях позволяет не только увеличить производительность и эффективность станций водоочистки, но и сократить эксплуатационные затраты. Часть взвесей выпадает в осадок в береговых колодцах.

Для удаления осадков очень часто используются **гидроэлеваторы** (водоструйные насосы) (рисунок 2.36) в основном при небольшой производительности водозаборного сооружения.

Гидроэлеваторы устанавливаются как в приемном, так и во всасывающем отделении водозаборного сооружения. Технические характеристики стационарных гидроэлеваторов определяются по их расчетной производительности Q_3 и напору H_3 .

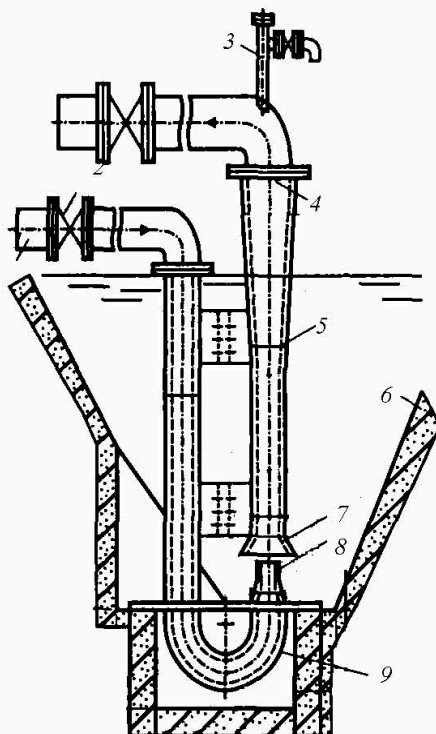


Рисунок 2.36 – Гидроэлеватор стационарный стальной:

- 1 – напорный водовод; 2 – задвижка; 3 – патрубок для прочистки;
 4 – отводной патрубок; 5 – диффузор; 6 – отделение берегового колодца;
 7 – смесительная камера; 8 – сопло напорного патрубка;
 9 – напорный патрубок

Производительность гидроэлеватора, кг/ч,

$$Q_3 = \frac{m_{\text{взв}}}{T_{\text{от}}}, \quad (2.86)$$

где $m_{\text{взв}}$ – масса выпадающих в водоприемном отделении взвесей, кг/сут,

$T_{\text{от}}$ – продолжительность работы гидроэлеватора в сутки, ч.

Масса выпадающих в водоприемном отделении взвесей, кг/сут,

$$m_{\text{взв}} = (0,06 \dots 0,12) Q_{\text{в}} C_{\text{взв}} \rho_{\text{взв}}, \quad (2.87)$$

где $Q_{\text{в}}$ – производительность водозабора, м³/сут;

$C_{\text{взв}}$ – относительная концентрация взвесей в воде, мг/дм³;

$\rho_{\text{взв}}$ – плотность взвесей, кг/м³.

При удалении осадка из водоприемного и всасывающего отделения эффективность очистки воды от взвесей составляет 10–12 %, а при удалении осадка только из приемного отделения – 6–8 %.

Продолжительность работы гидроэлеватора в сутки при односменной работе составляет 8 ч, при двухсменной работе (при значительной мутности воды) – 16 ч.

Если на водозаборе устанавливается более 2 гидроэлеваторов (по одному в каждой секции водозабора), время откачки отложившихся наносов сокращается вдвое и составляет $T_{от} = 4$ ч.

Принцип действия насосно-гидроэлеваторной установки заключается в следующем. Под минимальным уровнем воды в приемном или всасывающем отделении колодца устанавливается гидроэлеватор, подающий откачиваемую жидкость с расходом $Q_{см} = Q_p + Q_s$ до отметки, с которой ее может всасывать центробежный насос.

Осадок отводится и сливается в отстойные пруды, располагаемые вблизи станции. Осветленная вода отводится в нижний бьеф насосной станции по лоткам или трубам. Пол в приемном отделении предусматривается с уклоном в сторону всасывающей трубы грязевого насоса, который устанавливается в приемке. Вода в гидроэлеваторы подается от системы технического водоснабжения.

Расход воды рабочего потока на входе в гидроэлеватор, $m^3/ч$,

$$Q_p = IQ_s, \quad (2.88)$$

где I – коэффициент эжекции, принимается в интервале 0,3–0,6.

Расходы воды рабочего потока гидроэлеватора и общего потока в системе откачки взвесей на выходе гидроэлеватора, $m^3/ч$,

$$Q_{см} = IQ_s + Q_s = (1 + I)Q_s. \quad (2.89)$$

Напор установки, m , для удаления осадка определяется как разность между максимальной точкой расположения выходного отверстия сливной трубы и минимальным уровнем воды в приемной камере с учетом гидравлических сопротивлений в системе по удалению осадка

$$H_s = H_{гэ} + \sum h, \quad (2.90)$$

где $H_{гэ}$ – геометрическая высота подъема взвесей, m ,

$\sum h$ – сумма потерь напора при транспортировании взвесей от места отложения до очистных сооружений, m .

Геометрическая высота подъема взвесей, m ,

$$H_{гэ} = Z_{ок}^{ск} - Z_{дн}, \quad (2.91)$$

где $Z_{ог}^{\alpha}$ – отметка уровня, на который необходимо подать осадок, м;

$Z_{дн}$ – отметка дна приемки всасывающего (или приемного) отделения водозаборного сооружения (в зависимости от места установки гидроэлеватора), м.

Сумма потерь напора при транспортировании взвесей от места отложения до очистных сооружений, м,

$$\sum h = \sum h_l + \sum h_m + h_0, \quad (2.92)$$

где $\sum h_l$ – потери напора по длине пульпопровода, м,

$\sum h_m$ – местные потери напора, м,

h_0 – начальный напор, обусловленный вязкопластичными свойствами осадка, м.

Потери напора по длине пульпопровода, м,

$$\sum h_l = il = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (2.93)$$

где λ – коэффициент трения;

l – длина пульпопровода, м;

d – диаметр, м;

v – скорость, м/с, следует учитывать критические и минимальные скорости движения осадка (таблица 2.21).

Таблица 2.21 – Критические и минимальные скорости движения осадков в стальных пульпопроводах

Влажность осадка $W_{ос}$, %	Критическая скорость $v_{кр}$, м/с	Минимальная скорость v_{min} , М/с, для диаметров пульпопроводов	
		150–200	250–400
90	2,5	1,4	1,5
91	2,4	1,3	1,4
92	1,8	1,4	1,5
93	1,5	1,3	1,4
94	1,35	1,2	1,3
95	1,22	1,1	1,2
96	1,18	1,0	1,1
97	1,1	0,9	1,0
98	–	0,8	0,9

Коэффициент трения определяется в зависимости от влажности осадка:

– для диаметра пульпопровода $d = 0,2...0,4$ м

$$\lambda = 0,214W_{ос} - 0,191; \quad (2.94)$$

– для диаметра $d = 0,15$ м

$$\lambda = 0,214W_{oc} - 0,181. \quad (2.95)$$

Начальный напор, м,

$$h_0 = 1360(1 - W_{oc}) \frac{L}{d^{2,25}}. \quad (2.96)$$

Требуемый напор рабочего потока в гидроэлеваторе, м,

$$H_p = \frac{H_s}{\eta_s \left(\frac{2}{S} + \frac{S-2}{S(S-1)} - \frac{(1+И)^2}{S^2} \right)}, \quad (2.97)$$

где H_s – расчетный теоретический напор гидроэлеватора, м;

η_s – КПД гидроэлеватора;

$И$ – коэффициент эжекции;

S – отношение площади поперечного сечения камеры смешения гидроэлеватора к площади выходного сечения сопла (струи рабочего потока).

Рекомендуемые соотношения площадей определяются из выражения

$$S = \frac{\omega_k}{\omega_p} = 0,88 \frac{H_p}{h_d}. \quad (2.98)$$

Оптимальные значения S в зависимости от коэффициента эжекции приведены в таблице 2.22.

Таблица 2.22 – Оптимальные значения соотношения площадей S

$И$	0	1	2	3	4	5	6	10
S	1,11	3,8	7,25	11,6	16,9	23,2	30,3	66,4

Для удобства расчетов приближенное соотношение площадей этих сечений при коэффициенте эжекции $И = 1...4$ принимается $S = 3,9$.

На основании определенных значений Q_s , H_s , Q_p , H_p подбирается гидроэлеватор по таблицам 2.23, 2.24.

Для работы насосно-гидроэлеваторной установки необходимо выполнение двух условий:

$$Q_{cm} \leq Q_{cn}^B - Q_{np}; \quad (2.99)$$

$$H_p \leq H_{nc}, \quad (2.100)$$

где $Q_{см}$ – расход воды на откачку насосов, м³/ч;

$Q_{сн}^s$ – расход воды на собственные нужды водозаборного сооружения, м³/ч;

$Q_{пр}$ – расход воды на промывку (сеток, самотечных или сифонных водоводов), м³/ч;

H_p – требуемый напор рабочего потока, м;

$H_{нс}$ – напор основных насосов насосной станции первого подъема.

Таблица 2.23 – Параметры чугунных гидроэлеваторов

Номер гидроэлеватора	Производительность, л/с	Масса, кг	Напор H , м
1	0,4	0,8	До 3,0
2	0,6	1,2	
3	0,5	2,0	До 10,0
4	1,0	3,2	

Таблица 2.24 – Технические характеристики стационарных гидроэлеваторов

Типоразмер гидроэлеватора	Диаметр сопла /горловины, мм	Напор на входе из диффузора, мм	Расход рабочей воды Q_p , л/с	Расход рабочей воды H_p , л/с	Расход, л/с		Размеры, мм			
					переканчиваемой пульпы	переканчиваемого осадка	H	h_1	h_2	h_3
I	<u>30</u> 55	10	23	62	62	1500	1570	55	330	670
		15	22	52	52					
		20	25	65	70					
II	55	5	31	15	34	1575	1575	80	480	500
		10	36	26	47					
		15	39	40	55					

2.9.4 Мероприятия по борьбе с наносами

В процессе забора воды из источника водоприемные отверстия могут закупориваться наносами, шугой, внутриводным льдом, сором и обрастаниями.

Для предотвращения этих явлений перед водозаборами необходимо *предусматривать*:

– струенаправляющие дамбы или щиты Потапова для регулирования русла и режима движения наносов на равнинных реках;

– специальные промывные карманы и отверстия, каналы для удаления осевших наносов на водозаборах из рек с большим содержанием наносов.

Отрицательный эффект руслоформирующих процессов проявляется:

- в отложении наносов у водоприемников;
- повышении отметки дна реки у водоприемных окон до уровня порога и даже выше;
- вовлечении наносов внутрь водозаборных сооружений;
- размыв русла с подмывом водоприемников и самотечных водоводов (случается гораздо реже).

Расположение водоприемников (или водоприемных отверстий), их устройство с учетом динамики руслового потока и закономерностей транспортирования наносов *позволяет*:

- предотвратить перебои в работе водозабора;
- обеспечить получение воды с минимальным содержанием взвеси и планктона.

Уменьшению количества забираемой из источника взвеси способствуют:

- применение специальных водоприемников, выделяющих часть взвешенных веществ непосредственно при отборе воды;

- фильтрование воды в водоприемниках;

- осаждение взвеси в пойменных отстойниках-водохранилищах. *Сифонные водоприемники* с горизонтальными окнами (рисунок 2.37), 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.

Устройство сифонного водоприемника возможно как на береговых, так и на русловых водозаборах.

Приплотинные водозаборы (рисунок 2.38) обеспечивают более высокую надежность отбора воды, снижают ее мутность за счет предварительного отстаивания в водохранилище.

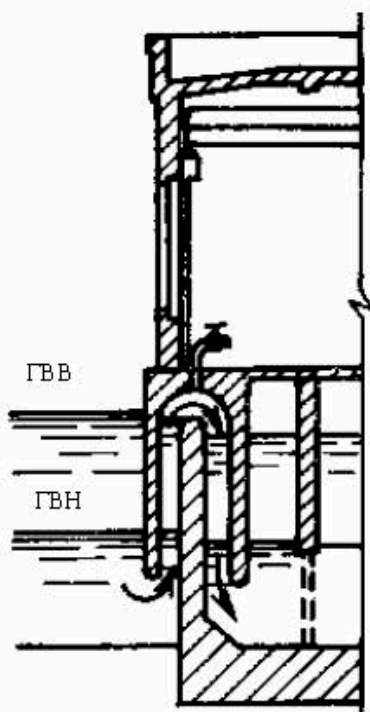


Рисунок 2.37 – Водозабор сифонного типа

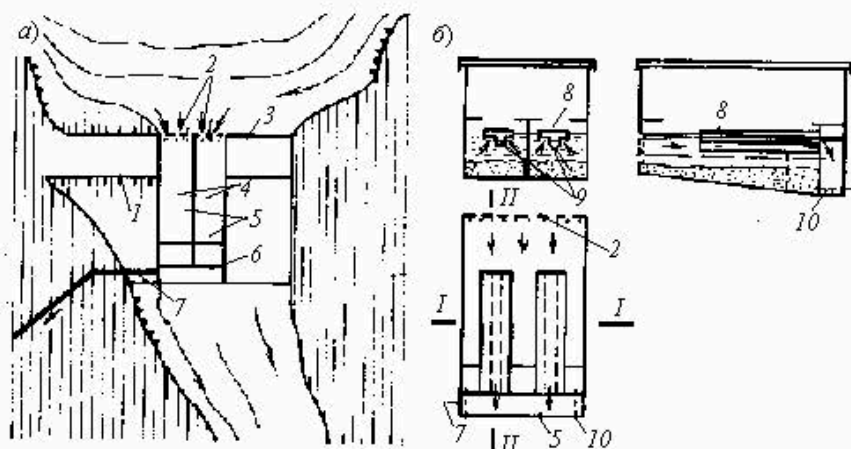


Рисунок 2.38 – Приплотинный водозабор со встроенными водоочистными сооружениями.

а – ситуационный план; б – водоочистный 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 дальне идущую очистку); 8 – коробка с полупогружными бортами; 9 – водосборные желоба; 10 – сбросные трубопроводы для осадка

Водоочистное сооружение представляет собой *шлюз-отстойник*, состоящий из двух-трех секций с водосборной камерой в каждой секции с поверхностным отбором осветленной воды.

Водоприемные окна водозабора являются входными отверстиями отстойника и перекрываются сороудерживающими решетками и сетками, а также шиберами. Каждая камера отстойника имеет систему попутного отбора воды в виде лотков или дырчатых труб, закрытых сверху перевернутым желобом с заглубленными в воду бортами. Удаление наносов из отстойников осуществляется без остановки водозабора. Для этого днище отстойника выполняется с уклоном по ходу движения воды, а в его задней стенке предусматриваются придонные отверстия (щели) с шиберами или сбросные трубопроводы с задвижками. Каждая секция промывается отдельно. При опускании шибера на входе в секцию при открытии сбросных отверстий уровень воды в ней снижается, и создается придонный поток с большей размывающей и транспортирующей способностью, который обеспечивает сброс осадка. После чего секция снова продолжает работать.

Другая разновидность водоочистного устройства на водозаборах – *шлюз с фильтрующей загрузкой* (рисунок 2.39), который имеет водоприемники, представляющие собой открытые водоприемные камеры, заполненные гра-

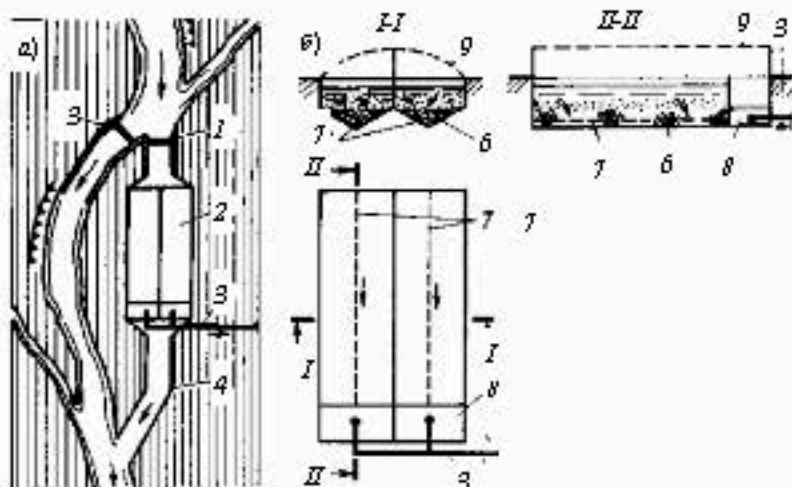


Рисунок 2.39 – Водозабор с фильтрующим водоочистным устройством на мелководном источнике:

а – циркуляционный насос, б – водоочистный блок;

1 – водопроводная решетчатая труба, 2 – плавучий корпус, 3 – трубопровод подачи воды, 4 – сбросной клапан, 5 – регулирующая вода, 6 – фильтрующий материал, 7 – дренажные трубы, 8 – водозаборная камера, 9 – сигнализатор уровня

По дну водоприемных камер уложены перфорированные трубы, заканчивающиеся в водоотводящей камере. Из водоприемных камер вода самотеком подается потребителям. При заборе воды из источников с высокой мутностью используется *водоприемный осветительный блок* – понтоное наплавающее устройство с донными или бортовыми водоприемными окнами, на котором смонтирован осветительный блок с тонкослойными или полочными элементами из полимерных материалов, и системой сбора воды (рисунок 2.40). Вода, пройдя через решетку и сетку и водоприемных окнах (ячейках), попадает в осветительные тонкослойные элементы, где при скорости потока 0,01–0,1 м/с значительная часть взвеси отделяется, и далее через буферную зону – в водосборную систему в виде желобов с треугольными водосливами. Масса отделяемых твердых частиц из тонкослойных элементов непрерывно сползает в речной поток и транспортируется им вниз по течению. Производительность водоприемника регулируется изменением величины его осадки путем частичного затопления водой верхних понтонов или применения иного балласта.

Подача воды от водоприемника в береговой колодец осуществляется самотеком или с помощью насосов. Водоприемник работает устойчиво при волнении не более 1 балла.

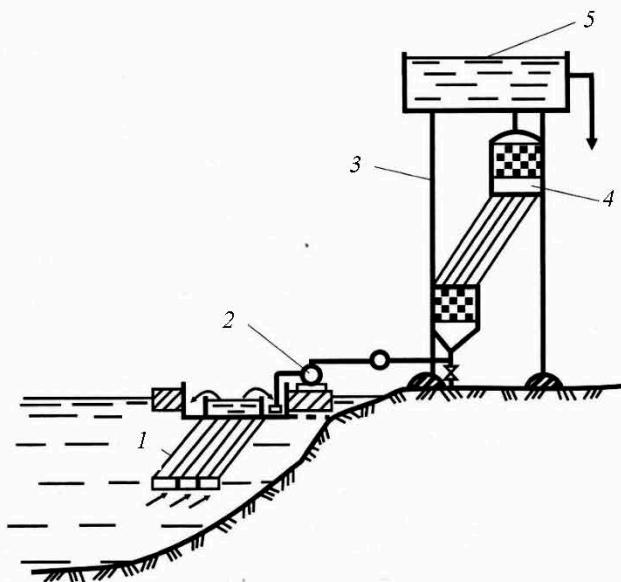


Рисунок 2.40 – Плавающий водозабор с тонкослойным осветлителем:
 1 – плавающий водозабор-осветлитель; 2 – насос; 3 – водонапорная башня;
 4 – трубчатый отстойник и фильтр с плавающей загрузкой;
 5 – бак чистой промывной воды

Высокий технологический эффект (30–60 %) обеспечивается при мутности исходной воды более 500–1000 мг/л и достигается в основном за счет выделения частиц с гидравлической крупностью более 15 мм/с. Одновременно предотвращается попадание в водозабор листьев, щепы и других плавающих веществ.

Такие водоприемники могут предусматриваться на реках и каналах при глубине потока более 3 м, при положительной температуре воды в источнике.

2.9.5 Мероприятия по борьбе 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 °С – на дне). Дальнейшее похолодание приводит к тому, что поверхностный слой воды переохлаждается до –1,4 °С. 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 основанием 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 могут 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.

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 и обеспечивает спрямление потока и малые скорости воды.

Высокую эффективность по борьбе с шугой имеют 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 захватываясь водозабором. Такие малые скорости воды приводят к существенному увеличению размеров водоприемных отверстий: увеличивается количество окон в оголовках русловых водозаборов либо их размеры в береговых 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;

- 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 струнаправляющих устройств, успокаивающих поток на подходе к водоприемным отверстиям, вследствие чего шуга всплывает и смерзается;

- отбрасывание шуги гребными винтами катеров (вариант 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 полупогружного 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 необходимо предусматривать обогрев стержней решеток или подогрев массы воды перед решетками паром или теплой водой.

Обогрев должен осуществляться заблаговременно, до начала переохлаждения воды. Несмотря на то, что воду или стержни решеток необходимо нагреть всего на $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше нуля, эти мероприятия чрезвычайно энергоемки. На время шугохода опускаются решетки-реостаты с электропроводящими прутьями, которые подогреваются электротоком до $0,01\text{--}0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$, и обмерзание не происходит.

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 водоводы от шуги.

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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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.

2.9.6 Мероприятия по борьбе с биологическими обрастаниями и водорослями

На водозаборах существует опасность **биологических обрастаний** водоприемников. К гидробионтам, вызывающим обрастания, относятся гидры, олигохеты, пиявки, личинки ручейника и моллюск дрейсена. Отмирая и разлагаясь, обрастатели ухудшают качество воды и засоряют решетки, сетки и трубопроводы.

Для борьбы с биообрастаниями может быть использована теплая вода (при подаче воды 45 °С и выше в течение 10 мин все водные организмы погибают).

Для промывки элементов водозаборных сооружений можно также использовать воду, обработанную хлором и купоросом, а также электрохимический метод в сочетании с катодной защитой металлических и железобетонных конструкций водозабора.

Наиболее эффективным методом борьбы с биообрастаниями является окраска элементов водозаборных сооружений специальными красками на основе перхлорвинила и этанола или обычной цинковой краской.

При борьбе с водорослями различают три основные группы методов.

Биологические методы:

- заселение водоемов моллюсками (двустворчатые унии, анодонты), которые поедают водоросли;
- устройство «биопоглотителей» в виде пластмассовых решеток с грузилами у дна и поплавками у поверхностей, которые концентрируют на себе водоросли;
- разведение в водоемах растительноядных рыб (белый амур, толстолобик);
- использование вирусов и фагов, поражающих сине-зеленые водоросли (метод на стадии исследований).

Физические методы:

- ультразвук разрушает водоросли, но они остаются в воде во взвешенном состоянии, поэтому целесообразно это делать перед коагуляцией;
- обработка электротоком; при этом водоросли отделяются от воды и направляются к аноду (метод дорогой и малоприменимый).

Химические методы.

Купосование. Для гибели сине-зеленых водорослей достаточна доза медного купороса 0,2–0,5 мг/л. При этом медь извлекается из растворов и соединяется с белками водорослей. Поэтому вода считается безопасной для людей (в питьевой воде содержание меди не должно превышать 0,1 мг/л).

К *недостаткам* купосования можно отнести:

- 1) дозирование примитивно и нельзя создать равномерную концентрацию;

- 2) купорос губителен для мальков;
- 3) водоросли поедаются рыбами, рыбы – человеком, идет накопление меди в трофической цепи;

Также применяемые технологии ввода медного купороса (распыление авиацией, растворение из мешков с лодок) неэкологичны и неэффективны. Купосование питьевых и рыбопродуктивных водоемов нежелательно.

Хлорирование. Смертельная для сине-зеленых водорослей доза хлора составляет 0,5–1,0 мг/л. Прехлорирование проводят на водоочистой станции, которое при этом убивает водоросли. После этого они коагулируются и садятся с хлопьями на дно отстойника. Но многие флотируют (богатые жирами) и в отстойниках не задерживаются, для их удаления нужны флотаторы или процеживание на микрофилтрах.

2.9.7 Рыбозащитные мероприятия

Попадание в водозабор большого количества рыбы и особенно мальков наносит большой вред природным рыбным ресурсам. Кроме того, попавшая в водозабор рыба погибает и гнивает, что создаёт недопустимую санитарно-гигиеническую обстановку на сооружениях. Поэтому на всех водозаборных сооружениях должны быть предусмотрены мероприятия, обеспечивающие надежную рыбозащиту.

Рыбозащитные устройства предназначены для предотвращения травмирования и попадания рыбы в водозаборное сооружение.

Перед проектированием рыбозащитных устройств должны быть выполнены ихтиологические изыскания, а также проведены лабораторные и натурные исследования.

При проектировании рыбозащитных устройств необходимо учитывать биологические характеристики поведения рыб и молоди на водоемах или водотоках.

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 данный конкретный водоем. 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, использующиеся для отпугивания или направления движения молоди, а также на знании скоростей движения рыб.

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.).

Наиболее широкое применение получили рыбозащитные устройства инфльтрационного типа, основанные на поведенческом и физическом принципах защиты – *сетчатые конструкции* и *фильтры с различными заполнителями*, которые полностью исключают попадание рыбы в водозабор.

Наиболее полно обеспечивают защиту от рыб фильтрующие водозаборы, а также русловые водозаборы, если скорость обтекания их потоком более чем в три раза превышает скорость втекания воды в водоприемные отверстия. При скорости воды в реке более 0,4 м/с скорость втекания в водоприемные отверстия должна быть не более 0,25 м/с, а при скорости воды в реке менее 0,4 м/с – не более 0,1 м/с [11].

Рыбозащитные устройства делятся на три группы: механические; гидравлические; физиологические.

Механические устройства применяются для задержания рыб (плоские сетки, вращающиеся сетки, сетчатые барабаны, заграждения из камыша, хвороста, щепня, фильтрующие кассеты, фильтрующие оголовки). Они работают по принципу создания механических преград с размерами ячеек 2–4 мм.

Очень часто для рыбозащиты устанавливают *плоские сетки* в отверстия водоприемников, при этом скорость движения воды сквозь сетку не должна превышать критической скорости для рыбы, чтобы у нее была возможность самостоятельно лавировать в потоке течения. Как правило, принимается скорость втекания воды в сетки не более 0,25 м/с.

Основные элементы плоской сетки (рисунок 2.41):

- несущая конструкция (каркас);
- сетчатое полотно;
- очистное устройство;
- подъемно-транспортное оборудование.

Каркас имеет размеры: не более 1,0 м в ширину; не более 1,5 м в высоту.

Сетчатое полотно используется для предотвращения попадания рыбы в водоприемный колодец через входные окна, а также мелкого мусора. Размеры ячеек сетки выбираются в соответствии с размером рыб, обитающих в конкретном водном объекте. Как правило, в период появления мальков рыбы размеры сеток принимают не более 1×1 мм. Для защиты молоди рыб с длиной тела 15 мм и более размеры сеток принимаются 2×2 мм, а при размерах 30 мм и более – 4×4 мм.

Сетчатое полотно может размещаться как в вертикальном направлении, так и в наклонном.

При установке сеточного полотна в обязательном порядке предусматривается его очистка от мусора. Для этого применяются гидравлические и механические методы.

В составе конструкции очистного устройства *предусматриваются*:

- оборудование для водоснабжения водоструйного приспособления;
- приспособления для передвижения водоструйных (промывных) флейт или щеток для очистки всей поверхности сетчатого полотна;
- брандспойт для очистки сеток на воздухе (при необходимости);
- средства автоматики для работы очистного устройства.

Также существует вариант установки *плоских сеток с рыбоотводом*, которые включают в себя следующие основные элементы: несущую конструкцию, грубую решетку, сетчатое полотно, подъемно-транспортное оборудование, сеточные камеры, рыбоотвод (рисунок 2.42).

Рыба, попавшая в сферу действия водозаборного сооружения, направляется в рыбоотвод, по которому она отводится обратно в водоем.

При больших размерах сооружения следует предусматривать не менее двух-трех рыбоотводов.

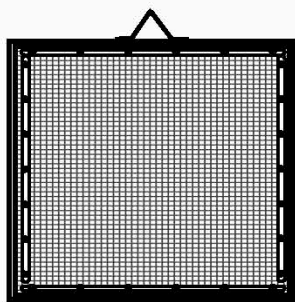


Рисунок 2.41 – Плоская сетка

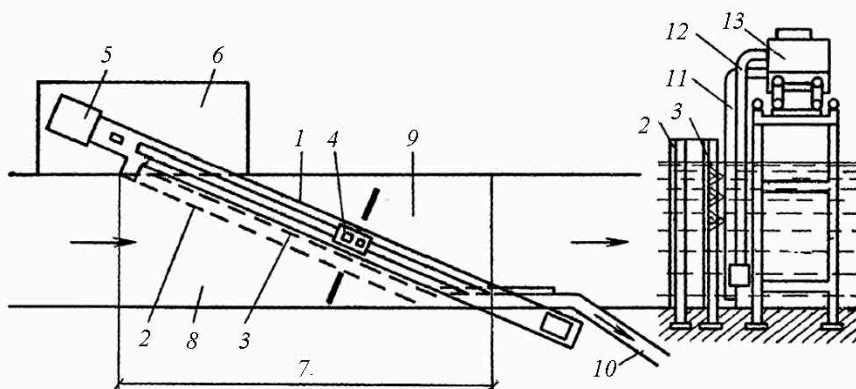


Рисунок 2.42 – Схема расположения элементов конструкции рыбозащитного устройства типа плоской сетки с рыбоотводом:

1 – несущая конструкция; 2 – грубая решетка; 3 – сетчатое полотно; 4 – очистное устройство; 5 – подъемный механизм; 6 – монтажная площадка; 7 – сеточная камера; 8 – аванкамера (перед сетчатым полотном); 9 – арьеркамера (за сетчатым полотном); 10 – рыбоотвод; 11 – флейта водоструйная; 12 – всасывающий патрубок; 13 – насос; 14 – опоры пути очистного устройства

Конусные сетки представляют собой вращающийся усеченный конус, который устанавливается в пазовые конструкции водозаборного сооружения, а также в самотечные водоводы основанием по течению (руслевой водозабор) (рисунок 2.43). Вода, поступившая в самотечные водоводы, попадает в сетчатый конус, а затем в подводящий канал. Попавшая в конус рыба под влиянием тока воды, вращения конуса и работы очистного устройства перемещается к его вершине и отводится с помощью рыбоотводного устройства или рыбонасоса.

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 и крепится с двух сторон от рассыпания крупноячеистыми каркасами.

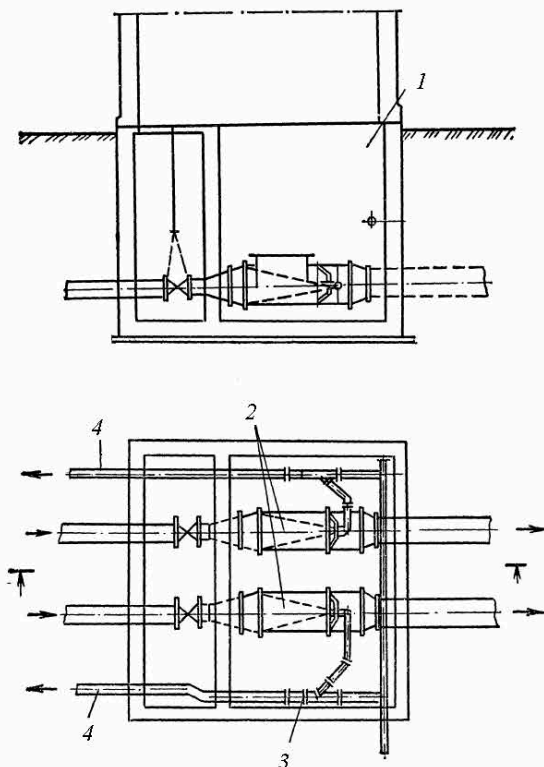


Рисунок 2.43 – Схема расположения конусных сеток, установленных в самотечных водоводах:
 1 – камера сеток; 2 – конусные сетки; 3 – водокольцевой эжектор;
 4 – рыбоотводные линии

На рисунке 2.44 представлена схема кассеты, заполненной фильтрующим несвязным материалом (полиэтиленовыми или пластмассовыми шариками, керамзитом, гравием, щебнем).

Для повышения надежности работы водозаборных сооружений в течение всего года с учетом шуголедовых условий предпочтительнее использовать рыбозащитные устройства объемного фильтрующего типа.

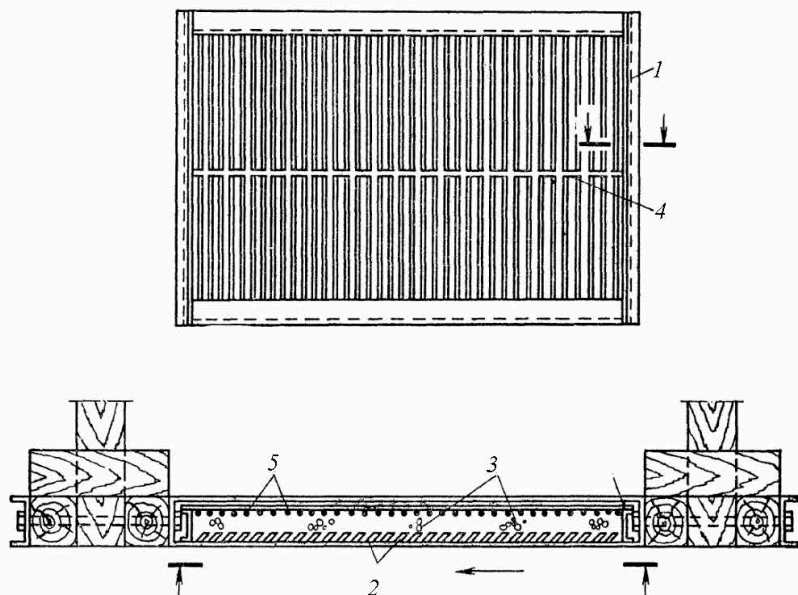


Рисунок 2.44 – Плоская кассета с насыпным фильтрующим материалом:

- 1 – металлический каркас; 2 – передние ограничительные ребра;
3 – задние ограничительные стержни; 4 – продольное ребро жесткости;
5 – насыпной заполнитель

Заполнение кассет порозластом производится в виде плит (рисунок 2.45). Плиты порозластовые фильтрующие изготавливают согласно техническим условиям из порозласта – материала, представляющего собой смесь минерального наполнителя с термопластичным полимерным связующим.

В качестве наполнителя может применяться гравий или 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/м³.

В качестве рыбозащитных устройств на водоприемниках могут применяться пакетнореечные кассеты и жалюзийные решетки, создающие эффект сплошности.

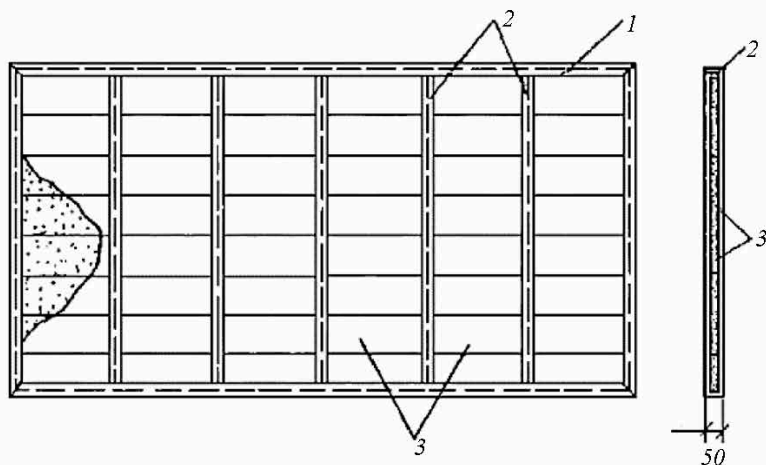


Рисунок 2.45 – Схема кассеты, заполненной фильтрующим связным материалом (порозластом):

1 – металлический каркас; 2 – обрамляющие пазовые конструкции;
3 – порозластовые плиты

Они имеют меньшее сопротивление по сравнению с фильтрами и не подвержены кольматации.

Пакетнореечная кассета 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 прямоугольного 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.

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 выполняют из полосовой стали и устанавливают под углом 135° 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.

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 струнаправляющие 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 попадали в водозабор. Это мероприятие не применимо в водохранилищах и озерах с малоподвижной водой и при большой производительности водозабора.

Еще одним способом рыбозащиты водозаборных сооружений является устройство вдоль водоприемника гидравлической напорной струнаправляющей системы, которая состоит из двух распределительных водоводов, установленных по бортам каждой секции водоприемника.

Подвод воды распределительным водоводам осуществляется от основных напорных водоводов водозабора. По длине распределительных водоводов размещаются напорные насадки. Распределительные водоводы устанавливаются таким образом, чтобы создавать вдоль водоприемного фронта локальный транзитный поток, который будет омывать водоприемные окна с фильтрами и сносить молодь рыбы от них (рисунок 2.46).

Такой поток также должен в обязательном порядке выносить рыбу на безопасное расстояние. Величина расхода воды, подаваемая для питания гидравлической системы, составляет в среднем от 5 до 10 % производительности водозабора.

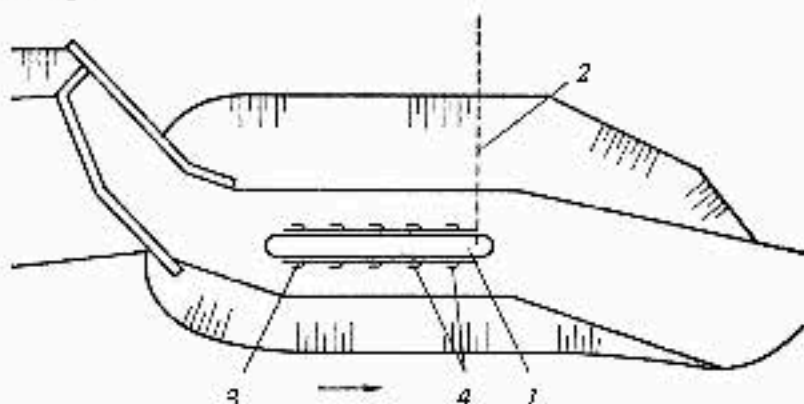


Рисунок 2.46 – Схема компоновки гидравлической рыбоотводной системы:

1 – водопровод, 2 – поперечный разрез водозабора, 3 – распределительный водовод, 4 – насадка

Существует также пневматическая струенаправляющая рыбоотводная система, которая комплектуется с водоприемной частью водозаборного сооружения (рисунок 2.47) и обеспечивает вынос рыбной молоди, подошедшей к зоне водозабора, а также отвод ее в безопасную зону.

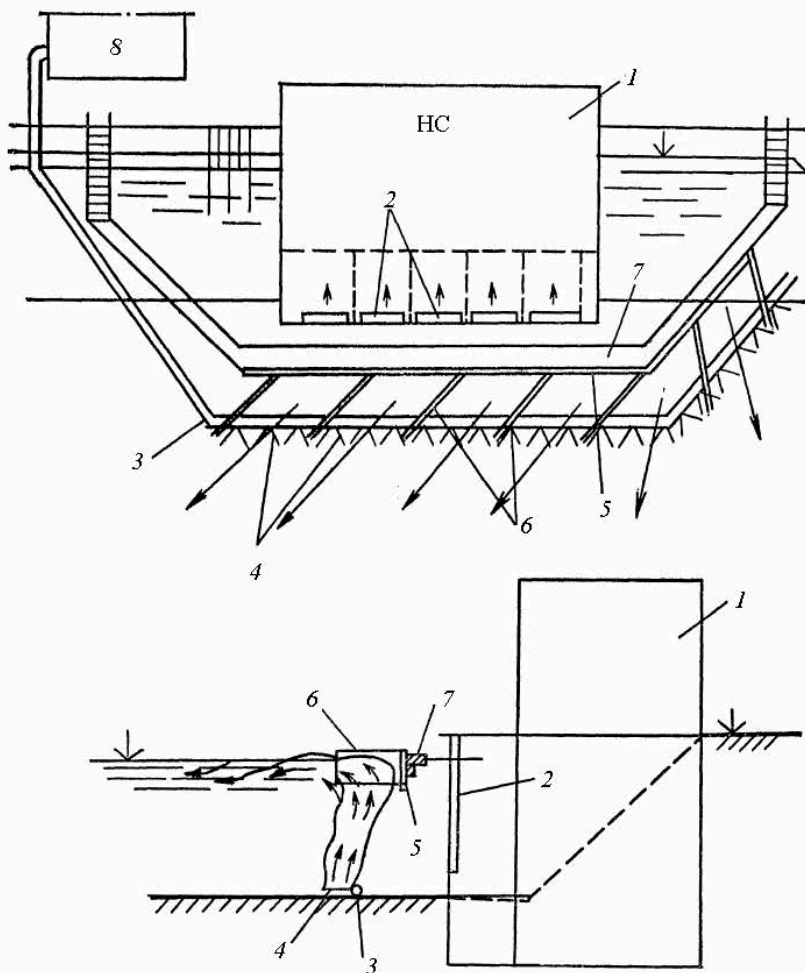


Рисунок 2.47 – Схема компоновки пневматической рыбоотводной системы с водозабором берегового типа:

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

Такая система состоит из перфорированных труб, которые соединяются с магистральным подводным трубопроводом для подачи в них сжатого воздуха. Устанавливается также струенаправляющий щит по периметру водоприемной части и экраны-отражатели на поверхности водоема, закрепленные 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.

Физиологические рыбозаградители

Принцип действия физиологических рыбозаградителей 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.

Наиболее распространенные типы:

- электрические рыбозаградительные устройства, представляющие собой систему электродов, на которые подается импульсный ток низкого напряжения;

- воздушно-пузырьковые завесы, которые создаются уложенным на дно или на буйках (на подвесе) перфорированным трубопроводом, куда закачивают сжатый воздух. Воздушно-пузырьковые завесы создают три воздействия: зрительно отпугивает стена, пугает шум, образующийся эрлифт выносит рыбу вверх. Сжатый воздух подается от передвижных компрессоров, необходимо только на период рыбозащиты.

Ведутся исследования по использованию для отпугивания рыб световых вспышек, звуковых и ультразвуковых волн.

2.10 Конструирование водозабора

2.10.1 Конструирование береговых колодцев

Береговые колодцы предназначены для размещения в них водоочистных решеток и сеток. Так как сетки располагаются ниже минимального уровня воды, то сеточное здание оказывается заглубленным. Строительство его при нескальных грунтах в большинстве случаев осуществляется методом опускаемого колодца. В связи с этим и само сеточное здание называется *береговым сеточным колодцем*.

Береговые колодцы необходимо располагать на незатопляемых отметках берега. Для того чтобы сократить протяженность самотечных водоводов на участке с наибольшей глубиной их заложения, береговой колодец можно расположить на пологом берегу в месте, заливаемом в половодье на 1,5–3,0 м, предусмотрев обсыпку его грунтом до отметки, превышающей высоту наката волны при расчетном максимальном уровне воды не менее чем на 0,5 м.

Отметка расположения на берегу сеточного колодца, м,

$$Z_x = h_n + Z_{\max} + h_n + 0,5, \quad (2.101)$$

где h_n – превышение над максимальным уровнем воды в реке в половодье, м, принимается 1,5–3,0 м;

$Z_{\max}$ – отметка максимального уровня воды в источнике, м;

h_n – высота наката волны, м.

Если колодец расположен на крутом берегу, то его месторасположение с учетом ветрового и волнового нагона волны, м, определяется по формуле

$$Z_{\kappa} = Z_{\max} + h_n + 0,5 + \Delta h_n, \quad (2.102)$$

где Δh_n – высота ветрового нагона волны, м.

В береговых колодцах устанавливаются *затворы, сетки, всасывающие трубы, гидроэлеваторы, лестницы.*

В павильонах водоприемников монтируется грузоподъемное оборудование, приспособления для дистанционного управления затворами, устройства для промывки сеток, а также для приема и отвода промывной воды.

Береговые водоприемные колодцы проектируются из железобетона, чаще всего двухсекционными и круглыми в плане, диаметром 4–8 м. Каждая секция разделяется на две камеры: *водоприемную* и *всасывающую* для размещения всасывающих труб насосов I подъема. Размеры каждой секции колодца зависят от размеров оборудования, и прежде всего от размеров сеток, труб и затворов.

2.10.2 Определение отметок уровней воды в береговом водоприемном колодце

Отметки уровней воды во всасывающем отделении берегового водоприемного колодца будут меньше чем в приемном на величину потерь напора в сетке

$$Z_{\max}^{\text{вс}} = Z_{\max}^{\text{пр}} - h_c; \quad (2.103)$$

$$Z_{\min}^{\text{вс}} = Z_{\min}^{\text{пр}} - h_c, \quad (2.104)$$

где h_c – потери напора в сетке при нормальном режиме работы, м, предварительно потери напора в плоских сетках можно принять 0,1–0,15 м, во вращающихся – 0,15–0,30 м.

Потери напора в сетке, м,

$$h_c = \xi_c \frac{v_{\text{вт}}^2}{2g}, \quad (2.105)$$

где ξ_c – коэффициент сопротивления сетки, принимается в зависимости от номера сетки по таблице 2.25;

$v_{\text{вт}}$ – фактическая скорость втекания в сетки, м/с.

Таблица 2.25 – Коэффициенты сопротивления сеток

Номер сетки, мм	Коэффициент сопротивления сетки ξ_c
0,20	5,12
0,28	3,12
0,40	2,16
0,63	2,06
0,70	1,77
1,00	1,20
2,00	0,86
2,50	0,75
3,20	0,67
4,00	0,65
6,00	0,49
10,00	0,33

Отметки уровней воды, м, при аварийном режиме эксплуатации в приемном и всасывающем отделениях берегового водоприемного колодца определяются по формулам

$$Z_{\max}^{\text{пр аб}} = Z_{\max} - \sum h_{\text{п}}^{\text{аб}}; \quad (2.106)$$

$$Z_{\min}^{\text{пр аб}} = Z_{\min} - \sum h_{\text{п}}^{\text{аб}}; \quad (2.107)$$

$$Z_{\max}^{\text{вс аб}} = Z_{\max}^{\text{пр аб}} - \sum h_{\text{с}}^{\text{аб}}; \quad (2.108)$$

$$Z_{\min}^{\text{вс аб}} = Z_{\min}^{\text{пр аб}} - \sum h_{\text{с}}^{\text{аб}}, \quad (2.109)$$

где $\sum h_{\text{п}}^{\text{аб}}$ – сумма потерь напора при аварийном режиме эксплуатации в водоприемных устройствах, м;

$\sum h_{\text{с}}^{\text{аб}}$ – потери напора в сетках при аварийном режиме работы, м, в плоских сетках ориентировочно составляют 0,15–0,25 м, во вращающихся – 0,2–0,4 м.

При аварийном режиме в русловых водозаборах потери напора в водоприемных устройствах, решетках, оголовках, самотечных водоводах определяются с учетом расчетных скоростей движения воды при аварийном режиме, когда при аварии на одном из самотечных водоводов (или при выключении ее на промывку) вторая пропускает полный расход.

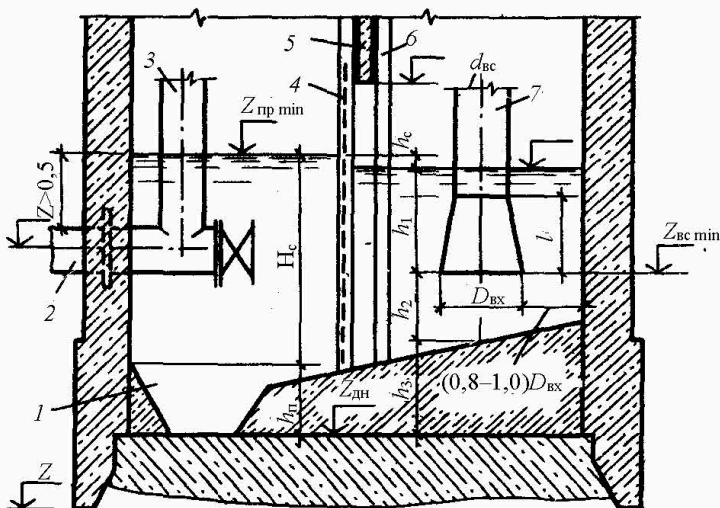
2.10.3 Определение отметки дна в береговом водоприемном колодце

Отметка дна в приемном отделении берегового водоприемного колодца зависит от того оснащения, которое устанавливается в нем. Она определяется

Отметка верха самотечного водовода в колодце, м,

где $Z_{в.пр}^{\min}$ – минимальный уровень воды в приемном отделении, м.

Расстояние от низа самотечной трубы или нижнего водоприемного отверстия до днища камеры h_1 принимается не менее 0,7 м (рисунок 2.48).



1 – приемок для сбора осадка; 2 – самотечный водовод;
3 – вакуум-стояк для импульсного промыва; 4 – плоская сетка;
5 – поперечная перегородка; 6 – направляющие для сеток;
7 – всасывающий трубопровод насосов I подъема

Прямки выполняются для более полного удаления гидроэлеватором наносов, отложившихся в приемной камере. Глубина прямка $h_{\text{п}}$ принимается 0,5–0,7 м.

134

величины h_3 следует учитывать, что всасывающие трубы диаметром $d_{вс}$ должны заглубляться под минимальный уровень воды в колодце не менее чем на 0,6–1 м, а трубопроводы малого диаметра – не менее чем на 0,4–0,6 м. Чтобы уменьшить возможность засасывания воздуха в трубу в низу раструба приваривается фланец. Расстояние от низа всасывающей трубы (воронки) до днища камеры принимается $h_4 \geq 0,8D_{вх}$, но не меньше 0,5 м.

Высота слоя бетона для образования прямка и откосов для сползания осадка к прямку h_5 зависит от глубины прямка и принятого уклона откосов. Для ориентировочных расчетов определяются по формуле

$$h_5 = h_{п} + (0,15 \dots 0,25). \quad (2.111)$$

Отметка днища берегового колодца $Z_{дн}$, м, определяется из условия расположения под минимальным расчетным уровнем воды в колодце водоочистных сеток необходимой площади по формулам:

$$Z_{дн. пр} = Z_{в. пр}^{\min} - H_c - h_{п}; \quad (2.112)$$

$$Z_{дн. вс} = Z_{вс}^{\min} - h_3 - h_4 - h_5, \quad (2.113)$$

где $Z_{в. пр}^{\min}$ – минимальный уровень воды в приемном отделении колодца (перед сеткой), м;

$Z_{вс}^{\min}$ – минимальный уровень воды во всасывающем отделении колодца (после сетки), м;

H_c – высота сетки (по расчету) ниже минимального уровня воды, м;

$h_{п}$ – глубина прямка для сбора осадка, м;

h_3 – допускаемое заглубление отверстия всасывающего трубопровода диаметром $d_{вс}$, м;

h_4 – расстояние от низа воронки всасывающего трубопровода до дна, м;

h_5 – высота слоя бетона для образования прямка и откосов, обеспечивающих сползание осадка к прямку, м.

Если береговой водоприемный колодец оборудуется вращающейся водоочистой сеткой, то отметка днища $Z_{дн}$, м, (рисунок 2.49) определяется по формулам:

$$Z_{дн. пр} = Z_{в. пр}^{\min} - H_c - R - h_2; \quad (2.114)$$

$$Z_{дн. вс} = Z_{вс}^{\min} - h_3 - h_4 - h_0 - h_{п}, \quad (2.115)$$

где R – радиус нижнего барабана вращающейся сетки (нижнего закругления направляющих), м;

h_2 – расстояние от низа вращающейся сетки до дна сооружения, зависящее от типа и конструкции сетки, м; ориентировочно принимается 0,4–0,8 м;

h_0 – вертикальный размер отверстия всасывающей трубы к насосам, м.

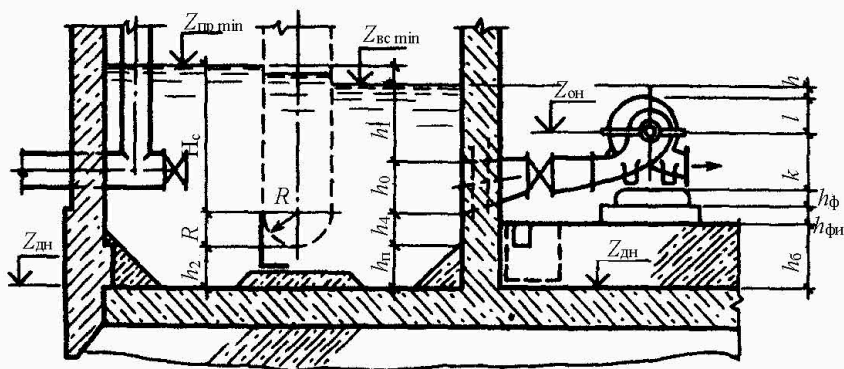


Рисунок 2.49 – Схема к определению отметки дна насосной станции

2.10.4 Определение строительных размеров водозабора

Размеры и число секций всасывающего отделения зависят от диаметра всасывающих труб и их количества.

Число секций должно быть не менее двух для насосных станций I и II категории. При установке крупных насосных агрегатов число секций и труб принимается равным числу насосов.

В одной секции можно располагать две или несколько всасывающих труб небольших диаметров, расстояния между которыми указаны в п. 2.7.1. Компоновка труб в плане диктует размеры секций всасывающего отделения (рисунок 2.50). При этом приемное отделение рекомендуется принимать несколько больших размеров в плане, чем всасывающее.

Объем воды в каждой секции водоприемника должен быть не менее 30–35-кратного расхода воды, забираемого из секции по условию запуска насосов. Дно секций выполняется с уклоном 0,07–0,1 к приямкам для сбора осадка, из которых он удаляется с помощью эжектора или насоса. Углы секций в плане скругляются для удобства их очистки. Секции оборудуются лестницами для обслуживания.

Толщина стен и дна колодца определяется при расчете железобетонной конструкции, во многих случаях она составляет 0,4–1,0 м, толщина перегородок – 0,2–0,3 м, бетонного основания – 0,8–2,0 м.

Верх перекрытия шахты водоприемника должен быть на 1 м выше отметки максимального уровня воды в реке с учетом высоты волны. Для удобства эксплуатации над водоприемником устраивается павильон из кирпича или сборных железобетонных элементов.

В береговых водоприемниках предусматривается следующее оборудование: затворы, задвижки и колонки управления ими, устройства для очистки решеток, промывки сеток, удаления осадков, подъема решеток и сеток, лестницы, насосные установки и электроустройства.

Береговые колодцы выполняются, как правило, из железобетона, круглыми в плане, диаметром 4–8 м. Правила конструирования секций (за исключением водоприемных отверстий) такие же, как и для береговых водоприемников.

В приемном отделении вместо входных окон закреплены концы самотечных или сифонных труб, на которых устанавливаются задвижки или затворы. Расстояние от низа трубы до дна колодца принимается 0,5–1,5 м в зависимости от содержания взвеси в воде реки. Верх трубы должен быть затоплен на 0,5–1,0 м. Глубина колодца определяется конструктивно в зависимости от отметки $Z_{\min}^{ap}$ и минимальных необходимых размеров при размещении по высоте самотечных и всасывающих труб в секциях.

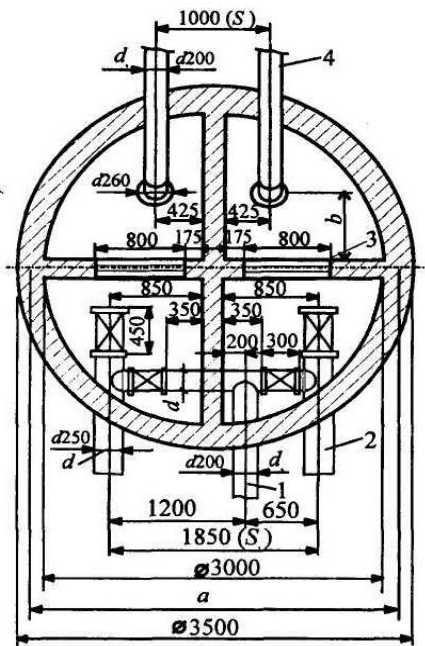


Рисунок 2.50 – План подземной части берегового колодца:

1 – труба для подачи воды на помывку;

2 – самотечные трубы;

3 – сетка; 4 – всасывающие трубы

3 СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАБОРА ВОДЫ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

3.1 Проектирование водозаборных сооружений подземных вод

3.1.1 Состав и стадии проекта

Проектная документация разрабатывается в две (*архитектурный проект* и *строительный проект*) или одну (*строительный проект* с выделением утверждаемой архитектурной части) стадии.

При *одностадийном проектировании* составляется строительный проект со сводным сметным расчетом стоимости. В этом проекте обычно используются типовые или повторно применяемые проекты. Кроме того, одностадийное проектирование применяется при составлении технически несложных проектов.

В *две стадии* составляется проект для устройства крупных и сложных скважинных водозаборов. Этот проект, кроме сводного сметного расчета, должен содержать рабочую документацию со сметами для каждого элемента или узла водозабора.

Специфика работ по сооружению водозаборов подземных вод не позволяет полностью перенести на них стадийности, предусмотренные общестроительными нормами.

Для проектирования вновь строящихся водозаборов подземных вод, расширения, реконструкции и капитального ремонта действующих водозаборных сооружений требуется комплексное изучение природных условий района (участка) намечаемых работ и получение достаточных материалов для разработки экономически обоснованных проектных решений с учетом рационального использования водных ресурсов и охраны окружающей среды. Проектированию крупных водозаборов, водозаборов для централизованных систем водоснабжения должны предшествовать работы по разведке месторождения подземных вод.

В общем случае разведка месторождения подземных вод источников водоснабжения выполняется в следующей последовательности: поиски, предварительная разведка, детальная разведка и эксплуатационная разведка.

Основой для проекта водозаборных сооружений являются *гидрологическое заключение* и *проектный геологический разрез*.

Объем проекта, его основное содержание должны осветить также важные вопросы:

- количество, качество и режим потребляемой воды из проектируемого водозабора;
 - места бурения скважины или колодца и их количество;
 - зоны санитарной охраны;
 - используемый водоносный горизонт, удельный дебит скважины (колодца) при допустимом понижении статического уровня воды;
 - обоснование принятого способа бурения, конструкций фильтров, типа водоподъемного оборудования, конструкций скважин, способов тампонажа затрубного пространства, конструкций оголовков, способы их сооружений и др.
- В проекте должны быть продуманные решения по размещению одного или нескольких сборных резервуаров, взаиморасположение (если требуется) водозаборных, очистных сооружений, резервуаров и насосных станций второго подъема.

3.1.2 Исходные данные для проектирования

Исходными данными для проектирования водозаборных скважин являются:

- заказ на разработку проектно-сметной документации с указанием реквизитов заказчика;
- задание на проектирование (составляется в соответствии с утвержденными проектами планировки и застройки поселений или других функциональных зон и проектами детальных планировок);
- обоснование инвестиций в строительство данного объекта;
- генплан участка заложения скважин;
- архитектурно-планировочное задание;
- топографический план (копия из карты землепользования) объекта водоснабжения (масштаб 1:10000) с нанесением проектируемых и всех существующих скважин с их точной координатной привязкой и с паспортными номерами, с сетями водопроводов и указанием мест размещения запасно-регулирующих емкостей и другие геодезические материалы;
- акт выбора земельного участка для бурения скважин с учетом возможности организации зон санитарной охраны;
- решение местного органа исполнительной власти о предварительном согласовании места размещения объекта (об утверждении акта выбора земельного участка);
- заключение территориального органа санитарного надзора по отводу земельного участка, включая данные о существующих источниках загрязнения;
- заключение территориального органа государственного пожарного надзора;
- экологические условия для проектирования;

- перечень водопотребителей и (или) расчет водопотребления с учетом перспективы и характеристикой существующего водоснабжения;

- акты обследования существующих скважин на территории проектирования водозабора. Акты составляются и подписываются представителями специализированной организации, выполняющей обследование, территориального центра гигиены и эпидемиологии и владельцем скважины. К актам прилагаются данные по анализам воды;

- материалы инженерных изысканий и обследований на участке размещения объекта водоснабжения, топографическая съемка подземных коммуникаций или исполнительные чертежи существующих коммуникаций;

- гидрогеологическое заключение республиканских органов геологии о возможности использования подземных вод как источника водоснабжения с рекомендациями по проектированию скважин и зон санитарной охраны. В заключении проектируемым скважинам присваиваются номера. К заключению прилагается справка о наличии или отсутствии полезных ископаемых на территории проектируемого водозабора.

В отдельных случаях для разработки проектов скважин на воду требуются дополнительные материалы:

- при проектировании скважин в поселениях и на предприятиях при наличии централизованного водоснабжения или разведанных запасов подземных вод (водозаборов) – согласование с территориальными органами коммунального хозяйства;

- при проектировании скважин в районах горнодобывающих предприятий и на территориях залегания полезных ископаемых – согласование с органами «Госатомнадзора»;

- при проектировании скважин для водоснабжения автозаправочных станций (АЗС) – дополнительные согласования с органами геологии и санитарного надзора;

- задание на разработку тендерной документации.

3.1.3 Необходимая степень разведанности подземных вод для проектирования водозаборов

Запасы подземных вод классифицируются по *результатам геологического изучения недр* по каждому отдельному водоносному горизонту (комплексу) с учетом их степени изученности и экономического значения.

В случае, если геологическое строение, горно-геологические, гидрогеологические (или) гидрогеохимические условия месторождения (его части) подземных вод не позволяют в полной мере выполнить геологическое изучение недр по каждому отдельному водоносному горизонту (комплексу), запасы, подземных вод классифицируются по результатам геологического изучения недр по двум и более водоносным горизонтам (комплексам).

По степени изученности запасы подземных вод классифицируются по категориям А, В, С1, С2.

Запасы подземных вод **категорий А и В** являются основанием для подготовки разведанного месторождения (его части) к разработке.

Запасы подземных вод **категории С1 и С2** являются основанием для дальнейшего геологического изучения месторождения (его части).

К **категории А** относятся запасы подземных вод, для которых:

- выполнена переоценка запасов подземных вод на ранее изученных месторождениях или их частях, при этом величина переоцененных запасов подземных вод не превышает среднегодовую производительность водозаборных сооружений за последние три года;

- изучено качество подземных вод с учетом их направления использования по результатам эксплуатации месторождения или его части, ведения наблюдений за режимом подземных вод, обоснована возможность сохранения качества подземных вод на последующий период эксплуатации водозаборных сооружений;

- по результатам ведения наблюдений за режимом подземных вод определено влияние добычи подземных вод на окружающую среду, в том числе на подземные и поверхностные водные объекты, на режим эксплуатации ближайших водозаборных сооружений.

К **категории В** относятся запасы подземных вод, для которых:

- определены условия распространения, глубина залегания, особенности строения намечаемого к эксплуатации водоносного горизонта (комплекса), охарактеризована его взаимосвязь с подземными и поверхностными водными объектами, установлены фильтрационные свойства водовмещающих пород и их изменение по площади и в разрезе;

- выполнена достоверная количественная оценка источников формирования запасов подземных вод применительно к принятым условиям эксплуатации месторождения и величине водоотбора;

- изучено качество подземных вод с учетом их направления использования, обоснована возможность сохранения качества подземных вод или его незначительное изменение в допустимых пределах в течение расчетного срока эксплуатации водозаборных сооружений;

- определены расчетные гидрогеологические параметры по данным буровых и опытно-фильтрационных работ (включая, в зависимости от сложности геолого-гидрогеологических условий, проведение опытных, пробных, эксплуатационных откачек), произведена их экстраполяция по площади, определена возможность достижения расчетного дебита скважин при принятом для подсчета запасов режиме эксплуатации водозаборных сооружений;

- получены данные для разработки гидрогеологической и (или) математической модели месторождения подземных вод и области его возможного взаимодействия с другими месторождениями;

- оценено возможное влияние разработки месторождения подземных вод на окружающую среду в период расчетного срока эксплуатации водозаборных сооружений, в том числе на подземные и поверхностные водные объекты, на режим эксплуатации ближайших водозаборных сооружений;

- выполнен подсчет запасов подземных вод на основании расчетных гидрогеологических параметров с учетом принятого для подсчета запасов режима эксплуатации водозаборных сооружений и потребности в подземных водах или с учетом результатов опытно-промышленной разработки месторождения;

- на месторождениях минерализованных промышленных вод выполнено изучение технологических свойств минерализованных промышленных вод, определено количество полезных компонентов, которое может быть получено на месторождении, обоснован выбор наиболее рационального извлечения полезных компонентов;

- на месторождениях минеральных вод, планируемых к использованию в лечебных и профилактических целях, изучены лечебные и лечебно-профилактические свойства минеральных вод.

К **категории С1** относятся запасы подземных вод, для которых:

- определены основные особенности геологического строения и гидрогеологические условия месторождения;

- выполнена предварительная количественная оценка источников формирования запасов подземных вод;

- изучено качество подземных вод с учетом их направления использования, выполнен предварительный прогноз сохранения качества подземных вод в течение расчетного срока эксплуатации водозаборных сооружений;

- определены основные расчетные гидрогеологические параметры по данным буровых работ, кратковременных пробных и (или) опытных откачек из одиночных буровых скважин, произведена их приближенная экстраполяция по площади;

- получены данные для разработки предварительной гидрогеологической и (или) математической модели месторождения подземных вод, и области его возможного взаимодействия с другими месторождениями подземных вод;

- оценено возможное влияние разработки месторождения подземных вод на окружающую среду: в период расчетного срока эксплуатации водозаборных сооружений, в том числе на подземные и поверхностные водные объекты, на режим эксплуатации ближайших водозаборных сооружений;

- выполнен подсчет запасов подземных вод на основании расчетных гидрогеологических параметров с учетом условного режима эксплуатации водозаборных сооружений;

- на месторождениях минерализованных промышленных вод выполнено изучение технологических свойств минерализованных промышленных вод, определено количество полезных компонентов, которое может быть получено на месторождении, обоснован выбор наиболее рационального извлечения полезных компонентов;

- на месторождениях минеральных вод, планируемых к использованию в лечебных и профилактических целях, изучены лечебные и лечебно-профилактические свойства минеральных вод.

К **категории С2** относятся запасы подземных вод, для которых:

- определены основные особенности геологического строения и гидрогеологические условия месторождения;

- определены предположительные источники формирования запасов подземных вод в пределах выявленных площадей, участков и комплексов водовмещающих пород;

- изучено качество подземных вод с учетом их направления использования по результатам отбора единичных проб подземных вод;

- определены предварительные расчетные гидрогеологические параметры по данным буровых работ, кратковременных пробных и (или) опытных откачек из одиночных буровых скважин, изучены условия водоотбора с учетом целесообразности проведения дальнейших геологоразведочных работ;

- выполнен подсчет запасов подземных вод на основании расчетных гидрогеологических параметров с учетом условного режима эксплуатации водозаборных сооружений или по аналогии с более изученными месторождениями подземных вод;

- на месторождениях минерализованных промышленных вод выполнено изучение технологических свойств минерализованных промышленных вод, определено количество полезных компонентов, которое может быть получено на месторождении, обоснован выбор наиболее рационального извлечения полезных компонентов;

- на месторождениях минеральных вод, планируемых к использованию в лечебных и профилактических целях, изучены лечебные и лечебно-профилактические свойства минеральных вод.

По экономическому значению запасы подземных вод подразделяются:

- на балансовые;

- забалансовые.

Определение балансовой принадлежности запасов подземных вод производится в соответствии со статьей 78 [14].

3.2 Типы сооружений для забора воды из подземных источников водоснабжения

3.2.1 Классификация подземных источников водоснабжения

Подземные источники водоснабжения *классифицируются* о ряду признаков.

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

- верховодка;

- грунтовые воды;

- межпластовые воды.

2 По *производительности*:

- источники с минимальным расходом (расход менее $1 \text{ м}^3/\text{с}$);
- средние источники (расход от 1 до $10 \text{ м}^3/\text{с}$);
- крупные источники (расход более $10 \text{ м}^3/\text{с}$).

3 По *температуре*:

- исключительно холодные (температура воды ниже 0°C);
- весьма холодные ($0\text{--}4^\circ\text{C}$);
- холодные ($4\text{--}20^\circ\text{C}$);
- теплые ($20\text{--}37^\circ\text{C}$);
- горячие ($37\text{--}42^\circ\text{C}$);
- весьма горячие ($42\text{--}100^\circ\text{C}$);
- исключительно горячие (более 100°C).

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

- пресные (содержание сухого остатка до 1 г/л);
- слабоминерализованные ($1\text{--}3 \text{ г/л}$);
- средней минерализации ($3\text{--}10 \text{ г/л}$);
- минерализованные ($10\text{--}50 \text{ г/л}$);
- рассолы (более 50 г/л).

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 зависят от гидрометеорологических факторов и колеблются 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 водопорами. 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 водопором 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 земную поверхность (фонтанировать).

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 водоисточником, но имеют ограниченный дебит и могут использоваться только для небольших потребителей. Родники классифицируются следующим образом:

- *нисходящие* – ключи, выходящие на земную поверхность вследствие выклинивания (выхода) водонепроницаемого слоя, по которому идет грунтовый поток;

- *восходящие* – это ключи, которые выходят на земную поверхность снизу их напорных горизонтов.

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 их температура 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.

3.2.2 Основные типы водозаборных сооружений, их конструктивные особенности и условия применения

Выбор **типа сооружений для забора подземных вод** зависит:

- от глубины и условий залегания водоносного пласта;
- мощности;
- способности водоотдачи.

Сооружения, применяемые для забора подземных вод, *подразделяются*:

- на трубчатые колодцы (скважины);
- шахтные колодцы;
- горизонтальные водосборы;
- лучевые водозаборы;
- каптажи родниковых вод (рисунок 3.1).

Характеристика и область применения сооружений для забора подземных вод приведены в таблице 3.1.

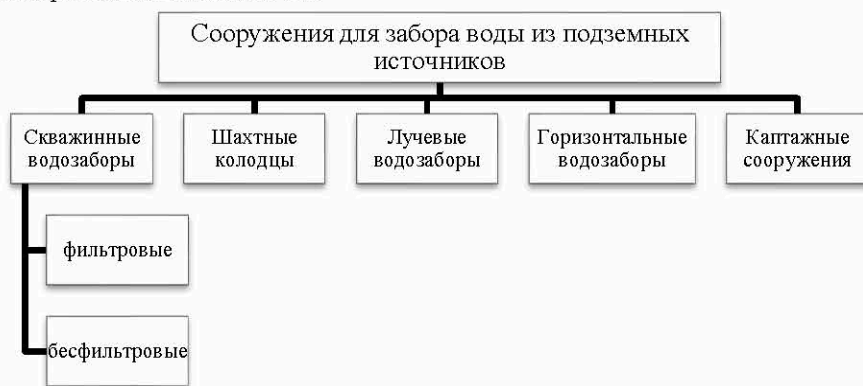


Рисунок 3.1 – Типы сооружений для забора подземных вод

Таблица 3.1 – Краткая характеристика и примерная область применения водозаборных сооружений

Тип	Область применения	Краткая характеристика
Водозаборные скважины	Для забора воды из напорных и безнапорных водоносных пластов, залегающих на глубине более 15–50 м от поверхности земли	Вертикальная выработка диаметром 50–600 мм и более, глубиной до 500 м и более
Шахтные колодцы	Для забора воды из маломощных пластов, залегающих на глубинах до 40 м от поверхности земли	Вертикальная выработка диаметром до 1–2 м и глубиной до 30–40 м

Окончание таблицы 3.1

Тип	Область применения	Краткая характеристика
Горизонтальные водозаборы	Для забора воды из мало-мощных пластов, залегающих на глубине 6–8 м от поверхности земли, вблизи водотоков и водоемов	Горизонтальные дырчатые водосборные трубы или галереи, оборудованные гравийным фильтром; через 30–50 м на них установлены смотровые колодцы
Лучевые водозаборы	Для забора воды из мало-мощных (до 10 м) водоносных пластов, залегающих на глубинах до 15–20 м от поверхности земли в песчано-галечниковых отложениях с содержанием валунов менее 10 %, а 60 % фракций в грунте должно быть менее 70 мм	Шахта, в нижней части которой в водоносные пласты вдавлены горизонтальные скважины, оборудованные фильтрующей поверхностью из сеток или зернистых обсыпок
Каптажи родниковых вод	Применяются при наличии концентрированного выхода подземных вод на поверхность земли	Каменные или бетонные камеры с водоприемными отверстиями с гравийным фильтром, оборудованные водоотводными трубами

В зависимости от требуемой надежности, глубины залегания и мощности водоносных пластов типы подземных водозаборов рекомендуется принимать согласно данным, приведенным в таблице 3.2.

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, малых населенных пунктов и промышленных предприятий. Глубина скважины определяется глубиной залегания и мощностью водоносного горизонта и может составлять 5–1000 м. Обычно для водоснабжения используются скважины глубиной до 150 м, реже – до 300 м, совсем редко до 800 м.

Таблица 3.2 – Категории надежности подачи воды водозаборами из подземных водоисточников

Типы подземных водозаборов	Глубина залегания водоносного пласта от поверхности земли, м				
	<5	5–10	10–30	>30	
	при мощности водоносного пласта или глубина подземного потока, м				
	<4	4–8	<10	10–20	>20
Водозаборные скважины	–	–	2	2	1
Шахтные колодцы	3	2	2	–	–
Горизонтальные водозаборы:					
– трубчатые	3	2	–	–	–
– галерейные	2	1	–	–	–
– каменно-щебеночные	3	–	–	–	–

Их устраивают путем бурения в земле скважин, стенки которых крепятся *обсадными трубами*.

Шахтные колодцы используются, 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. В поперечном сечении размер шахтного колодца (диаметр или ширина) составляет 0,8–2,0 м.

Водозабор горизонтального типа позволяет эксплуатировать совсем маломощные водоносные пласты и особенно эффективен, когда располагается вблизи реки, озера или водохранилища.

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

Горизонтальные водозаборы имеют водоприемную часть, которая расположена горизонтально. Более подробно горизонтальные водозаборы рассмотрены в п. 3.9.

Существует древний тип горизонтального водозабора – *кяризы*, которые представляют собой 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 (рисунок 3.2).

Обычно кяриз строится на косогорном участке. В водоносном пласте устраивается водосборная штольня, укрепленная камнем или деревом. За водосборным участком идет водопроводящая галерея, уклон которой делается

меньше уклона поверхности земли. Благодаря этому собранная из грунта вода самотеком выводится наружу и поступает в водосборный канал или водоем.

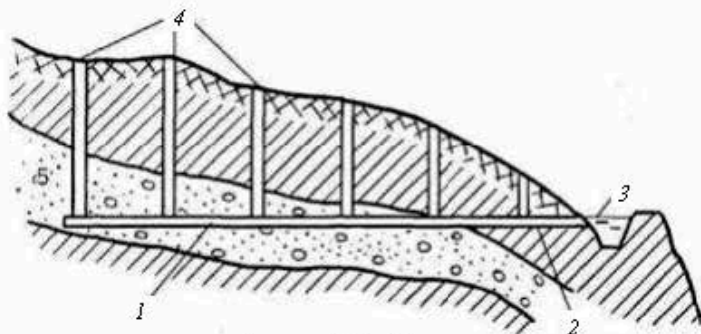


Рисунок 3.2 – Кыриз:
1 – водосборная штольня, 2 – водоотводящая галерея, 3 – водоприемный канал,
4 – смотровые колодцы

С поверхностью земли горизонтальная часть кyarиза соединяется вертикальными колодцами, которые устраиваются по длине водозабора с интервалом 10–50 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 наверх бадьи и ведра с грунтом. После завершения строительства вертикальные колодцы становятся вентиляционными, смотровыми и ремонтными.

Лучевые водозаборы – это система горизонтальных или накопительных скважин, которые собирают воду из водоносного пласта и отводят ее в центральную водосборную камеру (шахту), откуда ведется откачка (подразд. 3.10).

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

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 водоносным горизонтом, более глубоких напорных вод – если эти пласты по отдельности не обеспечивают расчетной производительности водозабора или по технико-экономическим показателям.

Подземные воды, которые выходят на поверхность земли в виде родников, захватываются **каптажными водозаборами**, выполненными в виде водосборной камеры или неглубокого опускающего колодца.

3.2.3 Состав и схемы водозаборных сооружений

Состав сооружений водозабора и схема их размещения на местности определяется в зависимости от типа водоприемных устройств.

Система водоснабжения с забором воды из подземных источников в общем случае состоит из следующих сооружений:

- водоприемные сооружения – для приема воды из источника (водоносного пласта);
- насосные станции первого подъема воды;
- сборные водоводы – для сбора воды и подачи ее на сооружения по подготовке и улучшению качества воды (при необходимости) или в резервуары для дальнейшего транспортирования к потребителям;
- сооружения по подготовке и улучшению качества воды;
- насосные станции и магистральные водоводы для транспортирования воды к потребителю;
- сооружения, регулирующие напор и расход воды перед подачей ее в водопроводную сеть.

Схема, приведенная на рисунке 3.3, относится к наиболее часто встречающемуся в практике водозаборов подземных вод составу сооружений, когда в качестве водоприемных устройств применяются скважины или шахтные колодцы и когда извлекаемая из водоносного пласта вода нуждается в улучшении качества.

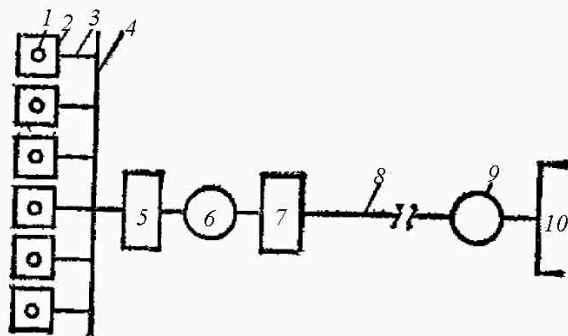


Рисунок 3.3 – Состав и схема расположения сооружений системы водоснабжения из подземных вод:

1 – водоприемные сооружения; 2 – насосные станции I подъема; 3 – трубопроводы от насосных станций I подъема к сборному водоводу; 4 – сборный водовод; 5 – сооружения очистки и подготовки воды; 6 – резервуары для очищенной и подготовленной воды; 7 – насосная станция II подъема; 8 – магистральный водовод; 9 – сооружения, регулирующие напор и расход воды, подаваемой в водопроводную сеть потребителя; 10 – потребитель воды

Состав сооружений системы водоснабжения и взаимное расположение отдельных ее элементов (рисунок 3.4) может существенно меняться в зависимости от ряда факторов:

- природных условий;
- глубины залегания подземных вод;
- качества воды;
- мощности водозабора;
- удаленности источника водоснабжения от потребителя;
- количества водопотребителей и др.

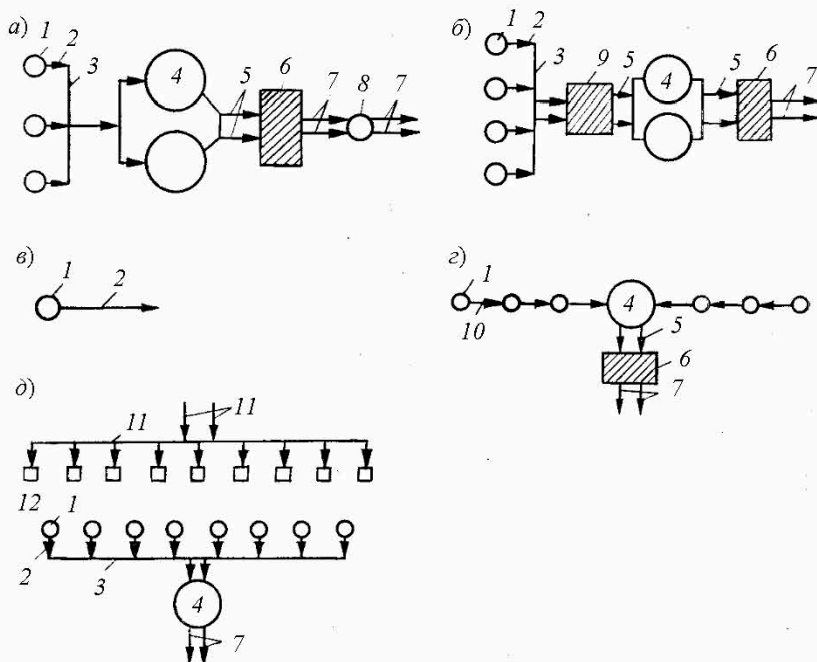


Рисунок 3.4 – Основные схемы систем водоснабжения населенных пунктов из подземных источников:

- а* – без станции водоподготовки; *б* – со станцией водоподготовки; *в* – с одиночной скважиной; *г* – с водосборным резервуаром; *д* – с искусственным восполнением подземных вод;
- 1 – скважина; 2 – напорный трубопровод; 3 – сборный коллектор; 4 – резервуар чистой воды; 5 – самотечные водоводы; 6 – насосная станция II подъема; 7 – напорные водоводы; 8 – водонапорная башня; 9 – сооружения водоподготовки; 10 – сифонный водовод; 11 – напорные водоводы сырой воды; 12 – поглощающая скважина

Вода из скважин с помощью водоподъемного оборудования по сборным водоводам подается в резервуары чистой воды (РЧВ), где аккумулируется, и

оттуда насосами насосной станции II подъема (НС-II) подается в магистральную водопроводную сеть. Излишек воды поступает в водонапорную башню, размещенную в наиболее возвышенной точке населенного пункта, – в начале, середине или в конце водопроводной сети. В ряде случаев водонапорная башня отсутствует, и напор в сети регулируется частотными преобразователями, установленными на насосах НС-II (см. рисунок 3.4, а).

Если вода, забираемая скважинами, требует предварительной обработки – обезжелезивания, то станция обезжелезивания размещается перед резервуарами чистой воды (см. рисунок 3.4, б).

Наиболее простой является схема с одиночной скважиной, подающей воду непосредственно в сеть (см. рисунок 3.4, в). Обычно одиночные скважины устраиваются при небольших количествах забираемой воды и наличии обильных водоносных горизонтов. Если уровни напорных вод расположены от поверхности земли относительно неглубоко, целесообразна схема устройства водозаборного узла с сифонными трубопроводами, подающими воду от отдельных скважин в РЧВ, а из него насосами в сеть (см. рисунок 3.4, г). Сооружения для забора искусственно пополняемых подземных вод необходимо располагать вблизи инфильтрационных сооружений (см. рисунок 3.4, д).

При сифонном способе отбора воды скважинами, шахтными колодцами насосные станции первого и второго подъема обычно совмещаются в одном здании; при необходимости более глубокой обработки воды, например, обезжелезивания и фторирования, комплекс этих сооружений расширяется. При значительном удалении водопотребителей от источника водоснабжения и относительно большом перепаде высот в рельефе разделяющей их местности на линии магистральных водоводов после насосной станции второго подъема сооружаются насосные станции третьего, четвертого подъема и т. д.

3.2.4 Выбор водоносного пласта и места расположения водозабора

Для питьевого водоснабжения должны максимально использоваться имеющиеся запасы подземных вод, удовлетворяющих санитарно-гигиеническим требованиям, при соблюдении следующих условий:

- позволяют обеспечить общее водопотребление по проектируемой системе водоснабжения;
- возможно увеличение запасов до расчетной потребности путем искусственного пополнения при недостаточных запасах;
- качество воды удовлетворяет требованиям [2, 8] или может быть доведено до требуемого качества экономически оправданными и надежными способами;
- имеется возможность создать зоны санитарной охраны водозабора.

При выборе подземного источника централизованного питьевого водоснабжения необходимо проводить его оценку по основным *гигиеническим критериям*:

- санитарная надежность;

– возможность получения питьевой воды, соответствующей гигиеническому нормативу [2];

– возможность организации зон санитарной охраны вокруг источника и соблюдения соответствующего режима в пределах ее поясов.

Оценка пригодности подземного водного объекта как источника централизованного питьевого водоснабжения должна выполняться на основе изучения и анализа:

– условий формирования и залегания подземного водного объекта;

– качественных и количественных характеристик воды подземного водного объекта;

– места размещения водозаборных сооружений;

– прогноза санитарного состояния источника, разрабатываемого на долгосрочную перспективу.

В зависимости от характеристик воды по химическим и микробиологическим показателям и требуемой степени обработки для доведения ее качества до требований безопасности питьевой воды централизованных систем питьевого водоснабжения, подземные источники делятся на три класса (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Классификация подземных источников централизованного питьевого водоснабжения в зависимости от состава и свойств воды

Показатель	Значение показателей, не более		
	1-й класс	2-й класс	3-й класс
Мутность, мг/дм ³	1,5	1,5	10
Цветность, град	20	20	50
Водородный показатель	6–9	6–9	6–9
Железо общее, мг/дм ³	0,3	10	20
Марганец, мг/дм ³	0,1	1	2
Сероводород, мг/дм ³	Отсутствует	3	10
Фтор, мг/дм ³	1,5–0,7	1,5–0,7	5
Окисляемость перманганатная, мг O ₂ /дм ³	2	5	15

К *первому классу* относятся источники, вода которых по всем показателям соответствует требованиям безопасности воды централизованных систем питьевого водоснабжения и может быть непосредственно подана потребителю.

Перечень показателей для проведения лабораторных исследований при выборе источника должен включать следующие обязательные показатели:

– *органолептические* (запах при 20 и 60 °С, привкус при 20 °С, цветность, мутность);

– *химического состава воды* (водородный показатель pH, сухой остаток, жесткость общая, окисляемость перманганатная, сульфаты, хлориды,

нитраты, алюминий, барий, бериллий, бор, железо, кадмий, марганец, медь, молибден, мышьяк, никель, ртуть, свинец, селен, стронций, фториды, хром(6), цинк, сероводород, свободная углекислота);

– *микробиологические* (общее микробное число (ОМЧ), общие колиформные бактерии (ОКБ)).

Дополнительные химические показатели устанавливаются на основе анализа рисков от потенциальных источников загрязнения, расположенных в зоне влияния водозабора.

В случае обнаружения ОКБ необходимо дополнительно провести исследования по следующим показателям: *возбудители кишечных инфекций* (сальмонеллы, шигеллы, энтеровирусы), *колифаги, энтерококки, аммонийный азот, нитриты*.

При наличии нескольких источников и равной возможности обеспечения требуемого количества и показателей воды выбор источника должен осуществляться путем сравнения вариантов схем обработки воды с учетом:

– санитарной надежности источника;

– гигиенической характеристики схем обработки с позиций наименьшего риска для здоровья населения от побочных продуктов водоподготовки.

При наличии нескольких водоносных пластов, пригодных для использования в целях централизованного водоснабжения, выбор эксплуатационного водоносного пласта осуществляется на основании:

– оценки соответствия показателей качества воды водоносного пласта нормативным требованиям;

– максимально возможного дебита каждого пласта.

Для каждого водоносного пласта делается вывод о величине дебита и возможности обеспечить водопотребление объекта водоснабжения.

Составляется общее заключение о возможности эксплуатации каждого из обследованных пластов и производится выбор эксплуатационного пласта. Если по предварительным данным такой выбор сделать невозможно, рассматриваются различные возможные варианты скважинного водозабора, производится технико-экономическое сравнение этих вариантов и делается окончательный выбор эксплуатационного пласта.

При прочих равных условиях наиболее подходящим для эксплуатации является водоносный пласт, который содержит воду наилучшего качества, имеет большой удельный дебит и расположен ближе других к поверхности земли.

Состав сооружений и элементов скважинного водозабора определяется природными и другими условиями территории размещения водозабора с учетом критерия надежности подачи воды и требований к резервированию сооружений и оборудования.

При размещении скважинного водозабора необходимо учитывать:

– глубину залегания подземных вод;

– качество воды;

- мощность водозабора;
- удаленность источника водоснабжения от потребителя;
- количество потребителей;
- систему водоснабжения (централизованную или нецентрализованную).

Для водоносного горизонта месторождений подземных вод определяются следующие показатели:

- условия залегания (глубина, мощность, форма и площадь распространения);
- литологический состав слагающих пород и граничащих с водоносным пластом в плане и вертикальном разрезе;
- фильтрационные параметры (коэффициент фильтрации, проницаемость, пьезопроводность);
- химический состав подземных вод;
- наличие естественных ресурсов на срок эксплуатации водозабора;
- условия питания и разгрузки (неограниченный, полуграниченный открытые пласты и др.);
- степень гидравлической связи со смежными водоносными горизонтами и поверхностными водами.

3.3 Водозаборные скважины

Для строительства и надежной последующей эксплуатации скважинных водозаборов в процессе проектирования:

- определяют:
 - водозахватную способность скважин Q_0 в конкретных гидрогеологических условиях, в местах расположения водозабора;
 - величину понижения статического уровня S , исходя из технико-экономических соображений и рационального режима эксплуатации водоносного горизонта;
 - тип фильтра, его конструкцию и размеры;
 - марку насоса;
 - конструируют скважину и оголовок;
 - komponуют водозаборный узел, предварительно определив число скважин, их расстояние друг от друга и метод транспортировки воды по общему водоводу в сеть или на станцию водоподготовки.

Скважинные водозаборы проектируются состоящими из одиночной рабочей скважины или группы взаимодействующих скважин. Для большой группы взаимодействующих скважин предусматривают линейное или площадное размещение с тупиковой, кольцевой и комбинированной схемами подключения к сборным водоводам (подряд. 3.8).

В зависимости от природных и других местных условий (глубина залегания подземных вод, качество воды, мощность водозабора, удаленность источника от потребителя, количество водопотребителей и др.) схема сооружений и взаимное расположение отдельных ее элементов могут меняться.

Определение схемы размещения водозаборных скважин на местности является весьма важной частью проекта водозабора. Она должна быть наиболее эффективной в гидрогеологическом и экологическом отношении, а также и экономичной по протяженности коммуникаций.

Схема размещения может быть линейной или площадной и, насколько позволяют гидрогеологические условия, наиболее компактной (рисунок 3.5).

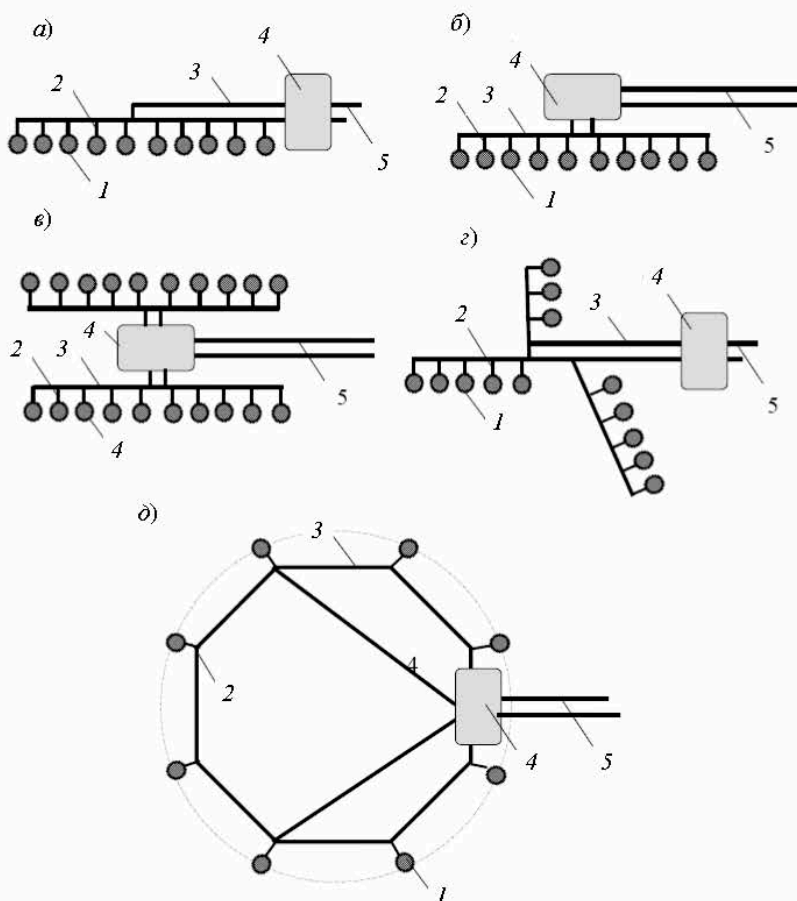


Рисунок 3.5 – Схемы скважинных водозаборов:

а, б – линейный ряд скважин с расположением головных сооружений соответственно в начале водозабора и в середине; *в* – площадная схема водозаборов с двумя рядами скважин с расположением головных сооружений в начале или в середине водозабора; *г* – произвольная схема расположения скважин; *д* – кольцевая схема расположения скважин;

1 – водозаборные скважины с насосными станциями I подъема; *2* – отводной трубопровод;

3 – сборный водовод; *4* – головные сооружения водозабора; *5* – водовод

3.3.1 Конструкции водозаборных скважин и их оборудование

Водозаборная скважина является основным элементом скважинного водозабора и от качества ее проектирования и качества строительства зависит работа водозабора в целом. Дефекты в конструкции и нарушения в работе скважины приводят к перебою работы всей системы снабжения водой того или иного объекта.

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).

На **выбор конструкции скважины** оказывают влияние следующие **факторы**:

- физико-механические свойства горных пород, слагающих геологический разрез;
- гидрогеологические условия;
- способ бурения (технические средства);
- требования к эксплуатации скважины;
- требования санитарной охраны;
- возможность производства ремонтно-восстановительных работ при эксплуатации скважины.

Технико-экономическое обоснование способа бурения скважин составляется по совокупности показателей:

- качество и долговечность скважины;
- срок строительства;
- стоимость строительства.

Проектная глубина скважины назначается в зависимости от глубины и мощности водоносного горизонта, принятого для эксплуатации подземных вод, а ее *начальный* и *конечный диаметры* – в зависимости от размеров и конструкции фильтра, насоса, намечаемого к установке, и способа бурения.

Конструкция водозаборной скважины представляет собой схему ее устройства, в которой указываются:

- диаметры бурения (начальный, промежуточный и конечный диаметры породоразрушающего инструмента: долота, коронки, шнеки и др.);
- диаметры, глубины спуска и количество обсадных колонн с указанием материалов, из которых они изготовлены, и типов соединения;
- виды и размеры водоприемной части скважины (фильтровые, бесфильтровые);

- глубина скважины;
- места, интервалы и способы тампонирования или цементирования затрубных и межтрубных пространств;
- варианты обустройства устья и забоя скважины, типы сальников и приспособления для замеров уровней воды, дебитов и отбора проб воды;
- приспособления для спуска и подъема фильтров.

Скважина состоит из следующих *основных конструктивных элементов*:

- направляющей колонны;
- кондуктора;
- промежуточных колонн (технических колонн обсадных труб);
- эксплуатационной колонны;
- защиты (цементной или иной);
- водоприемной части;
- отстойника.

При бурении скважин на воду для разобщения пластов и предохранения стенок скважины от обрушения ствол крепится обсадными трубами. Первая короткая обсадная труба длиной 4–6 м (*направляющая*) служит для предохранения устья скважины от размыва и обрушения. Вторая колонна (*кондуктор*) предназначена для перекрытия слабых, неустойчивых верхних пород для изоляции от возможных перетоков вод вышележащих горизонтов.

При значительной глубине скважины и достаточно сложном геологическом разрезе, включающем неустойчивые породы, используются *технические колонны*.

Последняя колонна (*эксплуатационная*) предназначена для установки водоподъемного оборудования.

В зависимости от гидрогеологических условий при необходимости фильтровые колонны опускают (впотай или на эксплуатационной колонне).

Водоприемная часть – это часть конструкции скважины, через которую вода из водоносного пласта поступает в ствол скважины.

Отстойник – это нижняя часть скважины, предназначенная для закрепления приспособлений для извлечения фильтров и задержания частиц водоносной породы.

В зависимости от оборудования *водоприемной части* скважины подразделяются на бесфильтровые и фильтровые.

Бесфильтровые скважины проектируются в устойчивых скальных и полускальных водопроницаемых горных породах.

В неустойчивых скальных и полускальных грунтах проектируются скважины с *трубчатыми перфорированными фильтрами с круглыми или со щелевыми отверстиями* и с *каркасно-стержневыми фильтрами*.

В неустойчивых рыхлых (пористых) крупнообломочных горных породах гравийная обсыпка фильтров не предусматривается, фильтр монтируется на эксплуатационной колонне обсадных труб (рисунок 3.6, а).

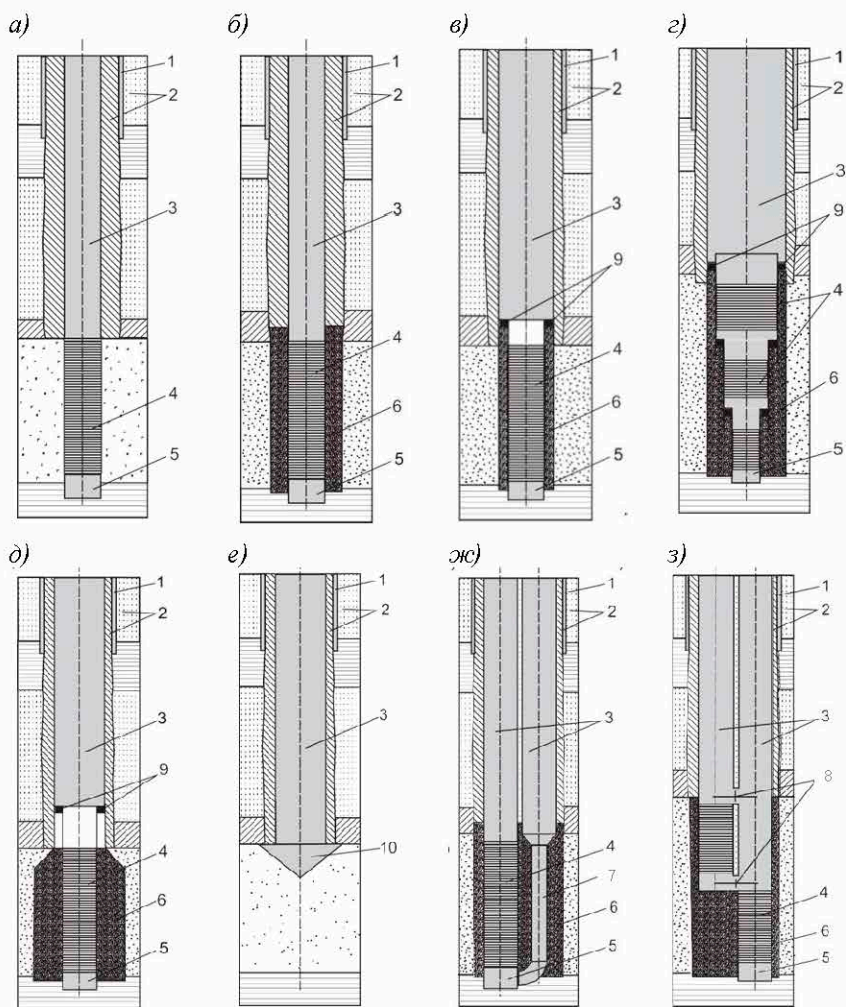


Рисунок 3.6 – Типовые конструкции водозаборных скважин [11]:

а – одноколонная с фильтром без гравийной обсыпки; *б* – одноколонная с фильтром с проволоочной обмоткой и гравийной обсыпкой; *в* – с фильтром, установленным впотай и гравийной обсыпкой; *г* – с телескопическим фильтром, установленным впотай, и гравийной обсыпкой; *д* – с фильтром, установленным впотай, и расширенным контуром гравийной обсыпки; *е* – бесфильтровая скважина в рыхлых породах; *ж* – двухколонная однофильтровая; *з* – двухколонная двухфильтровая;
1 – кондуктор; *2* – цементация; *3* – обсадная труба; *4* – фильтр; *5* – отстойник; *6* – гравийная обсыпка; *7* – обводная труба; *8* – перемычка; *9* – сальник; *10* – каверна

Изоляция выпележащих водоносных горизонтов предусматривается посредством *затрубной цементации*.

В неустойчивых рыхлых (пористых) песчаных горных породах (песках) для увеличения удельного дебита скважина оборудуется *фильтром с гравийной обсыпкой* (см. рисунок 3.6, б).

В скважине, оборудованной *фильтром с гравийной обсыпкой*, установленным впотай (см. рисунок 3.6, в), предусматривается возможность подъема фильтра на поверхность и для замены в случае выхода его из строя.

В скважине с относительно длинным фильтром с гравийной обсыпкой, установленным впотай, фильтр выполняется телескопическим, состоящим из нескольких отдельных секций, с уменьшающимися к забою скважины диаметрами (см. рисунок 3.6, г). При выходе фильтра из строя его извлекают по частям, начиная с нижней секции, особенно при проведении капитального ремонта скважин.

Для увеличения удельного дебита скважины с фильтром, установленным впотай, предусматривается гравийная обсыпка уширенного контура со вскрытием водоносного горизонта с помощью распырителя (см. рисунок 3.6, д).

Водоприемная часть бесфильтровой скважины в пылеватых водоносных песках, имеющих прочную мощную кровлю, проектируется в виде воронки (каверны) с большой водосборной площадью (см. рисунок 3.6, е).

Для обеспечения более равномерного притока воды к фильтру при одновременной работе двух одинаковых насосных агрегатов проектируется *двухколонная однофильтровая скважина* (см. рисунок 3.6, ж).

Для обеспечения резервирования скважин и возможности работы двух насосных агрегатов разной производительности проектируется *двухколонная двухфильтровая скважина* (см. рисунок 3.6, з), которая характеризуется повышенной бесперебойностью подачи воды потребителю, низкой удельной стоимостью строительства и низкими эксплуатационными затратами. Установка фильтров производится на разных уровнях водоносного горизонта. Для снижения материалоемкости проектируется *двухколонная однофильтровая скважина с двухъярусным фильтром*, которая обеспечивает равномерный приток воды к фильтру как при одновременной работе двух насосов, так и при откачке воды одним насосом из второй колонны скважины.

3.3.2 Основные параметры водозаборных скважин

К основным параметрам водозаборных скважин относятся статический, динамический уровни, понижение, дебит, удельный дебит, глубина. При этом понижение и удельный дебит являются расчетными параметрами, а остальные измеряются при обследовании.

Основные параметры водозаборной скважины приведены на рисунке 3.7.

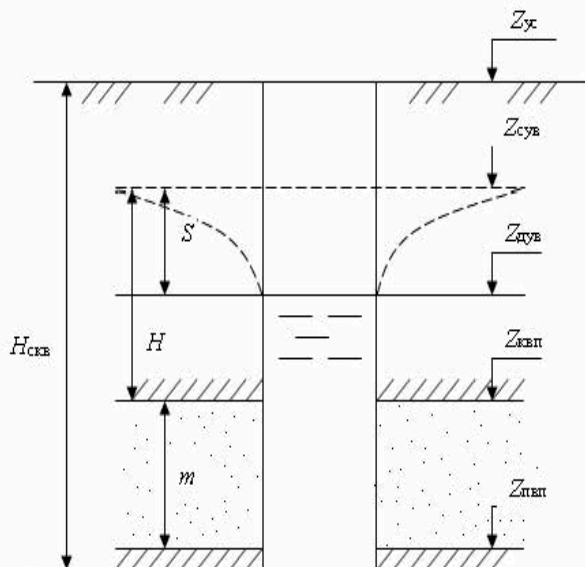


Рисунок 3.7 – Расчетная схема скважины:

- $Z_{\text{у}}$ – отметка устья скважины (поверхности земли);
 $Z_{\text{квп}}$ – отметка кровли водоносного пласта;
 $Z_{\text{лпв}}$ – отметка подошвы водоносного пласта;
 m – мощность водоносного пласта;
 H_0 – статический напор водоносного пласта;
 $Z_{\text{сув}}$ – отметка статического уровня воды: $Z_{\text{сув}} = Z_{\text{квп}} + H_0$;
 $S_{\text{ф}}$ – фактическая глубина понижения уровня воды;
 $Z_{\text{дуб}}$ – отметка динамического уровня воды: $Z_{\text{дуб}} = Z_{\text{сув}} - S_{\text{ф}}$;
 $Z_{\text{д}}$ – отметка дна скважины (принимается на 2 м ниже $Z_{\text{лпв}}$): $Z_{\text{д}} = Z_{\text{лпв}} - 2$;
 $H_{\text{скв}}$ – глубина скважины: $H_{\text{скв}} = Z_{\text{у}} - Z_{\text{д}}$.

Статический уровень воды ($Z_{\text{сув}}$) – отметка поверхности воды в скважине при отсутствии из нее водоотбора и закачки. В ряде случаев величина статического уровня может быть подвержена сезонным, а иногда суточным колебаниям, например, при гидравлической связи с поверхностными водами. При длительной эксплуатации водозаборов, как правило, происходит снижение статического уровня из-за снижения пьезометрического напора.

Динамический уровень воды ($Z_{\text{дуб}}$) – отметка поверхности воды в скважине при водоотборе из нее. Уровень воды в скважине снижается с возрастанием величины водоотбора из скважины.

Понижение (S) – разность между статическим ($Z_{\text{сув}}$) и динамическим ($Z_{\text{дуб}}$) уровнем воды в скважине при определенных значениях величины водоотбора из нее:

$$S = Z_{\text{суб}} - Z_{\text{дуб}}. \quad (3.1)$$

Дебит скважины (Q , м³/ч) – количество воды, забираемой из скважины при установившемся динамическом уровне в единицу времени.

Удельный дебит (q , м³/ч·м) – отношение дебита скважины к понижению, полученному при данной величине водоотбора,

$$q = Q / S. \quad (3.2)$$

Удельный дебит характеризует водоотдачу вскрытого водоносного горизонта и гидравлические характеристики скважины.

Теоретически считается, что для напорных водоносных горизонтов величина удельного дебита постоянна. Практически, с увеличением водоотбора и понижением уровня в скважине возрастают сопротивления движению воды в водоносном горизонте, на входе в фильтр и далее в обсадных и водоподъемных трубах, и соответственно при увеличении водоотбора значение удельного дебита имеет тенденцию к понижению [1].

Мощность водоносного пласта – расстояние от зеркала воды до поверхности водоупорного ложа или расстояние между двумя водоупорами (для напорных вод).

Устье скважины – верхняя часть ствола скважины, через которую осуществляется подъем жидкости и спуск внутрь скважинного оборудования.

3.4 Гидрогеологические расчеты водозаборных скважин

Основные задачи при выборе рациональной схемы скважинного водозабора, которые решаются на стадиях предварительной и детальной разведки, приведены на рисунке 3.8.

В качестве исходных параметров для расчетов скважинных водозаборов принимается дебит водозабора в течение срока его эксплуатации при допустимом понижении уровня воды в скважине.

Приток воды к скважинам зависит:

– от гидродинамической и гидрогеологической характеристики водоносного пласта;

– радиуса скважин r ;

– принятого понижения уровня воды в скважинах при откачке S .

Приток воды к скважине, м³/сут,

– при установившемся движении напорного потока и совершенной скважине (вскрывающей водоносный пласт на полную его мощность):

$$Q_c = \frac{2,73K_\phi mS}{\lg \frac{R}{r}}, \quad (3.3)$$

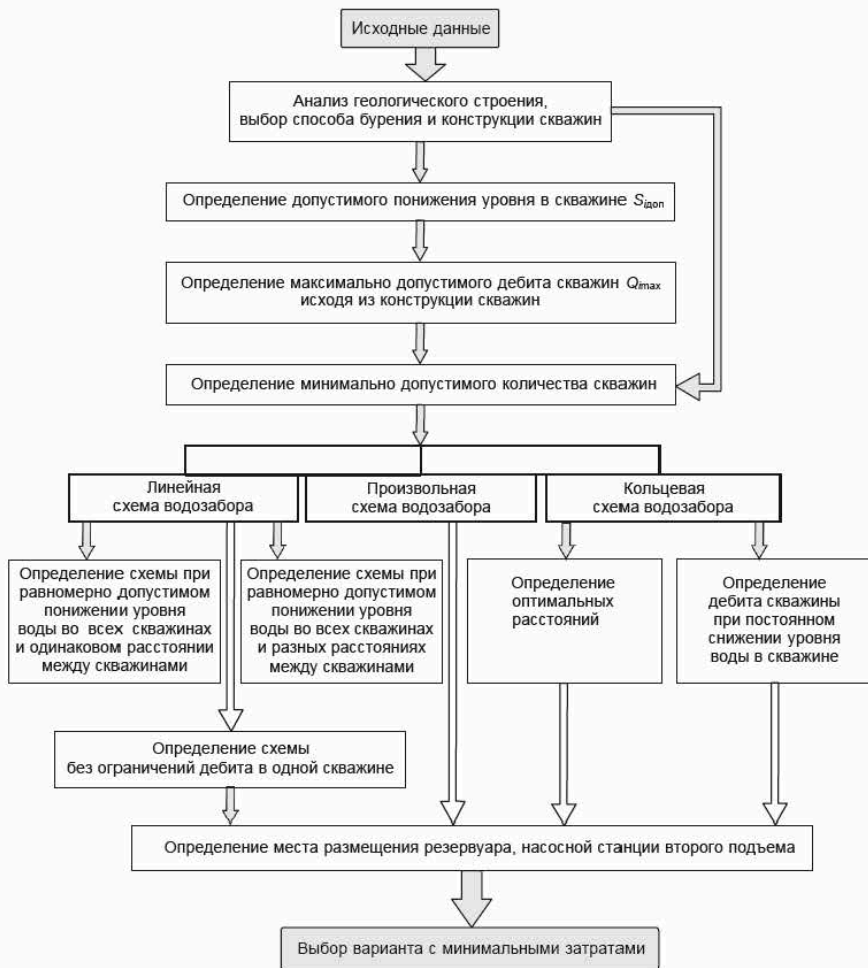


Рисунок 3.8 – Блок-схема основных задач при выборе рациональной схемы скважинного водозабора [11]

– для безнапорных вод в совершенной скважине:

$$Q_c = \frac{1,36K_\phi S(2m - S)}{\lg \frac{R}{r}}, \quad (3.4)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут, принимается по таблице 3.4;

m – мощность водоносного пласта, м;

r, R – соответственно радиус скважины и радиус влияния депрессионной воронки, м;

S – понижение уровня воды в скважине при откачке, м.

Таблица 3.4 – Параметры безнапорных водоносных пластов

Водоносные породы	Диаметр частиц, мм	Коэффициент фильтрации водоносного пласта K_{ϕ} , м/сут	Радиус влияния депрессионной воронки R , м	Коэффициент водоотдачи μ
Глинистые грунты, суглинки	–	0,01–0,1	–	0,01–0,05
Пески пылеватые, супеси	0,01–0,05	0,1–1,0	–	0,1–0,15
Пески:				
– тонкозернистые	0,05–0,25	0,1–10	25–100	0,15–0,20
– средней крупности	0,25–0,5	10–25	100–300	0,20–0,25
– крупные	0,5–1,0	25–75	300–400	0,25–0,3
– гравелистые	1,0–2,0	50–100	400–500	0,3–0,35
Гравий:				
– мелкий	2–3	75–100	400–600	0,3–0,35
– средний	3–5	100–200	600–1500	0,3–0,35
– крупный	5–10	200–300	1500–3000	0,3–0,35
Известняки	–	20–50	150–400	0,05–0,1
Песчаники	–	10–20	100–300	0,001–0,03

Для несовершенной скважины, питаемой напорными водами, приток воды, м³/сут,

$$Q_c = \frac{2,73K_{\phi}mS}{\lg \frac{R}{r} + \xi_1 + \xi_2}, \quad (3.5)$$

где ξ_1 – фильтрационное сопротивление несовершенной скважины, зависящее от соотношения длины водоприемной части скважины и мощности водоносного пласта, а также от соотношения мощности пласта и радиуса скважины;

ξ_2 – обобщение сопротивления фильтра и прифильтровой зоны водоприемной части скважины, зависящее от типа фильтра и характеристики контактируемых пород.

Значения $m, K_{\phi}, R, \xi_1, \xi_2$ определяются на основании специальных гидрогеологических изысканий. При их проведении уточняется также значение

удельного дебита скважины $q_{уд}$ (расхода воды при понижении статического уровня воды при откачке на 1 м).

Различают два вида несовершенства колодцев:

- 1) по степени вскрытия водоносного пласта;
- 2) характеру вскрытия водоносного пласта.

В первом случае вскрытие происходит не на полную мощность, при этом искривляются и удлиняются пути фильтрации струек воды, что вызывает дополнительные сопротивления, в результате снижается приток воды. Степень несовершенства в расчетах учитывают коэффициентом ξ_1 (таблица 3.5).

Во втором случае – по характеру вскрытия – несовершенство обусловлено наличием глухих промежутков между входными отверстиями в фильтрах. Глухие промежутки не пропускают воду, а отверстия, чтобы не допустить вынос частиц, имеют ограниченные размеры. Вследствие этого на входе воды в колодец возникают дополнительные гидравлические сопротивления, учитываемые в расчетах коэффициентом ξ_2 .

Таблица 3.5 – Значения коэффициента ξ_1 , учитывающего фильтрационное несовершенство в водозаборных скважинах по степени вскрытия пласта

l_ϕ / m	m/r							
	3	10	30	100	200	500	1000	2000
0,05	1,2	6,3	17,8	40	47	63	74,5	84,5
0,1	1	5,2	12,2	21,8	27,4	35,1	40,9	46,8
0,3	0,65	2,4	4,6	7,2	8,8	10,9	12,4	14,1
0,5	0,33	1,1	2,1	3,2	3,9	4,8	5,5	6,2
0,7	0,12	0,44	0,84	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6
0,9	0,01	0,06	1,15	0,27	0,34	0,43	0,5	0,58

Коэффициент ξ_2 определяется по формуле

$$\xi_2 = \frac{0,2AK_\phi^{0,5}m}{Q_c} \sqrt{S_0 v_{\phi, \text{доп}}}, \quad (3.6)$$

где A – параметр фильтрационного сопротивления; принимают в зависимости от типов фильтров: для трубчатых фильтров с круглыми или щелевыми отверстиями – 6–8; для каркасно-стержневых фильтров с проволоочной обмоткой и гравийной обсыпкой – 8–10; для трубчатых фильтров со штампованными отверстиями, с песчано-гравийной обсыпкой – 10–15; для сетчатых фильтров – 15–25;

Q_c – дебит одиночной скважины, м³/сут;

$v_{\text{ф.доп}}$ – допустимая скорость течения воды на входе в фильтр, м/с,

$$v_{\text{ф.доп}} = 1000 K_{\text{ф}} \left(\frac{D_{\text{ср.плл}}}{D_{\text{ср.обс}}} \right)^2, \quad (3.7)$$

$D_{\text{ср.плл}}$ – средний диаметр частиц горных пород водоносного горизонта, м;
 $D_{\text{ср.обс}}$ – средний диаметр частиц обсыпки, м.

Для несовершенной скважины, питаемой безнапорными водами, приток воды, м³/сут,

$$Q_c = \frac{1,36 K_{\text{ф}} m_p S}{\lg \frac{R}{r} + 0,43 (\xi_1 \pm \xi_2)}, \quad (3.8)$$

где m_p – мощность безнапорного водоносного пласта во время откачки, м,

$$m_p = 2H - S, \quad (3.9)$$

H – высота слоя безнапорного водоносного пласта, м.

Понижение уровня воды в скважине S для безнапорных водоносных пластов принимается с учетом допустимого понижения уровня воды в пласте $S_{\text{доп}}$, определяемого по формуле

$$S_{\text{доп}} = (0,5 \dots 0,7) H_{\text{в}} - h_{\text{н}} - h_{\text{ф}}, \quad (3.10)$$

где $H_{\text{в}}$ – высота столба воды в скважине до откачки, м;

$h_{\text{н}}$ – максимальная глубина погружения нижней кромки насоса под динамический уровень воды, м;

$h_{\text{ф}}$ – потери напора на входе воды в скважину из водоносной породы, м.

Для напорных водоносных пластов величина допустимого понижения уровня воды в пласте определяется с учетом допустимого понижения напора в пласте

$$S_{\text{доп}} = H_{\text{в}} - (0,3 \dots 0,5) m - h_{\text{н}} - h_{\text{ф}}, \quad (3.11)$$

где m – мощность водоносного пласта, м.

Потери напора на входе воды в скважину из водоносной породы, м,

$$h_{\text{ф}} = \alpha \sqrt{\frac{Q_c S}{K_{\text{ф}} F_{\text{ф}}}}, \quad (3.12)$$

где α – коэффициент, учитывающий конструкцию фильтра (для дырчатых, целевых и каркасно-стержневых фильтров принимается 0,06–0,08; для сетчатых и проволочных – 0,15–0,25; для гравийных – 0,12–0,22);

Q_c – производительность скважины, м³/сут;

F_{ϕ} – рабочая площадь поверхность фильтра, м².

Водозаборные сооружения рассчитываются на средний часовой расход в сутки максимального водопотребления ($Q_{\max \text{ сут}}$).

При определении допустимой величины понижения уровня воды в скважине ориентировочно принимают:

– для напорных пластов $S_{\text{доп}} \geq 0,75H$ (H – полный напор воды в скважине, т.е. разность между статическим уровнем воды в скважине и подошвой водоносного пласта, м);

– безнапорных – $S_{\text{доп}} \geq 0,5H$.

В первом приближении величина максимального понижения уровня воды, м,

$$S_{\max} = (0,25 \dots 0,4) H_c, \quad (3.13)$$

где H_c – статический напор водоносного пласта, м.

При этом $S_{\max}$ должно быть меньше $S_{\text{доп}}$.

Допустимая производительность одной скважины, м³/ч,

$$Q_{\text{доп}} = q_0 S_{\text{доп}}, \quad (3.14)$$

где q_0 – удельный дебит, м³/ч на 1 м, установленный в процессе опытных откачек, для приближенных расчетов допускается принимать по таблице 3.6;

$S_{\text{доп}}$ – допустимое понижение статического уровня воды при откачке, м.

Таблица 3.6 – Определение удельного дебита в напорных водоносных пластах

Породы водоносного пласта	Крупность, мм	Удельный дебит q_0 , м ³ /ч на 1 пог. м
Песок тонкозернистый	0,05–0,1	≤0,5
Песок мелкозернистый	0,1–0,25	2–4
Песок крупнозернистый	0,25–0,5	4–8
Песок крупнозернистый с примесью гравия	0,5–2,0	10–12

Для дальнейших расчетов часовая допустимая производительность скважины переводится в суточную в зависимости от числа часов работы водозабора в сутки.

Вопрос возможности применения одиночной скважины решается сопоставлением производительности водозабора $Q_{\max \text{ сут}}$, максимального притока воды к скважине (допустимой величины отбора воды из скважины) $Q_{\text{доп}}$ и пропускной способности фильтра Q_{ϕ} .

Если одновременно при круглосуточной работе скважины выполняются условия

$$\begin{cases} Q_{\max \text{ сут}} < Q_{\text{доп}} ; \\ Q_{\max \text{ сут}} < Q_{\Phi} , \end{cases} \quad (3.15)$$

$$(3.16)$$

то принимают водозабор в виде одиночной скважины.

Пока нет данных о пропускной способности фильтра, оценивается только первое условие. Если при расчете получено большое значение понижения уровня, то принимается групповой водозабор.

Количество проектируемых рабочих эксплуатационных скважин, шт, определяется из условия обеспечения суточной потребности объекта водоснабжения

$$n_p = \frac{Q_{\max \text{ сут}}}{tq_0 S_{\max}}, \quad (3.17)$$

где $Q_{\max \text{ сут}}$ – производительность водозабора, м³/сут;

t – продолжительность работы скважины в течение суток, ч.

Расчетное значение округляется до целого числа в большую сторону.

Фактическая глубина понижения уровня воды в скважине, м,

$$S_{\Phi} = \frac{Q_{\max \text{ сут}}}{tq_0 n_p}. \quad (3.18)$$

При этом S_{Φ} должно быть меньше $S_{\text{доп}}$. Если S_{Φ} больше $S_{\text{доп}}$ то принимается $S_{\Phi} = S_{\text{доп}}$ и уточняется число рабочих скважин.

Фактическая производительность одной скважины, м³/сут,

$$Q_{\text{скв}} = \frac{Q_{\max \text{ сут}}}{n_p}. \quad (3.19)$$

Снижение подачи воды или перерывы в ее подаче потребителю возникают в результате неполадок в сооружениях и элементах систем водоснабжения.

На скважинном водозаборе к наиболее распространенным неполадкам и причинам снижения подачи и перерывов в подаче воды относятся:

- поломки насосов;
- обрывы водоподъемных труб;
- разрушения фильтров скважин;
- пескование скважин;
- кольматаж фильтров и прифильтровой зоны;
- отключение (плановое или внеплановое) скважин для регенерации фильтров и прифильтровых зон.

При плановом выключении из работы отдельных скважин для ремонта или при аварийной ситуации для гарантированного обеспечения потребителей водой необходимо иметь резерв (запас) скважин и насосов, количество которых зависит от категории системы водоснабжения и количества рабочих скважин (таблица 3.7).

Резервные скважины должны периодически включаться в работу на период от 1 до 5 суток для поддержания их в рабочем состоянии. В проекте водозабора (в инструкции эксплуатации) это необходимо указывать.

Таблица 3.7 – Резерв для скважинных водозаборов

Количество рабочих скважин на водозаборе	Категория систем водоснабжения					
	количество резервных скважин на водозаборе			количество резервных насосов на складе		
	I	II	III	I	II	III
1–4	1	1	–	1	1	1
5–12	2	1	–	1	1	1
13 и более	20*	10*	–	10*	10*	10*

* Исчисляется в % количества рабочих скважин с округлением в большую сторону.

Расположение резервных скважин зависит от схемы водозабора и гидро-геологических условий и обосновывается технико-экономическими расчетами. Иногда допускается перевод скважин на форсированный режим работы (с большей производительностью) или с одновременной эксплуатацией рабочих и резервной скважин (с учетом их взаимного влияния).

Для уменьшения длины коммуникаций, соединяющих водозаборные скважины, и улучшения условий их эксплуатации во многих случаях скважины располагаются на расстоянии друг от друга, меньше двух радиусов влияния. Это приводит к тому, что при заборе воды группой скважин из одного водоносного пласта эти скважины становятся взаимодействующими, так как дебит каждой скважины зависит от дебита других скважин (рисунок 3.9).

В этом случае величины h и h_1 для двух скважин называются *отрезками уровней*.

Для учета взаимного действия двух скважин определяются коэффициенты снижения дебита каждой скважины

$$a_1 = \frac{h_1}{S_1 - h_1}; \quad (3.20)$$

$$a_2 = \frac{h}{S - h}. \quad (3.21)$$

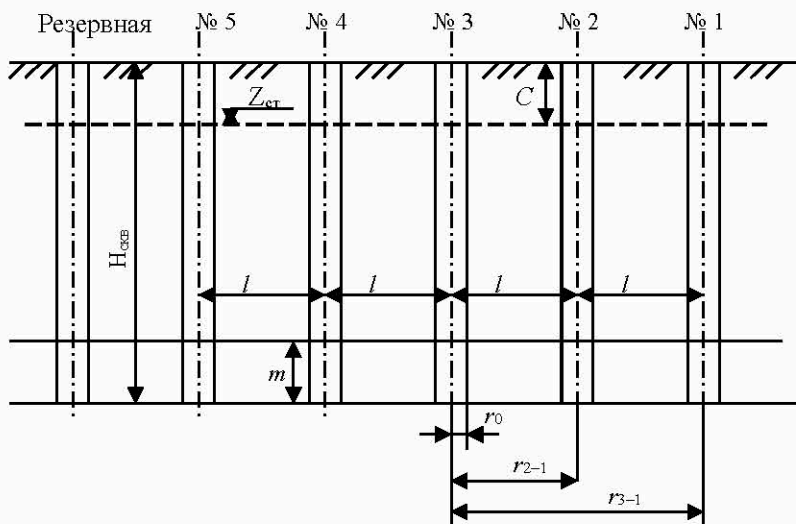


Рисунок 3.10 – Профиль по водозабору группы взаимодействующих скважин:
№ 1...5 – номера скважин (размеры в метрах)

Фильтрационное сопротивление скважины Φ определяется по формуле

$$\Phi = \Phi_0 + \beta \xi, \quad (3.24)$$

где Φ_0 – фильтрационное сопротивление в точке расположения скважины;
 β – отношение дебита одиночной рассматриваемой скважины Q_0 , $\text{м}^3/\text{сут}$, к суммарному дебиту водозабора $Q_{\text{сум}}$, $\text{м}^3/\text{сут}$;
 ξ – показатель дополнительного сопротивления, $\xi = \xi_1 + \xi_2$.
 ξ_1 – показатель дополнительного сопротивления, учитывающий степень вскрытия водоносного горизонта; принимается по таблице 3.5;
 ξ_2 – показатель дополнительного сопротивления, учитывающий несовершенство скважины по характеру вскрытия водоносного горизонта; определяют по формуле (3.6).

Значение фильтрационного сопротивления Φ_0 в точке расположения скважины для скважинного водозабора определяют по формулам:

– для линейного ряда скважин в долине реки на расстоянии x_0 от реки (рисунок 3.11, а)

$$\Phi_0 = \pi \frac{x_0}{l} + \frac{1}{n} \ln \frac{l}{\pi r_0 n}, \quad (3.25)$$

где l – половина длины ряда скважин, м;
 r_0 – радиус водоприемной части скважины, м;
 n – количество трубчатых колодцев (скважин);

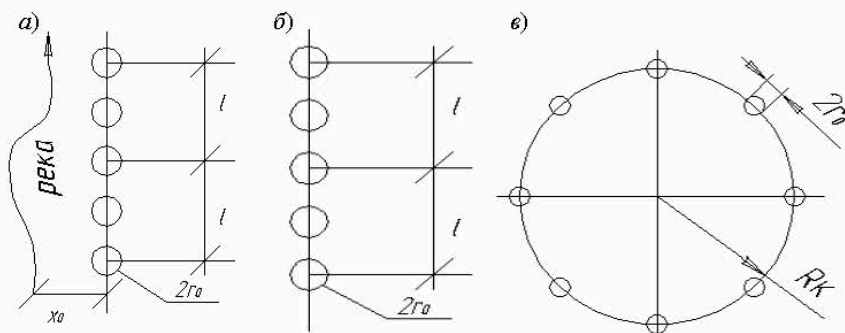


Рисунок 3.11 – Схемы расположения скважин:

a – линейный ряд скважин в долине реки на расстоянии x_0 от реки; *б* – линейный ряд скважин в изолированном неограниченном пласте; *в* – кольцевая система скважин в изолированном неограниченном пласте

– для линейного ряда скважин в изолированном неограниченном пласте (см. рисунок 3.11, *б*)

$$\Phi_0 = \ln \frac{2,73R}{l} + \frac{1}{n} \ln \frac{l}{\pi r_0 n}, \quad (3.26)$$

где R – радиус влияния, определяется по формулам (3.32–3.33);

– для кольцевой системы скважин в изолированном неограниченном пласте (см. рисунок 3.11, *в*)

$$\Phi_0 = \ln \frac{R}{R_k} + \frac{1}{n} \ln \frac{l}{\pi r_0 n}; \quad (3.27)$$

где R_k – радиус кольца, м,

$$R_k = \frac{L_k}{2\pi}. \quad (3.28)$$

Выбор схемы расположения скважин зависит в основном от условий залегания водоносного пласта. Если водозабор находится в долине реки, то целесообразно принять линейный ряд скважин, располагаемый параллельно реке на расстоянии x_0 от нее ($x_0 = 100 \dots 200$ м из условия возможности организации зон санитарной охраны).

В этом случае первоначально половина длины ряда скважин принимается $l = (3 \dots 4)x_0$. Расстояние между соседними скважинами, м,

$$l_0 = \frac{2l}{n-1}. \quad (3.29)$$

Если водозабор находится в изолированном неограниченном пласте, характеризующем отсутствием внешних источников питания подземных вод, скважины могут располагаться также в виде линейного ряда перпендикулярно к оси подземного потока или же в виде кольцевой системы с радиусом кольца R_k .

Для этих условий при линейном расположении скважин первоначальное расстояние между ними l_0 может быть принято для песков: мелких – 50–100 м; среднезернистых – 70–150 м; крупнозернистых – 100–200 м; для гравийных и трещиноватых пород – 120–150 м.

Тогда половина длины ряда скважин, м,

$$l = \frac{l_0(n-1)}{2}. \quad (3.30)$$

При кольцевом расположении скважин радиус кольца R_k , м, назначается с учетом выполнения условия $R_k^2 / 4\alpha t \leq 0,1$.

Тогда расстояние между соседними скважинами в кольце, м,

$$l_0 = \frac{2\pi R_k}{n}. \quad (3.31)$$

Проектируемые скважины необходимо располагать таким образом, чтобы расстояние между ними было минимальным, но с учетом их возможного взаимодействия. Величиной, определяющей допустимое расстояние между скважинами, является радиус их влияния R , который при отсутствии эксплуатационных и экспериментальных данных можно приближенно определить по следующим зависимостям для безнапорных и напорных вод соответственно

$$R = 1,95S\sqrt{mK_\phi} + r; \quad (3.32)$$

$$R = 10S\sqrt{mK_\phi} + r. \quad (3.33)$$

При наличии сведений о гранулометрическом составе водоносного грунта и коэффициенте фильтрации радиус влияния для безнапорных вод принимается по таблице 3.4.

При интенсивной эксплуатации пластов ($S > 40$ м) радиус влияния, м,

$$R = r + 105\sqrt{mK_\phi}. \quad (3.34)$$

3.5 Водоприемная часть скважин

Важным элементом конструкции водозаборной скважины является **водоприемная часть**, которая в зависимости от состава, состояния и свойств водоносного горизонта и водоупорных пород может быть *бесфильтровой* или *оборудованной фильтрами* различных типов.

3.5.1 Фильтры водозаборных скважин

Гидрогеологические условия чаще всего обуславливают необходимость оборудования водозаборных скважин **фильтрами**, которые предназначены для удержания стенки скважины от обрушения, а в рыхлых неустойчивых породах – для задержания частиц породы водоносного горизонта.

Фильтры водозаборных скважин должны обеспечивать свободный доступ воды в скважину, надежно защищать ее от пескования, обеспечивать устойчивую работу скважины в течение длительного времени, а в случае кольматации водоприемной поверхности – допускать возможность проведения восстановительных мероприятий с использованием различных реагентов-растворителей или совместного импульсного и реагентного восстановления производительности скважин.

Учитывая длительность работы скважины, интенсивность водоотбора, качество подземных вод и режим работы водозаборной скважины, фильтры должны удовлетворять следующим *требованиям*:

- обеспечивать поступление воды в скважину с минимальными гидравлическими сопротивлениями;
- обладать необходимой механической прочностью, обеспечивающей установку фильтров на проектную глубину с учетом допустимой нагрузки от импульсного воздействия для разрушения кольматирующих отложений;
- обеспечивать поступление воды в скважину без механических примесей за исключением периода строительных откачек;
- быть устойчивыми к коррозии и инкрустации (солеотложению);
- гарантировать долговечность эксплуатации (не менее 25 лет);
- материал фильтров должен быть безопасным в санитарно-гигиеническом отношении для использования в питьевом водоснабжении;
- обеспечивать ремонтпригодность фильтров с применением устройств по их регенерации химическими, механическими, импульсными и комбинированными способами;
- фильтры должны быть доступны для проведения мероприятий по восстановлению производительности скважин.

При установке фильтров во временных скважинах и в скважинах, рассчитанных на непродолжительный период работы (менее двух лет), снижаются требования к материалам и их антикоррозионной защите, одновременно допустимо уменьшение скважности и размеров проходных отверстий.

Тип фильтра подбирается таким образом, чтобы коэффициент водопроницаемости его был бы равен или превышал коэффициент водопроницаемости водоносных пород или гравийных обсыпок.

Размеры проходных отверстий фильтров принимают в зависимости от крупности частиц водоносной породы d_{10} , d_{50} и d_{60} – размеров частиц, которых в водоносном пласте содержится меньше, соответственно 10, 50, 60 % по массе, а также в зависимости от величины коэффициента неоднородности породы.

Фильтровая колонна состоит:

- из рабочей (водоприемной) части;
- надфильтровой трубы;
- отстойника.

Длина рабочей части фильтра для получения максимально возможного дебита принимается теоретически исходя из следующих условий:

а) для однородного напорного водоносного горизонта:

- при мощности водоносного пласта до 20 м длина фильтра должна составлять 80–90 % мощности пласта;
- более 20 м – 80 % мощности пласта;

б) неоднородного напорного водоносного горизонта – фильтр необходимо устанавливать в наиболее водопроницаемом участке водоносной толщи, определенном на основе геофизических данных, ситовых анализов, телевизионных или фотографических работ, лабораторных определений коэффициента фильтрации водоносного пласта;

в) однородного безнапорного водоносного горизонта – фильтр необходимо устанавливать ниже 1/3 водоносной формации;

г) неоднородного (с частым переслаиванием) безнапорного горизонта – фильтр следует устанавливать у основания формации, в песках с наибольшим коэффициентом фильтрации, на 1/3 мощности водоносного горизонта.

При расчете фильтров определяется их длина, диаметр, скважность и размер проходных отверстий с таким расчетом, чтобы входные скорости не превышали 1,5–2 м/мин.

Диаметр фильтра устанавливается исходя из проектного дебита скважины с учетом возможности при необходимости устройства гравийной обсыпки. Диаметр каркаса фильтра принимается не менее **100–150 мм** с целью возможности выполнения различных ремонтных работ. Скорость движения воды в водоподъемных трубах не должна превышать 1,5–2 м/с. *Рабочая часть фильтра* устанавливается на расстоянии от кровли и подошвы водоносного пласта не менее 0,5–1 м. *Длина надфильтровых труб* зависит от конструкции, глубины, дебита скважины и литологического состава водоносного горизонта:

а) когда фильтр установлен на общей колонне, т. е. на колонне, доведенной до устья скважины, длина направляющей колонны максимальная (в этом случае надфильтровая труба одновременно является эксплуатационной колонной);

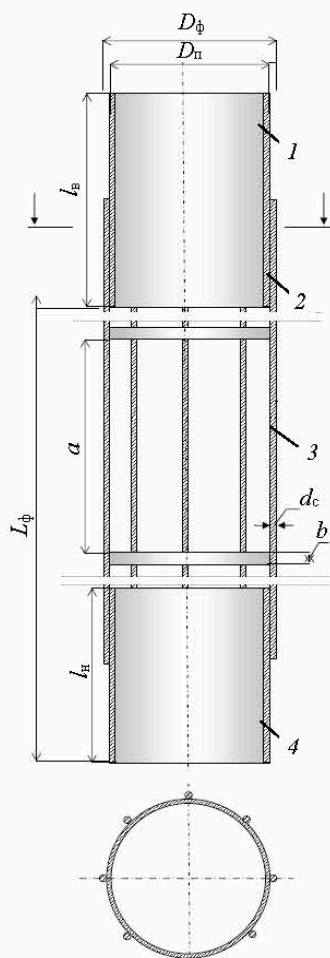


Рисунок 3.12 – Каркасно-стержневой фильтр:

1 – верхний патрубок; 2 – опорное кольцо; 3 – стержень; 4 – нижний патрубок

Основные параметры каркасно-стержневых фильтров приведены в таблице 3.8 и на рисунке 3.12. Одинарная фильтрующая поверхность (профилированная проволока) доступна для химической и механической очистки, так как отсутствуют мертвые пространства между фильтрующей и опорной поверхностями. Такие фильтры рекомендуется применять в скважинах глубиной до 200 м.

б) когда фильтр установлен вплотай, верхняя часть надфильтровой трубы должна находиться выше башмака эксплуатационной колонны не менее чем:

- на 3 м – при глубине скважины до 50 м;
 - 5 м – при глубине скважины более 50 м
- или если водоносный горизонт представлен плывунами и мелкозернистыми песками.

Между эксплуатационной колонной и надфильтровой трубой при необходимости должен быть установлен *сальник* (пеньковый, деревянный, резиновый, цементный).

Длина отстойников в фильтровых колоннах должна приниматься **0,5–1 м и не более 2 м**. В зависимости от гидрогеологических условий, глубины залегания и видов пород водоносных пластов применяются следующие **типы и конструкции фильтров**:

- каркасно-стержневые;
- трубчатые с щелевыми или круглыми отверстиям;
- с проволоочной обмоткой;
- сетчатые;
- трубчатые с штампованными отверстиями типа «мост»;
- полимерные кольцевые.

Тип фильтра подбирается таким образом, чтобы коэффициент водопроницаемости его был бы равен или превышал коэффициент водопроницаемости водоносных пород или гравийных отсыпок.

Каркасно-стержневые фильтры являются наиболее рациональными, обладающими рядом технико-экономических преимуществ по сравнению с другими конструкциями фильтров.

Таблица 3.8 – Основные параметры каркасно-стержневых фильтров

Параметр		Значение, мм									
Наружный диаметр фильтра D_f		109	122	151	170	196	247	305	357	413	462
Диаметр патрубков и опорных колец D_o		89	102	127	146	168	219	273	325	377	426
Длина патрубка	верхнего l_a	200	200	300	300	300	300	300	300	300	300
	нижнего l_b	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200
Ширина опорного кольца b		30	30	30	30	30	30	30	30	50	50
Расстояние между кольцами a		200	200	200	200	250	250	300	300	350	350
Диаметр стержня d_c		10	10	12	12	14	14	16	16	18	18
Количество стержней		8	8	10	12	14	16	16	20	24	32

Фильтры каркасно-стержневые изготавливаются из стержней прутковой стали (в агрессивной водной среде – из нержавеющей стали), приваренных по образующей к соединительным патрубкам и опорным кольцам по длине фильтра для жесткости каркаса.

Фильтры трубчатые стальные с отверстиями (щелевыми ФТСЩ или круглыми ФТСК) выполняются из стальных труб: обсадных, электросварных, стальных бесшовных. Длина фильтра не превышает 5 м.

Отверстия (круглые или щелевые) выполняются в трубах в шахматном порядке. *Щелевые отверстия* имеют ширину 10–30 мм и длину 30–100 мм и располагаются продольно по длине трубы. Расстояние между щелями по горизонтали определяется исходя из параметров щели и принятой скважности фильтра с учетом прочностных характеристик. Расстояние между щелями по вертикали принимается не менее 10–20 мм.

Круглые отверстия (рисунок 3.13) выполняются диаметром $d_{отх} = 10...24$ мм с расстояниями между отверстиями вдоль оси трубы (1,55–1,7) $d_{отх}$, по окружности трубы – (2,1–3,5) $d_{отх}$.

Скважность фильтров с учетом прочностных характеристик не должна превышать 30 %.

Фильтры трубчатые полимерные с отверстиями (щелевыми ФТПЩ или круглыми ФТПО). Фильтры изготавливаются из поливинилхлоридных, полиэтиленовых и винилпластовых труб. Фильтры со щелевыми отверстиями изготавливаются в соответствии с параметрами, приведенными на рисунке 3.14 и в таблице 3.9.



Рисунок 3.13 – Фильтры трубчатые стальные с круглыми отверстиями

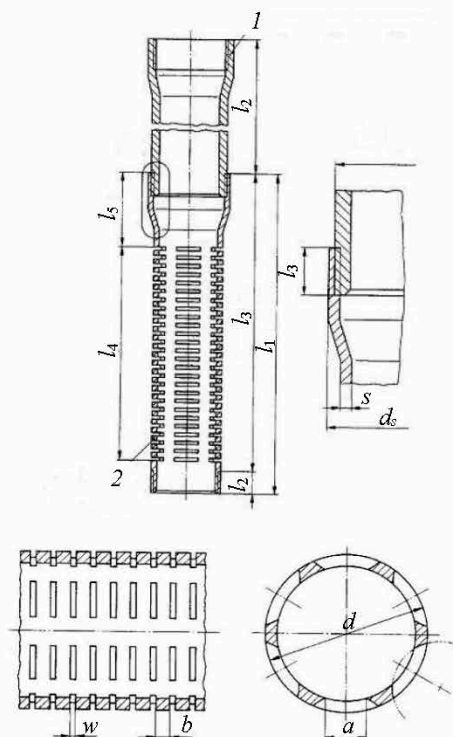


Рисунок 3.14 – Фильтр трубчатый полимерный со щелевыми отверстиями:
1 – надфильтровая труба; 2 – щелевая фильтровая труба

Таблица 3.9 – Параметры щелевых фильтров

Условный проход D_y	Размеры, мм							
	d	d_s	S	l_3	l_5	l_4		
						$l_2 = 2000$	$l_2 = 3000$	$l_2 = 4000$
40	48	56	3,5	25	60	880	1880	—
50	60	68	4,0	35	70	870	1870	—
80	88	98	4,0	50	80	860	1860	—
100	113	125	5,0	60	90	850	1850	—
125	140	154	6,5	60	160	1800	2800	3800
150	165	183	7,5	60	170	1770	2770	3770
200	225	247	10,0	70	180	1760	2760	3760
250	280	297	12,5	85	220	1720	2720	3720
300	330	350	14,5	85	220	1720	2720	3720
350	400	430	17,5	85	240	1700	2700	3700
400	450	485	19,5	90	240	1700	2700	3700

Диаметры и количество отверстий фильтров из полиэтиленовых и виниловых труб, а также взаимное расположение отверстий определяются на основании расчетов на прочность исходя из глубины установки фильтра. Соединяются фильтры с помощью муфт, сварки, на резьбе и на винтах.

Фильтры трубчатые со штампованными отверстиями ФТМ. Фильтры изготавливаются из листовой стали с толщиной листа 3–6 мм длиной 2000, 2500, 3000, 4000 и 5000 мм. Секции фильтров соединяются с помощью муфт на винтах или сваркой, а также с помощью резьбы.

Для защиты фильтров от коррозии производится их антикоррозионное покрытие материалами, разрешенными для использования в питьевом водоснабжении.

Фильтры с проволоочной обмоткой. Фильтры изготавливаются на основе каркасов из каркасно-стержневых или трубчатых стальных или полимерных фильтров со щелевыми (круглыми) отверстиями (рисунк 3.15, таблица 3.10).

На фильтрах трубчатых стальных с отверстиями (щелевыми или круглыми) на расстоянии от 40 до 65 мм должны устанавливаться по окружности продольные стальные стержни круглого или профильного сечения с поперечным размером не менее 8–10 мм. Продольные стержни не должны перекрывать щелевые или круглые отверстия. На фильтры навивается проволока из нержавеющей стали трапециевидного или прямоугольного сечения. При намотке проволоки трапециевидного сечения меньшее



Рисунок 3.15 – Фильтр с проволоочной обмоткой

основание должно быть обращено к наружной стенке каркаса. Проволока укладывается с зазорами между витками 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 мм с отклонениями не более 0,1 мм. Проволока должна быть закреплена от продольного перемещения любым способом.

Таблица 3.10 – Параметры фильтров с проволоочной обмоткой

Типоразмер секции фильтра	Диаметр, мм		Масса секции, кг	Сквознякость, %
	наружный	внутренний		
Фильтры трубчатые перфорированные				
T-5Ф1В	168	132	69	13,5–22,5
T-6Ф1В	188	152	91	13,5–19,3
T-8Ф1В	245	203	118	15,0–18,1
T-10Ф1В	299	255	168	17,6–18,5
T-12Ф1В	325	307	195	18,5
T-14Ф1В	377	359	227	18,5
T-16Ф1В	426	408	259	18,0

Окончание таблицы 3.10

Типоразмер секции фильтра	Диаметр, мм		Масса секции, кг	Скважность, %
	наружный	внутренний		
Фильтры трубчатые с проволоочной обмоткой из нержавеющей стали				
ТП-5Ф2В	168	132	82	13,5–22,5
ТП-6Ф2В	188	152	106	13,5–19,3
ТП-8Ф2В	245	203	136	15,0–18,1
ТП-10Ф2В	299	255	203	17,6–18,5
ТП-12Ф2В	341	307	299	18,5
ТП-14Ф2В	391	359	266	18,5
ТП-16Ф2В	442	408	304	18,5
Фильтры трубчатые с просечным листом из нержавеющей стали				
ТЛ-5Ф4В	168	132	82	15–25
ТЛ-6Ф4В	188	152	107	15–25
ТЛ-8Ф4В	245	203	137	15–25
ТЛ-10Ф4В	299	255	190	15–25
ТЛ-12Ф4В	339	307	233	15–25
ТЛ-14Ф4В	391	359	259	15–25
ТЛ-16Ф4В	440	408	294	15–25
Фильтры стержневые (каркасы)				
С-5Ф5В	147	132	69	51,2
С-6Ф5В	194	152	77	53,8
С-8Ф5В	247	203	88	58,9
С-10Ф5В	301	255	105	62,2
С-12Ф5В	352	307	161	60,2
С-14Ф5В	405	359	178	60,8
С-16Ф5В	454	408	202	61,2
Фильтры стержневые с проволоочной обмоткой из нержавеющей стали				
СП-5Ф7В	178	132	80	28,8
СП-6Ф7В	200	152	89	31,1
СП-8Ф7В	251	203	103	33,5
СП-10Ф7В	307	255	136	27,5
СП-12Ф7В	359	307	158	38,7
СП-14Ф7В	411	359	180	39,1
СП-16Ф7В	460	408	200	39,2
Фильтры стержневые с просечным листом из нержавеющей стали				
СЛ-5Ф11В	176	132	81	15–25
СЛ-6Ф11В	198	152	90	15–25
СЛ-8Ф11В	249	203	104	15–25
СЛ-10Ф11В	303	255	122	15–25
СЛ-12Ф11В	355	307	189	15–25
СЛ-14Ф11В	407	359	210	15–25
СЛ-16Ф11В	456	308	237	15–25

Фильтры сетчатые. Фильтры сетчатые изготавливаются на основе каркасов из каркасно-стержневых или трубчатых стальных фильтров с отверстиями (щелевыми или круглыми). На трубчатых стальных фильтрах с отверстиями (щелевыми или круглыми) должны устанавливаться на расстоянии 40–65 мм по окружности продольные стальные стержни круглого сечения диаметром 5–8 мм. На каркас наматывается проволока из нержавеющей стали круглого сечения диаметром 2–3 мм с шагом 12–15 мм или полимерная решетка с толщиной каркаса 2–3 мм и ячейками 10×10 мм, поверх которых укладывается сетка из латуни или нержавеющей стали или полимерных материалов с размерами ячеек не более 0,1 мм. Поверх сетки может навиваться проволока диаметром 2–3 мм с шагом 20–30 мм.

Фильтры полимерные кольцевые ФПК. Фильтры изготавливаются из колец клиновидного поперечного сечения, сужающегося в направлении оси фильтра, путем набора на стальные стержни или перфорированные трубы, закрепляемые с двух сторон опорными фланцами с соединительными муфтами (таблица 3.11). Кольца изготавливаются из полимерных материалов: полистирола, полипропилена и полиэтилена. Соединение секций фильтров осуществляется с помощью муфт.

Таблица 3.11 – Параметры и размеры секции полимерного кольцевого фильтра

Диаметр, мм		Длина, мм	Ширина щели, мм	Скважность, %	Масса, кг
наружный D_1	внутренний D_2				
188	140	2035	1±0,2	20	31,8
255	203	2035	1±0,2	20,5	44,4
310	260	2035	1±0,2	21	55,3

Гравийные и блочные фильтры. Конструкции гравийных и блочных фильтров представлены на рисунке 3.16, з. Максимальный размер отверстий фильтра должен приниматься равным среднему диаметру частиц слоя обсыпки d_{50} , примыкающего к стенкам фильтра, и не должен быть более минимального диаметра частиц гравийной обсыпки, примыкающей к стенкам фильтра (таблица 3.12).

Таблица 3.12 – Параметры обсыпки гравийных фильтров

Параметр	Значение, мм						
Диаметр зерен:							
– минимальный	0,5	0,75	1,0	2,0	3,0	5,5	8,0
– максимальный	1,0	1,5	2,0	3,0	5,5	8,0	16,0
– средний	0,75	1,12	1,5	2,5	4,25	6,75	12,0
Максимальный размер отверстий фильтра	0,5	0,75	1,0	2,0	3,0	4,0	4,0

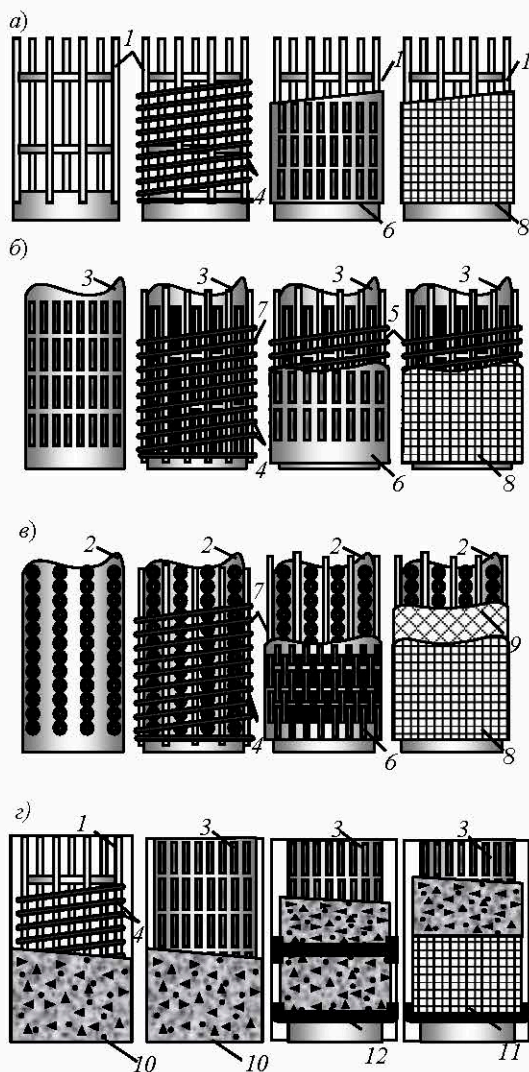


Рисунок 3.16 – Фильтры водозаборных скважин.

а – стержневые с песчано-гравийной обсыпкой; *б* – трубчатые со щелевой перфорацией;

в – трубчатые с круглой перфорацией; *г* – гравийные;

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 – гравийный блок

В зависимости от гранулометрического состава водоносных пород в качестве обсыпки необходимо использовать хорошо окатанные гравий, песчано-гравийные смеси и пески, которые должны поставляться калиброванными и тарированными со специальных карьеров. Такие материалы обеспечивают создание хорошо проницаемых обсыпок с минимальными входными сопротивлениями. Материал обсыпки должен быть однородным. Во всех случаях количество частиц максимального и минимального диаметра в составе обсыпки не должно превышать 10 %. Материал, используемый для гравийных фильтров, должен быть незагрязненным, не содержать глинистых, пылеватых частиц и быть надежным в санитарном отношении.

Толщина каждого слоя гравийно-кожуховых фильтров должна составлять не менее 30 мм, гравийных засыпных фильтров – не менее 50 мм. Оптимальная толщина обсыпки должна составлять 150–200 мм. Минимальную ее величину следует выбирать в зависимости от размера зерен гравия и песка (таблица 3.13).

Таблица 3.13 – Соотношение размеров зерен обсыпки с толщиной ее слоя

Размер зерен обсыпки, мм	До 4	4–12	12–35
Толщина слоя обсыпки, мм	60	70	80

В скважинах с многослойной обсыпкой толщина слоя из мелкого гравия (песка) не должна приниматься меньше толщины опорного слоя гравия. Применение для гравийных фильтров неоднородного состава нецелесообразно из-за существенного расслоения его в процессе засыпки.

Длина фильтра определяется в зависимости от производительности скважин, изменения водопроницаемости пород и гидрохимических условий.

Теоретически в однородных пластах величина гидравлических потерь в фильтре растет до определенных пределов, и при некоторых соотношениях размеров фильтра (его диаметра, длины, скважности) гидравлические потери и приток к скважине должны оставаться постоянными.

В реальных условиях, учитывая неоднородность водоносного горизонта и возможность интенсивного химического зарастания фильтров, длину и размеры отверстий фильтров необходимо увеличивать. При этом в первую очередь фильтры должны устанавливаться в наиболее водопроницаемых зонах водоносного горизонта.

В безнапорных водоносных горизонтах длина фильтра определяется с учетом понижения динамического уровня в скважине. В этом случае мощность водоносного пласта, м,

$$m \approx m_{\epsilon} - \frac{S_0}{2}, \quad (3.35)$$

где m_{ϵ} – первоначальная мощность безнапорного горизонта, м;

S_0 – проектное понижение уровня в скважине, м.

При выборе типа фильтра необходимо исходить из применения конструкции, коэффициент водопроницаемости которой равен или превышает коэффициент водопроницаемости водоносных пород или гравийных обсыпок, контактирующих с фильтром. Наиболее предпочтительно использование фильтров-каркасов.

Коэффициент водопроницаемости фильтров, см/с, составляет:

- каркасно-стержневых – 1,5–2,15;
- проволочных конструкций на трубчатом каркасе – 0,42–1,8;
- с водоприемной поверхностью из штампованного листа – 0,23–0,52;
- сетчатых с сеткой галунного плетения – 0,08–0,37.

Фильтрационные характеристики существенно ухудшаются в блочных конструкциях и при усложнении водоприемной поверхности. Величина коэффициента водопроницаемости фильтров новых модификаций определяется индикаторным методом.

Размер проходных отверстий фильтра назначается с учетом гранулометрического состава пород, слагающих водоносный горизонт, и размера частиц гравийной обсыпки (таблица 3.14).

Таблица 3.14 – Рекомендуемые размеры отверстий фильтров

Фильтр	Рекомендуемые размеры отверстий фильтров в породах	
	однородных $K_n = \frac{d_{60}}{d_{10}} \leq 2$	неоднородных $K_n = \frac{d_{60}}{d_{10}} > 2$
С круглой перфорацией	(2,5–3) d_{50}	(3–4) d_{50}
Сетчатый	(1,5–2) d_{50}	(2–2,5) d_{50}
Со щелевой перфорацией	(1,25–1) d_{50}	(1,5–2) d_{50}
Проволочный	1,25 d_{50}	1,5 d_{50}

3.5.2 Определение размеров фильтров

Расчет трубчатого фильтра с круглой перфорацией.

Расчетная схема звена трубчатого фильтра приведена на рисунке 3.17.

Минимальный допустимый наружный диаметр фильтра, м,

$$D_{\phi \min}^{\text{нар}} = \frac{Q_{\text{скв}}}{\pi L_{\text{раб}} v_0 \rho}, \quad (3.36)$$

где $Q_{\text{скв}}$ – производительность скважины, м³/ч;

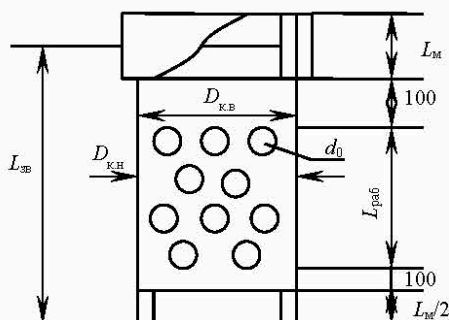
$L_{\text{раб}}$ – длина рабочей части фильтра, м;

ρ – пористость фильтра, для трубчатых фильтров составляет 0,25–0,30;

v_0 – допустимая выходная скорость фильтрации, м/ч,

$$v_0 = \frac{65\sqrt{K_{\phi}}}{24}. \quad (3.37)$$

Рисунок 3.17 – Схема звена
трубчатого фильтра



После определения минимально допустимого наружного диаметра фильтра, учитывая, что этот фильтр изготавливается из обсадных труб, подбирается конструктивный наружный диаметр фильтра $D_{к.н}$ (таблица 3.15).

Диаметр отверстий в фильтре, мм, определяется по пятидесятипроцентному диаметру частиц водоносного грунта

$$D_0 = (2,5 \dots 4,0) d_{50}. \quad (3.38)$$

Таблица 3.15 – Трубы обсадные цельнотянутые и муфты к ним

В миллиметрах

Условный диаметр трубы	Наружный диаметр трубы	Толщина стенки трубы	Внутренний диаметр трубы	Наружный диаметр муфты	Длина муфты
114	114,3	6,4	101,5	127,0	158
127	127,0	7,5	112,0	141,3	165
140	139,7	7,7	124,3	153,7	171
146	146,1	8,5	129,1	166,0	177
168	168,3	8,9	150,5	187,7	181
178	177,8	9,2	159,4	194,5	184
194	193,7	9,5	174,7	215,9	190
219	219,1	10,2	198,7	244,5	196
245	244,5	10,0	224,5	269,9	196
273	273,1	10,2	252,7	298,5	203
299	298,5	11,1	276,3	323,9	203
324	323,9	11,0	301,9	351,0	203
340	339,7	10,9	317,9	365,1	203
351	351,0	11,0	329,0	376,0	229
377	377,0	11,0	355,0	402,0	229
406	406,4	11,1	384,2	431,8	228
426	426,0	11,0	404,0	451,0	229
473	473,1	11,1	450,9	508,0	228
508	508,0	11,1	485,8	533,4	228

Если мощность пласта более 20 м, то фильтр должен состоять из нескольких звеньев. Общее количество звеньев, шт.,

$$n_{\text{зв}} = \frac{L_{\text{раб}}}{L_{\text{зв}}}, \quad (3.39)$$

где $L_{\text{зв}}$ – длина одного звена, м, принимается 5–10 м.

Полученное значение округляется до ближайшего большего числа и уточняется фактическая длина звена фильтра.

Общая площадь боковой поверхности одного звена рабочей части трубчатого фильтра, м,

$$F_{\text{б}} = D_{\text{кн}} \pi (L_{\text{зв}} - L_{\text{м}} - 0,2), \quad (3.40)$$

где $L_{\text{м}}$ – длина муфты, м (принимается по таблице 3.15).

Площадь одного отверстия, м²,

$$F_0 = 0,785 D_0^2. \quad (3.41)$$

Общая площадь всех отверстий, размещаемых на боковой поверхности одного звена фильтра, м²,

$$F = \rho F_{\text{б}}. \quad (3.42)$$

Общее количество отверстий на одном звене фильтра, шт.,

$$n = \frac{F}{F_0}. \quad (3.43)$$

Для размещения отверстий на боковой поверхности фильтра определяют расстояние между осями рядов отверстий

$$L = (1, 4 \dots 1, 7) D_0 \quad (3.44)$$

и расстояние между осями отверстий в каждом ряду

$$L = (1, 7 \dots 2, 4) D_0. \quad (3.45)$$

Расчет сетчатого фильтра.

Расчетная схема одного звена фильтра приведена на рисунке 3.18.

Сетчатый фильтр представляет собой каркас из обсадных труб с круглой перфорацией, обтянутый сеткой квадратного или галунного плетения. Минимальный допустимый наружный диаметр сетчатого фильтра определяется так же, как и диаметр трубчатого фильтра. При этом пористость фильтра принимается равной 1.

Если величина минимального допустимого наружного диаметра фильтра получилась меньше 114 мм, то конструктивный наружный диаметр фильтра принимается 114 мм. Если величина минимального допустимого наружного диаметра фильтра получилась больше 114 мм, конструктивный наружный диаметр фильтра принимается по таблице 3.16.

Требуемый размер отверстия в сетке, мм,

$$D_0 = (1,5 \dots 2,5) d_{50}. \quad (3.46)$$

Для фильтров с сеткой квадратного и галунного плетения подбирается номер сетки и выписывается ее характеристика из таблиц 3.16, 3.17 соответственно.

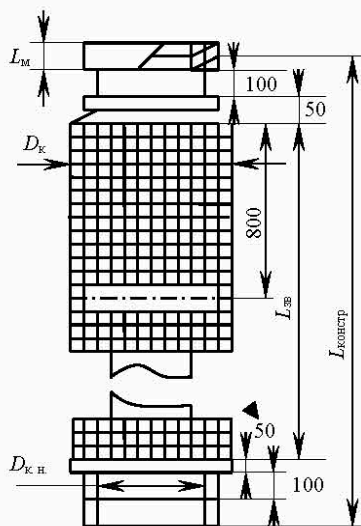


Рисунок 3.18 – Схема звена сетчатого фильтра

Таблица 3.16 – Сетка проволоочная тканная с квадратными ячейками

Номер сетки	Диаметр проволоки, мм	Размер стороны ячейки в свету, мм	Масса 1 м ² латунной сетки, кг
2,60	0,50	2,60	1,14
2,50	0,50	2,50	1,18
2,00	0,50	2,00	1,41
1,60	0,45	1,60	1,39
1,25	0,40	1,25	1,33
1,00	0,35	1,00	1,23
0,90	0,35	0,90	1,38
0,80	0,30	0,80	1,2
0,70	0,30	0,70	1,27
0,63	0,25	0,63	1,00
0,60	0,25	0,60	1,04
0,56	0,23	0,56	0,97
0,50	0,22	0,45	0,72
0,45	0,18	0,45	0,72
0,42	0,15	0,42	0,55
0,40	0,15	0,40	0,58

Таблица 3.17 – Основные данные сеток галунного плетения

Номер сетки	Диаметр проволоки, мм		Размер ячейки, мм	Материал	Масса 1 м ² , кг
	основы	утка			
6/70	0,70	0,40	0,34	Латунь	3,79
7/70	0,60	0,40	0,34	Л-68	3,68
8/55	0,60	0,50	–	Л-68	4,46
8/70	0,60	0,40	–	Л-80	4,83
8/80	0,50	0,35	0,32	Л-80	3,30
10/70	0,50	0,40	0,32	Л-80	3,74
10/80	0,50	0,33	–	Л-80	3,05
10/90	0,45	0,30	0,27	Л-80	2,75
10/100	0,45	0,30	–	Л-80	2,68
12/90	0,45	0,30	0,27	Л-80	2,86
14/90	0,45	0,30	–	Л-80	3,10
14/100	0,45	0,28	0,23	Л-80	3,04
16/100	0,40	0,25	0,23	Л-80	2,82
18/130	0,32	0,22	0,17	Л-80	2,30
20/160	0,28	0,18	0,14	Л-80	2,00

Конструктивный диаметр сетчатого фильтра, мм,

$$D_k = D_{к.н} + 2t_c + 2t_n + 2t_{ст}, \quad (3.47)$$

где t_c – толщина сетки, мм;

t_n – толщина подмотки под сетку, которая выполняется из проволоки диаметром 2–3 мм;

$t_{ст}$ – толщина стержней, навариваемых вдоль каркаса фильтра. Каждый стержень имеет диаметр 3–4 мм.

Толщина сетки квадратного плетения, мм,

$$t_c = 3d_{тп}, \quad (3.48)$$

где $d_{тп}$ – диаметр проволоки, мм.

Толщина сетки галунного плетения, мм,

$$t_c = 2d_v + d_o, \quad (3.49)$$

где d_v – диаметр проволоки утка, мм;

d_o – диаметр проволоки основы, мм.

Расчет гравийного фильтра.

Диаметр частиц обсыпки гравийных фильтров, мм,

$$D_{50} = (8 \dots 12)d_{50}, \quad (3.50)$$

где d_{50} – размер частиц, меньше которого в водоносном пласте содержится 50 % по массе, мм.

При устройстве многослойных фильтров диаметры частиц гравийной обсыпки подбираются по соотношению

$$(D_{50})_2 / (D_{50})_1 = 4 \dots 6, \quad (3.51)$$

где $(D_{50})_1, (D_{50})_2$ – средние диаметры частиц соседних слоев гравийной обсыпки, мм.

Диаметр частиц гравия блочных фильтров из пористого бетона и пористой керамики, мм,

$$D_{\text{ср}} = (10 \dots 16) d_{\text{ср}}, \quad (3.52)$$

где $D_{\text{ср}}$ – средний диаметр частиц гравия в блоке фильтра, мм.

Одной из разновидностей гравийных фильтров является цементированный гравийный фильтр (СГФ). Он представляет собой каркас из обсадных труб с круглой перфорацией, вокруг которого устраивается цементированный слой гравия.

Схема одного звена СГФ приведена на рисунке 3.19.

Минимальный допустимый наружный диаметр гравийного фильтра определяется также, как и трубчатого фильтра.

При этом пористость фильтра принимается $\rho = 1$.

Толщина цементированного слоя фильтра, см,

$$\delta = \frac{0,5D_{50}}{10} + 1. \quad (3.53)$$

Наружный диаметр каркаса гравийного фильтра, мм,

$$D_{\text{к}} = D_{\text{ф min}} - 2\delta. \quad (3.54)$$

Если величина $D_{\text{к}}$ получилась менее 114 мм, диаметр каркаса окончательно принимается 114 мм. Если величина $D_{\text{к}}$ получилась более 114 мм, диаметр каркаса принимается по таблице 3.15.

Конструктивный диаметр гравийного фильтра, мм,

$$D_{\text{контр}} = D_{\text{к}} + 2\delta. \quad (3.55)$$

Количество и размеры звеньев гравийного фильтра определяются так же, как для трубчатого фильтра.

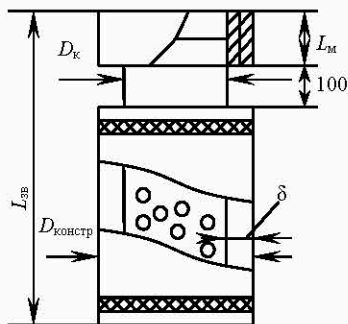


Рисунок 3.19 – Схема звена гравийного фильтра

3.5.3 Бесфильтровые скважины

Бесфильтровые скважины устраиваются в *устойчивых* или в *рыхлых* водоносных породах.

Для устройства водоприемной части в устойчивых водоносных породах не требуется каких-то особых условий, а для устройства бесфильтровой водоприемной части скважины в рыхлых породах необходимо соблюдение следующих условий:

- наличие мощной и прочной кровли – толщи устойчивых пород, перекрывающих водоносные пески (известняки, песчаники, мергели и др.) или искусственное укрепление кровли;
- водоносный горизонт должен обладать достаточным напором;
- возможность точной фиксации глубины залегания и мощности пород кровли намечаемого к эксплуатации водоносного горизонта;
- высокие требования к точности посадки обсадной колонны относительно устойчивой кровли и степени разработки водоприемной полости (воронки);
- в недостаточно изученных районах – бурение разведочных стволов с полным отбором керна для изучения свойств (крепости и др.) пород кровли.

Водоприемная часть бесфильтровой водозаборной скважины в рыхлых породах представляет собой воронку (каверну) под устойчивыми, перекрывающими водоносные пески, породами.

Дебит скважины «на каверну» в основном зависит от радиуса воронки и в меньшей степени от ее глубины.

В переслаивающихся толщах горных пород (переслаивание рыхлых песков и плотных пород) можно проектировать и сооружать бесфильтровые скважины с несколькими кавернами вдоль ствола скважины.

При проектировании бесфильтровых скважин в рыхлых водоносных породах необходимо учитывать следующие условия:

- водозаборные скважины «на каверну» могут сооружаться только в напорных водоносных горизонтах;
- погружной насос должен устанавливаться выше воронки, динамический уровень в процессе эксплуатации скважины не должен доходить до кровли воронки.

Основными *преимуществами* бесфильтровых скважин являются:

- долговечность и надежность работы;
- высокие и устойчивые (во времени) дебиты (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.

Схемы устройства бесфильтровой скважины приведены на рисунке 3.20.

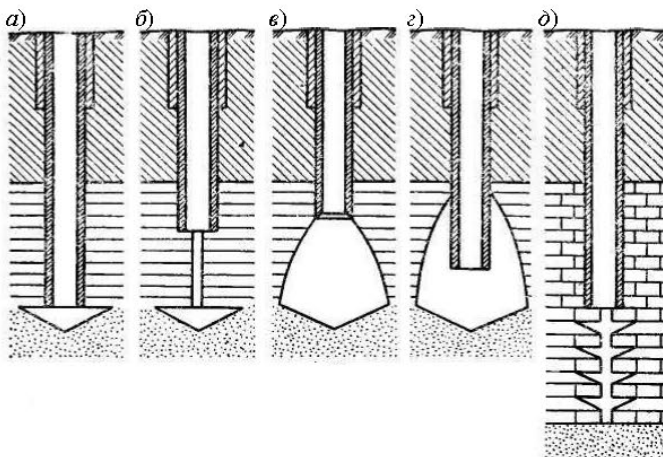


Рисунок 3.20 – Конструкции бесфильтровых скважин:

a – скважина с водопримной каверной в виде воронки, обсадные трубы доведены до водоносного горизонта; *б* – то же, обсадные трубы доведены до кровли, прочные породы кровли не требуют крепления их трубами; *в* – тоже, над каверной свод обрушения; *г* – обсадные трубы доведены до водоносного горизонта, над каверной свод обрушения; *д* – скважина с удлиненной водопримной каверной в переслаивающемся водоносном горизонте, воронки образованы в каждом рыхлом слое

Расчетная схема водопримной воронки приведена на рисунке 3.21. Требуемый радиус водопримной воронки, м,

$$R = \sqrt{\frac{q}{\pi v_0 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}}}, \quad (3.56)$$

где q – дебит бесфильтровой скважины, м³/сут;

v_0 – допустимая скорость фильтрации на границе выхода грунтового потока в воронку, м/сут;

φ – угол естественного откоса песка под водой.

Скорость фильтрации, м³/сут,

$$v_0 = K_{\phi} \eta_1 \eta_2 (1 - \rho), \quad (3.57)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации водоносного грунта, м/сут;

η_1 – коэффициент запаса, принимается 0,7–0,8;

η_2 – коэффициент уменьшения допускаемых уклонов, зависит от угла естественного откоса, для $\varphi = 25^\circ$ $\eta_2 = 0,84$;

ρ – пористость водоносного песка, в долях, $\rho = 0,38$.

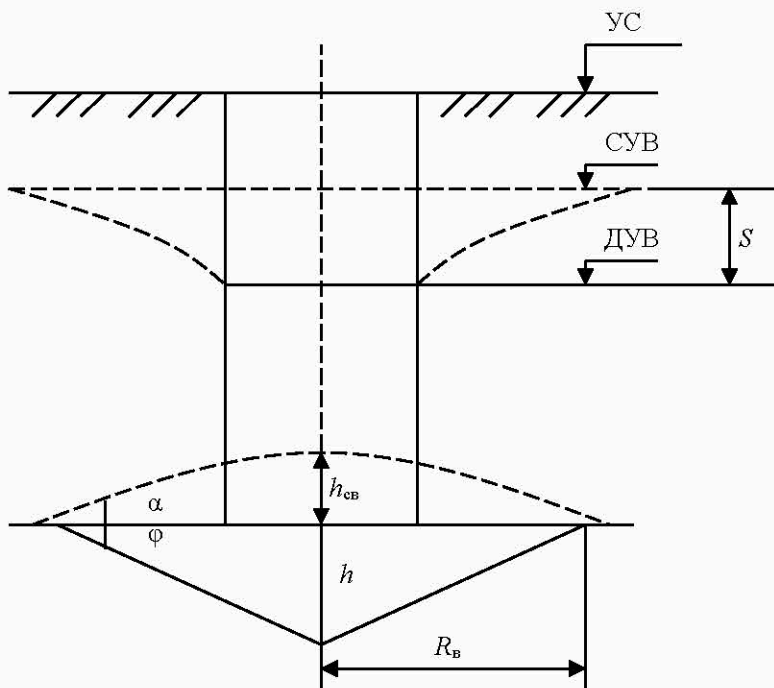


Рисунок 3.21 – Схема бесфильтровой скважины:

S – понижение уровня воды; h – глубина водоприемной воронки;
 $R_{\text{в}}$ – радиус водоприемной воронки; φ – угол естественного откоса водонесущего песка;
 $h_{\text{св}}$ – высота свода обрушения; α – угол внутреннего трения грунта кровли.

Высота водоприемной воронки, м,

$$h = R \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.58)$$

Высота свода обрушения, м,

$$h_{\text{об}} = \frac{R}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (3.59)$$

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

Допустимый радиус водоприемной воронки, м, определяется из условия необрушения кровли

$$R_{\text{доп}} \leq \frac{\gamma(H_{\text{ст}} - S) \operatorname{tg} \alpha}{(1 - P_{\text{кр}}) \gamma_{\text{кр}} + \gamma P_{\text{кр}}}, \quad (3.60)$$

где $H_{\text{ст}}$ – статический напор воды в скважине, м,

S – глубина понижения уровня воды в скважине, м;
 $P_{кр}$ – пористость породы кровли (в долях), для ориентировочных расчетов принимается равной 0,2;
 $\gamma_{кр}$ – удельная плотность породы кровли, т/м³, принимается 2,73–2,92 т/м³;
 γ – удельный вес породы, $\gamma = 1$ т/м³.

Если $R_{доп} < R$, то расчет закончен: скважина удовлетворяет требованиям устойчивости кровли.

Если $R_{доп} > R$, то принимается окончательный радиус $R_{доп}$ и для него окончательно находится h по формуле (3.59).

3.6 Оборудование скважин

3.6.1 Водоподъемное оборудование

Для подъема воды из скважины могут использоваться:

- насосы с погружными электродвигателями (ЭЦВ);
- насосы с трансмиссионным валом АТН и НА (насосы – в скважине или шахте, электродвигатели – над устьем скважины или полом насосной станции);
- насосы горизонтальные центробежные;
- водоструйные насосы;
- эрлифты.

При эксплуатации высоконапорных водоносных горизонтов скважины могут самоизливаться, и поэтому оборудование их водоподъемными устройствами часто не требуется на период сработки напора водоносного горизонта в допустимых пределах.

В настоящее время для подъема воды из скважины применяются в основном *погружные центробежные насосы* с вертикальным валом и погружным электродвигателем.

Перекачиваемая жидкость – вода с общей минерализацией (сухой остаток) не более 1500 мг/л, с водородным показателем $pH = 6,5...9,5$, с температурой до 25 °С, с массовой долей твердых механических примесей не более 0,01 %.

Насос ЭЦВ опускается в скважину на тросе и подключается к колонне водоподъемных труб и подвешивается на устье скважины. Насос необходимо устанавливать в соответствующую по диаметру эксплуатационную колонну, это связано с охлаждением электродвигателя, а именно со скоростью потока воды между насосом и стенками эксплуатационной колонны.

Например, для насоса ЭЦВ 12-160-140:

- 12 – диаметр насоса в дюймах;
- 160 – производительность насоса, м³/ч;
- 140 – напор, м.

Конструктивно насосы ЭЦВ (рисунок 3.22) являются многоступенчатыми центробежными насосами. Насос монтируется непосредственно на погружаемом электродвигателе.

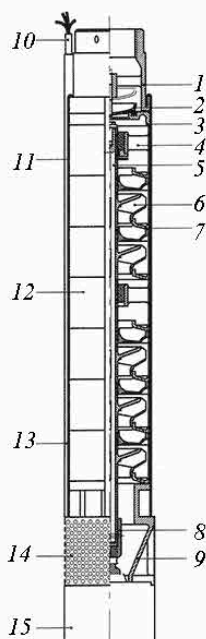


Рисунок 3.22 – Погружной центробежный насос ЭЦВ:

- 1 – нагнетательный корпус; 2 – крышка обратного клапана;
- 3 – корпус обратного клапана; 4 – подшипниковый корпус;
- 5 – вал насоса; 6 – ротор; 7 – направляющая; 8 – муфта;
- 9 – засасывающий корпус; 10 – питающий провод;
- 11 – стягивающая втулка; 12 – средний корпус;
- 13 – защита питающего провода; 14 – защитная решетка;
- 15 – двигатель

В нижней части находится затопливаемый электродвигатель, а в верхней – насос. На двигатель монтируется засасывающий корпус, предохраняемый впускным фильтром. На валу насоса монтируются рабочие колеса ступеней насоса. На выходе насоса расположен обратный клапан, который задерживает воду в выходном трубопроводе и облегчает пуск насоса после остановок в работе. Выходная часть насоса с помощью резьбы или фланца крепится к напорному трубопроводу. Для защиты от сухого хода в скважине необходимо предусматривать установку датчика уровня.

Агрегат ЭЦВ располагается в скважине так, чтобы динамический уровень воды был не менее чем на 2 м выше первой ступени насоса. Монтаж и демонтаж агрегатов ЭЦВ ведется с помощью буровой установки или автокрана.

Действие *гидроэлеваторов*, или *струйных насосов*, основано на непосредственной передаче энергии одного потока, называемого рабочим, другому – всасываемому потоку, обладающему меньшим запасом энергии.

Принцип действия **водоструйного насоса** заключается в следующем: рабочий поток, проходя через сопло, приобретает высокую кинетическую энергию. В результате уменьшается потенциальная энергия давления в струе жидкости, вытекающей из сопла. Из-за падения давления и перемешивания рабочей струи с окружающей жидкостью, последняя подсасывается

(инжектируется) в рабочую камеру и движется с рабочей струей, образуя смешанный поток.

Серийно выпускаемые водоструйные насосы предназначены для проведения откачек из скважин, оборудованных фильтровыми колоннами диаметрами 89, 108, 146 и 168 мм. Водоструйные насосы могут осуществлять перекачку воды с содержанием твердых частиц до 30 %.

Водоструйные насосы обязательно включают в себя *гидравлический пакер*, который предназначен для изоляции ствола фильтровой колонны и удержания столба воды, расположенного выше пакера, от проникновения в водоносный горизонт и вторичного подсосывания насосом.

В пакере имеются два отверстия, обеспечивающие при работе водоструйного насоса внутри пакера создание давления 2–3 МПа, равного перепаду давления на насадке насоса, что позволяет последнему удерживать столб воды не менее 150 м.

Спуск аппаратов с пакером в скважину и подъем их на поверхность осуществляется на бурильных трубах, по которым вода насосом подается к струйному аппарату.

Откачиваемая из скважины и нагнетаемая рабочая жидкость поднимается на поверхность по кольцевому пространству между бурильной и обсадной колоннами.

Для проведения откачек и освоения скважин струйными аппаратами не требуется предварительная замена в скважине глинистого раствора на воду. Струйные аппараты можно спускать в скважины, заполненные глинистым раствором практически любой концентрации.

К недостаткам струйных насосов можно отнести низкий КПД (до 30 %).

Эрлифт является разновидностью струйного насоса, состоит из вертикальной трубы, в нижнюю часть которой вводят газ под давлением. Образовавшаяся в трубе водо-воздушная смесь поднимается за счет разности удельных масс смеси и жидкости.

Эрлифты получили широкое распространение при проведении гидрогеологических откачек за счет ряда *преимуществ*:

- простота и надежность в работе;
- возможность откачки воды с высоким содержанием взвешенных частиц (до 20 %) различных фракций;
- высокая производительность;
- возможность регулирования водоотбора и динамического уровня воды для получения необходимых расчетных параметров откачки;
- отсутствие потребности в специальном энергетическом оборудовании (электростанции, погружные насосы, трансформаторы и др.);
- возможность откачек в скважинах небольших диаметров;
- возможность проведения прокачек скважин в пульсирующем режиме с целью разработки закольматированных водоносных горизонтов,

эффективного выноса кольматанта и восстановления естественной проницаемости пласта;

Существующие конструкции эрлифтов имеют и ряд существенных *недостатков*:

- необходимость определенного отношения глубины погружения смесителя к динамическому уровню (коэффициента погружения K). Опытным путем установлено, что эрлифтная установка может работать при $K = 1,4 \dots 3,0$, оптимальным значением K является $2,0-2,5$, минимально удовлетворительным – $1,4-1,7$;

- необходимость наличия определенного соотношения между глубиной загрузки смесителя под динамический уровень воды и максимальным давлением компрессора. Если потребуется опустить смеситель на глубину более 70 м (при динамических уровнях воды более 70 м), обычный компрессор с давлением до 0,7 МПа запустить не удастся;

- нестабильность выходящего из скважины водо-воздушного потока, влияние наличия воздуха в откачиваемой воде на показатели дебита.

Одним из путей повышения эффективности откачек воды из скважин при помощи эрлифтов является совершенствование конструкции смесителя эрлифта.

Эрлифты в настоящее время в системах водоснабжения практически не применяются, что обусловлено низким коэффициентом полезного действия, необходимостью дополнительного углубления скважин для создания в них столба воды соответствующей высоты, обеспечения их компрессорами или постоянно сжатым воздухом со стороны.

На водозаборах подземных вод *горизонтальные центробежные насосы* применяются на каптажах, когда насосные станции расположены непосредственно у каптажной камеры или сборного резервуара, на горизонтальных и лучевых водозаборах и довольно редко для подъема воды из скважин (в случаях, когда динамический уровень подземных вод находится в пределах высоты всасывания насосов (3–6 м) с учетом гидравлических потерь во всасывающем трубопроводе, или в случаях, когда обеспечена работа насосов «под заливом»).

Заводом-изготовителем обычно гарантируется допустимая вакуумметрическая высота всасывания при определенной подаче и числе оборотов насоса, температуре воды до 20 °С и барометрическом давлении, равном 10 м вод. ст. Если насос предполагается использовать при условиях, отличающихся от паспортных данных, то новая допустимая для него высота всасывания должна быть пересчитана.

Насосы, как правило, устанавливаются из расчета их работы «под заливом», что упрощает автоматизацию их управления при эксплуатации. В случае установки насосов не «под залив», в станции для запуска насосов устанавливаются вакуум-насосы и вакуум-котлы.

В насосных станциях III категории допускается установка приемных клапанов на всасывающем трубопроводе диаметром до 200 мм.

Выбор погружного электронасоса производится по производительности – Q и напору – H .

Требуемый напор, который должны создавать насосы, м,

$$H = H_r + \sum h, \quad (3.61)$$

где H_r – геометрическая высота подъема воды насосами, м,

$\sum h$ – сумма потерь напора, м.

Геометрическая высота определяется как разность отметки, на которую необходимо подать воду из скважины, и отметки верха насоса, который располагается на глубине не менее 2 метров под динамическим уровнем воды.

Максимально возможный дебит водоотбора определяется исходя из гидрогеологических условий залегания водоносного комплекса и допустимого понижения уровня воды в скважине.

3.6.2 Оборудование скважин насосами и арматурой

Скважинная установка с агрегатом состоит:

- из центробежного насоса;
- электродвигателя;
- токоподводящего кабеля;
- водоподъемного трубопровода;
- оборудования устья скважины (опорного устройства, трехходового крана, манометра и задвижки);
- системы автоматического управления.

Схемы оборудования арматурой насосов и установки их в скважинах приведены на рисунке 3.23.

Напорный трубопровод в пределах павильона или камеры оборудуется задвижкой для отключения водоподъемной трубы, отводным трубопроводом с задвижкой для отвода воды за пределы скважины при ее прокачках, вантузом для выпуска воздуха с отключающим вентилем, обратным клапаном, если насос работает на напорную линию, краном для отбора проб воды и водомерным устройством (рисунок 3.24). Установка водомера и обратного клапана допускается в отдельном колодце.

Для наблюдения за динамическим уровнем воды при эксплуатации скважины должны снабжаться измерителями уровня воды.

Для монтажа и демонтажа оборудования скважин применяются грузо-подъемные устройства. Монтаж и демонтаж секций скважинных насосов предусматривается через потолочный люк павильона или камеры.

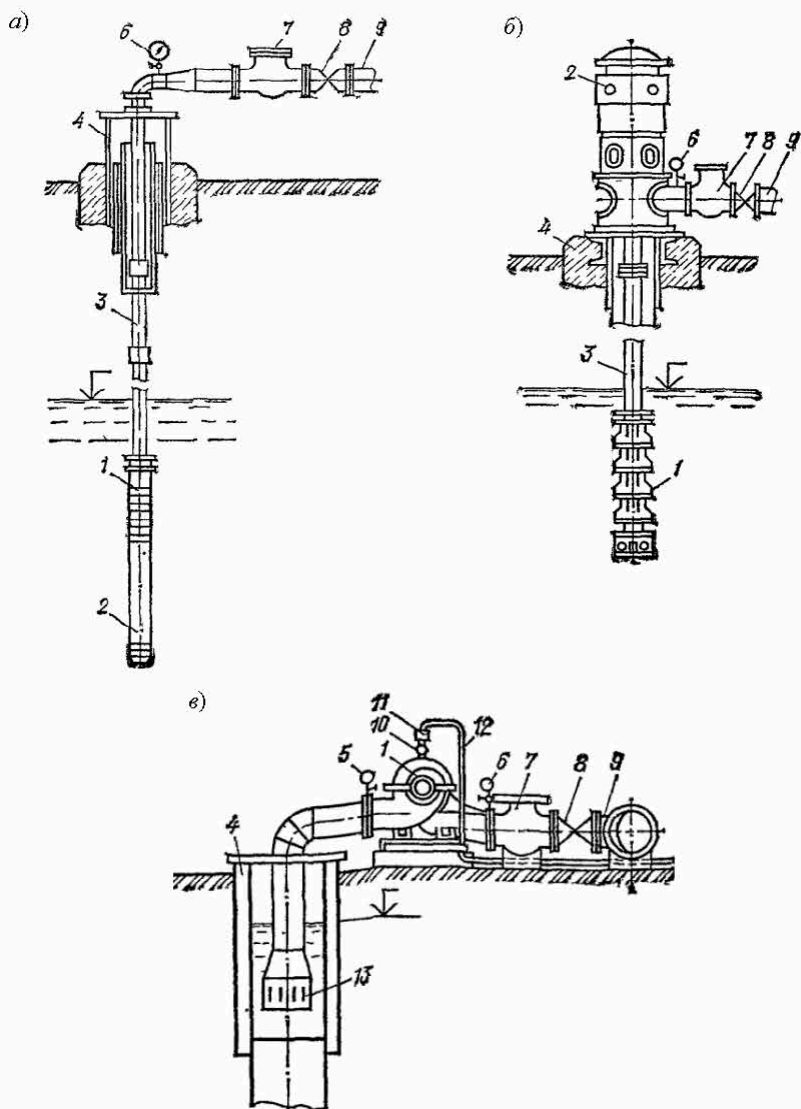


Рисунок 3.23 – Схемы оборудования скважин насосами и арматурой:
а – насосная установка с погружным электродвигателем; *б* – насосная установка с трансмиссионным валом; *в* – насосная установка с горизонтальным центробежным насосом;
1 – насос; *2* – электродвигатель; *3* – водоподъемная труба; *4* – оголовок скважины;
5 – вакуум-метр; *6* – манометр; *7* – обратный клапан; *8* – задвижка; *9* – напорный трубопровод;
10 – вентиль; *11* – указатель движения воздуха; *12* – воздухопровод вакуум-установки;
13 – приемный клапан

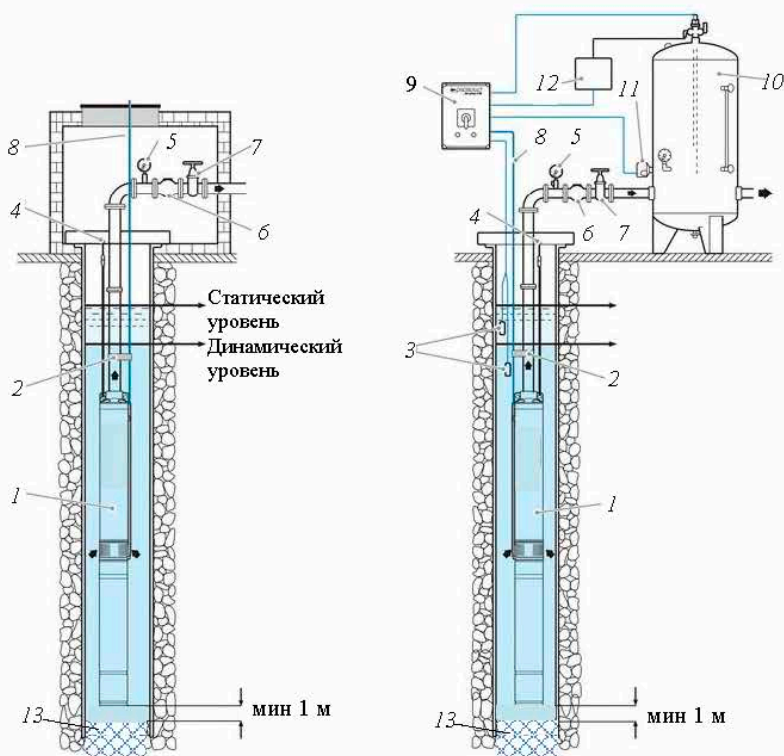


Рисунок 3.24 – Схема установки насосов и оборудования:

- 1 – насос; 2 – хомуты крепления кабеля электропитания; 3 – датчики контроля уровня, защита от работы всухую; 4 – анкеровка крепежных тросов; 5 – манометр; 6 – обратный клапан; 7 – заслонка регулировки расхода; 8 – кабель электропитания; 9 – электрический пульт; 10 – емкость системы поддержания давления; 11 – реле давления; 12 – электроклапан/ электрокомпрессор; 13 – водоприемная часть

3.6.3 Типы и конструкции надскважинных павильонов

Над устьем водозаборных скважин устраиваются **павильоны**, которые бывают:

– *наземными* – применяются при установке насосов АТН и НА (с трансмиссионным валом) с двигателями над устьем скважины или горизонтальными насосами (рисунок 3.25);

– *подземными* – строятся обычно в сухих грунтах при оборудовании скважин насосами ЭЦВ (рисунок 3.26).

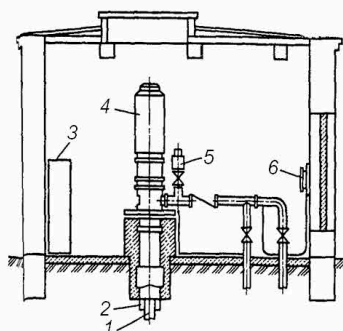


Рисунок 3.25 – Наземный павильон насосной станции скважины:

1 – водоподъемный трубопровод;
2 – обсадная труба; 3 – шкаф электроуправления; 4 – электродвигатель насоса; 5 – вантуз;
6 – дифманометр расходомера

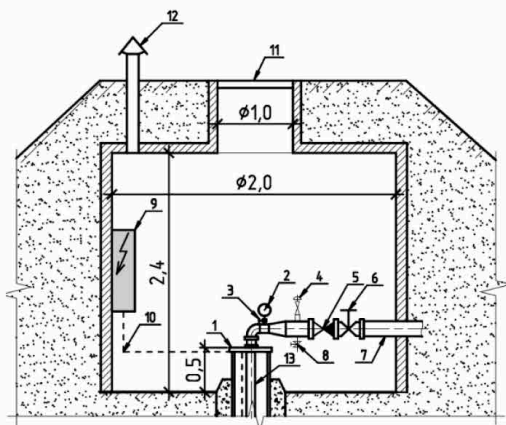


Рисунок 3.26 – Подземный павильон с обвязкой скважины:

1 – оголовок; 2 – манометр; 3 – кран трехходовой;
4 – вантуз; 5 – обратный клапан; 6 – задвижка;
7 – напорный трубопровод; 8 – кран для отбора проб;
9 – щит управления; 10 – кабель; 11 – люк;
12 – вентиляция; 13 – водоподъемная колонна

Когда водозаборные скважины располагаются на затопляемых паводковыми водами поймах рек, павильоны строятся на *подсыжке* или *под защитой дамб обвалования* высотой, превышающей расчетный паводковый горизонт. Поверхность защитного обвалования должна быть укреплена от размыва.

Устье скважины может располагаться в наземном павильоне или заглубленной камере.

Габариты и конструкция павильонной и подземной камеры должны обеспечивать:

- возможность размещения технологического и электротехнического оборудования;
- удобство его обслуживания и отбора проб воды из скважины для лабораторных исследований;
- защиту устья скважины от атмосферных осадков и грунтовых вод.

В павильонах *размещаются*:

- оголовок скважины;
- электродвигатель погружного насоса с трансмиссионным валом или горизонтальный центробежный насос (если скважины оборудуются этими типами насосов);
- приборы отопления;
- пусковая и контрольно-измерительная аппаратура;
- приборы автоматики;

- части напорного трубопровода, на котором устанавливаются задвижки, обратный клапан, вантуз, пробно-спускной кран для отбора проб;
- трубопровод промывной воды с задвижкой, необходимой для сброса воды при пуске и промывке скважины.

Павильонная и подземная камеры должны иметь приемок или выпуск для воды, сливаемой при отборе проб и соответствующий уклон пола от оголовка скважины.

Высота наземного павильона и подземной камеры принимается в зависимости от габаритов оборудования, но не менее 2,4 м. Вентиляция помещения естественная через вытяжные трубы.

Выступ верхней части эксплуатационной колонны труб над полом принимается не менее чем на 0,5 м.

Конструкция оголовка скважины должна обеспечивать полную герметизацию, исключаящую проникание в межтрубное и затрубное пространство скважины поверхностной воды и загрязнений.

Конструкция оголовка в значительной степени зависит от способа забора воды из скважины 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 часто используются герметизированные оголовки. Герметизация скважин обеспечивается резиновым уплотнительным кольцом. В плитах оголовков предусматриваются 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 патрубков, 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 оголовков фонтанирующих колодцев необходимо выполнять следующие требования:

- разборную трубу необходимо 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;

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

Монтаж и демонтаж оборудования предусматривается через люк в перекрытии с помощью автокрана или талей, устанавливаемых над люком на временных треногах. Управление насосными агрегатами осуществляется дистанционно.

3.7 Конструкции и методы бурения водозаборных скважин

3.7.1 Выбор и расчет конструкции скважины

Проектная глубина скважины назначается в зависимости от глубины и мощности водоносного горизонта, принятого для эксплуатации подземных вод, а ее *начальный и конечный диаметры* – в зависимости от размеров и конструкции фильтра, насоса, намечаемого к установке, и способа бурения.

Типовые конструкции водозаборных скважин приведены на рисунке 3.27.

При выходе надфильтровой трубы до поверхности земли (*эксплуатационная колонна*), а также при оборудовании водоносного горизонта в скальных трещиноватых породах перфорированными трубами (фильтрами) устройство сальника не требуется.

Выбор правильной, рациональной конструкции скважины должен базироваться на требованиях соответствующих строительных норм с учетом опыта сооружения и эксплуатации водозаборных скважин в районе размещения водозабора или в аналогичных условиях (сроки службы, сложности при эксплуатации, характер ремонтных работ и т. д.).

При *выборе конструкции скважины важными факторами* являются:

- физико-механические свойства пород, составляющих геологический разрез;

- гидрогеологические условия;

- способ бурения (технические средства).

Также необходимо учитывать:

- требования к эксплуатации скважины и санитарной охране;

- возможность производства ремонтно-восстановительных работ при эксплуатации скважины.

Глубина скважины определяется условиями залегания намеченного к эксплуатации водоносного горизонта – положением кровли и мощности водовмещающей толщи.

Крепление стенок скважин при бурении и на период их эксплуатации выполняется обсадными стальными муфтовыми и электросварными трубами. Трубы с тонкими стенками (7–8 мм) необходимо применять при свободной посадке их в скважину, а с толщиной стенок 10–12 мм – при принудительной.

Спуск *обсадных труб* в скважину выполняется с целью:

- закрепления устья скважины для предохранения его от размыва промысловой жидкостью и отвода жидкости в желоба и отстойники (направляющая труба);

- закрепления неустойчивых пород и поддержания заданного направления ствола скважины перекрытие первого водоносного пласта (кондуктор);

- крепления стенок скважины;

- тампонирувания для исключения проникновения поверхностных вод и перетоков из различных водоносных пластов (межпластовая изоляция) и санитарной защиты подземных вод;

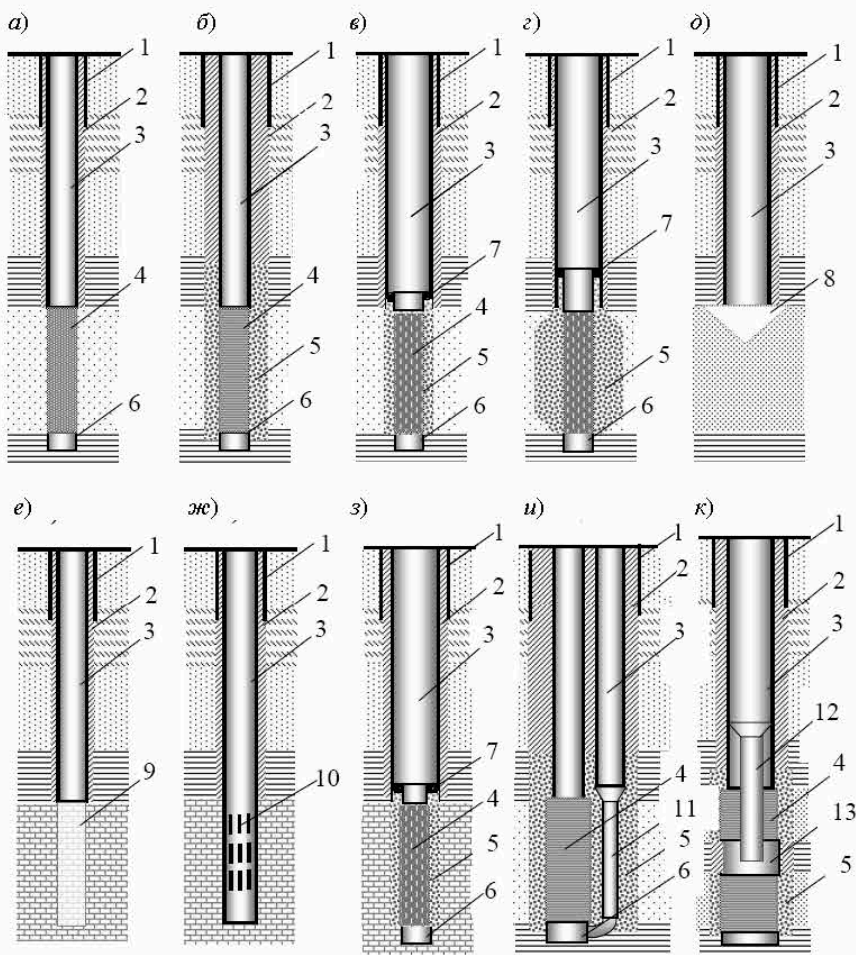


Рисунок 3.27 – Типовые конструкции водозаборных скважин:

а – одноколонная с сетчатым фильтром; б – одноколонная с фильтром с проволоочной обмоткой и гравийной обсыпкой; в – с фильтром, установленным впотай и гравийной обсыпкой; г – с фильтром, установленным впотай и расширенным контуром гравийной обсыпки; д – бесфильтровая скважина в рыхлых породах; е – бесфильтровая скважина в скальных породах; ж – с опорным каркасом в скальных породах; з – с фильтром, установленным в скальных породах и гравийной обсыпкой; и – двухколонная скважина; к – с регулированием притока по длине фильтра;

1 – кондуктор; 2 – цементация; 3 – эксплуатационная колонна; 4 – фильтр; 5 – гравийная обсыпка; 6 – отстойник; 7 – сальник; 8 – каверна; 9 – ствол без фильтра; 10 – фильтр трубчатый с отверстиями (щелевыми или круглыми); 11 – обводная труба; 12 – труба для регулирования притока воды по длине фильтра; 13 – межфильтровая труба

- перекрытия поглощающих пластов;
- размещения водоподъемного оборудования.

Крепление скважины выполняется несколькими колоннами обсадных труб, при этом башмаки колонн обсадных труб, как правило, должны находиться в водоупорных породах; башмак эксплуатационной колонны – в водоносной породе.

В зависимости от диаметров обсадных колонн, типа соединения и толщины стенок обсадных труб, намечаемого выхода колонн, размеров расширителей, потребности в цементации, методики гравийной обсыпки фильтров и потребности в сальниках разница в диаметрах между предыдущей и последующей колоннами менее 100 мм должна быть в каждом конкретном случае обоснована в проекте на сооружение или реконструкцию (капремонт) скважины.

Максимальная длина одной колонны обсадных труб (выход колонн обсадных труб) зависит от их диаметра, характера проходимых горных пород и технологии работ.

При свободном спуске обсадных труб в породах разных типов выход колонн может быть более 1000 м [11].

При принудительной посадке колонн в зависимости от их диаметра, характера пород и применяемого оборудования выход составляет 15–40 и более метров. Для однородных толщ пород выход колонны увеличивается, а при частом переслаивании пород различного литологического состава, особенно при чередовании рыхлых и связных пород, выход колонн резко уменьшается.

Выход колонн при ударно-канатном бурении может быть увеличен при применении вибротехники или при использовании технологии бурения с применением защитной тиксотропной рубашки.

При свободной посадке колонны труб можно применять неметаллические трубы с обязательной затрубной цементацией (указания по применению неметаллических труб для крепления скважин излагаются в специальных инструкциях изготовителя труб).

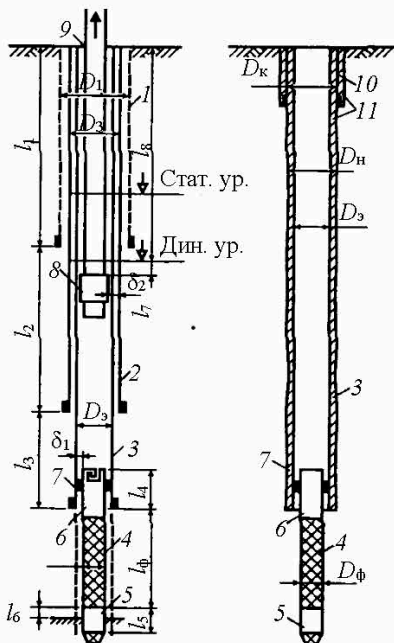
Диаметр эксплуатационной колонны труб в скважинах принимается с условием возможности монтажа насосов. При установке насосов с погружными электродвигателями диаметр эксплуатационной колонны принимается согласно требованиям каталогов заводов-изготовителей данных насосов.

Колонны обсадных труб для временного (при бурении) закрепления стенок скважины должны извлекаться. В колоннах обсадных труб для постоянной эксплуатации скважин должно производиться извлечение свободного конца труб, при этом верхний обрез обсадной трубы, остающейся в скважине, должен находиться выше башмака предыдущей колонны не менее чем на 3 м. Кольцевой зазор между оставшейся частью колонны и предыдущей колонной обсадных труб должен быть зацементирован или заделан путем установки сальника.

Конструктивные размеры элементов водозаборной скважины приведены на рисунке 3.28.

Рисунок 3.28 – Схема конструктивных размеров элементов водозаборной скважины:

- a – ударного бурения;
- b – роторного бурения;
- 1 – извлекаемая колонна обсадных труб;
- 2 – защитная колонна обсадных труб;
- 3 – эксплуатационная колонна обсадных труб;
- 4 – фильтрующая поверхность;
- 5 – отстойник с пробкой;
- 6 – надфильтровая труба; 7 – сальник;
- 8 – водоприемник; 9 – водоподъемная труба;
- 10 – направляющая труба;
- 11 – цементация затрубного пространства



Глубина погружения первой колонны обсадных труб при ударном бурении l_1 составляет 30–50 м.

Выход новой колонны из-под башмака предыдущей $l_2 = 30...50$ м.

Выход последней колонны обсадных труб из-под башмака предыдущей l_3 , м, в скважинах со сменяемыми фильтрами $l_3 \approx 20...30$ м.

Заход надфильтровой трубы в эксплуатационную колонну обсадных труб $l_4 = 3...5$ м.

Длина отстойника фильтра l_5 составляет от 0,5 до 2 м.

Рабочую часть фильтра следует устанавливать на расстоянии от кровли и подошвы пласта не менее чем на 0,5 м ($l_4, l_6 \geq 0,5$ м).

Глубина погружения насоса под динамический уровень l_7 , м, зависит от типа насоса, но не менее 2 м.

Расстояние от поверхности земли до динамического уровня l_8 , рабочая длина фильтра l_9 и его диаметр D_9 определяются расчетами.

Конечный диаметр водозаборной скважины устанавливается в зависимости от выбранного диаметра фильтра с учетом поперечных габаритов водоподъемного оборудования.

Внутренний диаметр эксплуатационной колонны обсадных труб в скважинах принимается исходя из следующих требований:

– должен быть не менее, чем на 50 мм больше наружного диаметра, устанавливаемого в скважине погружного насосного агрегата. Необходимо учитывать требования производителей насосных агрегатов к скорости течения воды в кольцевом зазоре между погружным электродвигателем насосного агрегата и внутренней поверхностью обсадных труб;

– при ударном бурении должен быть больше наружного диаметра фильтра не менее чем на 50 мм, а при обсыпке фильтра гравием – не менее чем на 100 мм;

– при роторном бурении без крепления стенок скважины трубами конечный диаметр скважин должен быть больше наружного диаметра фильтра не менее, чем на 100 мм [6].

Внутренний диаметр эксплуатационной колонны обсадных труб принимается как наибольшее значение из двух:

$$D_s = D_\phi + \Delta, \text{ где } \Delta = 50 \dots 100 \text{ мм};$$

$$D_s = D_{\text{нас}} + 50, \text{ где } D_{\text{нас}} - \text{диаметр погружного насоса, мм.}$$

Диаметр долота для разбуривания роторным способом скважины под трубу D_s определяется $D_d \geq D_s + 95 \text{ мм}$.

Разницу диаметров предыдущей и последующей колонн обсадных труб принимают не менее 100 мм ($D_i \geq D_{i+1} + 100 \text{ мм}$).

Зазор на каждую сторону между фильтром и эксплуатационной колонной $\delta_1 = (D_s - D_\phi) / 2$.

Зазор между наружным диаметром водоподъемника и внутренним диаметром эксплуатационной колонны $\delta_2 = (D_s - D_{\text{нас}}) / 2$.

3.7.2 Выбор способов бурения водозаборных скважин

Способ бурения водозаборной скважины выбирается на основании общих геологических и гидрогеологических условий участка размещения водозабора:

– глубин залегания водоносных горизонтов, подлежащих вскрытию и эксплуатации;

– литологии пород, слагающих водоносный горизонт;

– необходимого диаметра скважины и технико-экономического обоснования способа бурения в данных конкретных условиях.

Технико-экономическое обоснование выбора способа бурения скважин выполняется по совокупности трех показателей:

– качество и долговечность скважины;

– срок строительства;

– стоимость строительства.

В случаях, когда не представляется возможным согласовать все три показателя, решающим является первый показатель.

Характеристика способов бурения и конструкции фильтров скважин приведены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Способы бурения и конструкции фильтров скважин [11]

Горные породы водоносных горизонтов	Необходимость использования гравийной обсыпки	Конструкция фильтров скважин	Способ бурения
Неустойчивые рыхлые (пористые) крупнообломочные: – галечниковые и щебенистые (св. 50 % частиц крупностью более 10 мм, $k - 70-500$ м/сут); – гравийные и дресвяные (св. 50 % частиц крупностью более 2 мм, $k - 30-70$ м/сут)	Не требуется	Каркасно-стержневые и перфорированные трубчатые из металлических и полимерных материалов с круглыми или щелевыми отверстиями. Трубчатые со штампованными отверстиями типа «мост». Кольцевые из полимерных материалов	Ударно-канатный, с опережением забоя вспомогательной колонной обсадных труб и последующим обнажением фильтра, $H_6 = 100$ м; под защитой тиксотропной рубашки, $H_6 = 150$ м. Вращательный, с прямой промывкой, $H_6 = 600$ м
Неустойчивые рыхлые (пористые) песчаные (пески): – гравелистые (св. 25 % частиц крупностью более 2 мм, $k - 15-30$ м/сут); – крупные (св. 50 % частиц крупностью более 0,5 мм, $k - 10-15$ м/сут); – средние (св. 50 % частиц крупностью более 0,25 мм, $k - 5-10$ м/сут); – мелкие (св. 75 % частиц крупностью более 0,1 мм, $k - 2-5$ м/сут); – пылеватые (менее 75 % частиц крупностью более 0,1 мм, $k - 0,1-2,0$ м/сут)	Допускается Требуется То же » »	Каркасно-стержневые и перфорированные трубчатые фильтры из металлических и полимерных материалов с круглыми или щелевыми отверстиями, с дополнительной водоприемной поверхностью из антикоррозионных материалов (с проволоочной обмоткой, сетчатые, с фильтрующей оболочкой) или без нее. Для всех суффозионно-устойчивых песчаных грунтов при наличии крепкой устойчивой кровли – бесфильтровые скважины с водоприемной полостью	Ударно-канатный, с опережением забоя вспомогательной колонной обсадных труб и последующим обнажением фильтра, $H_6 = 100$ м; под защитой тиксотропной рубашки, $H_6 = 150$ м. Вращательный, с прямой промывкой, $H_6 = 600$ м; с обратной промывкой, $H_6 = 200$ м. Комбинированный, с прямой и обратной промывками, $H_6 = 600$ м

Окончание таблицы 3.18

Горные породы водоносных горизонтов	Необходимость использования гравийной обсыпки	Конструкция фильтров скважин	Способ бурения
Слабоустойчивые пористотрещиноватые, химические и органогенные: – песчаники, известняки и доломиты, мел и уголь (крупнопористые, трещиноватые и кавернозные), $k - 70-500$ м/сут) – песчаники средне- и крупнозернистые, пористые известняки и доломиты, сланцы пористые и трещиноватые, $k - 10-70$ м/сут) – песчаники тонко- и мелкозернистые, алевролиты и аргиллиты с малой трещиноватостью, $k - 1-10$ м/сут)	Не требуется То же Допускается	Без фильтра. Каркасно-стержневые и перфорированные трубчатые из металлических и полимерных материалов с круглыми или щелевыми отверстиями, с дополнительной водопримемной поверхностью из антикоррозионных материалов (с проволоочной обмоткой, сетчатые, с фильтрующей оболочкой) или без нее. Трубчатые со штампованными отверстиями типа «мост»	Ударно-канатный, с открытым забоем, без крепления трубами, $H_6 = 150$ м. Вращательный с прямой промывкой, $H_6 = 600$ м; с обратной промывкой, $H_6 = 200$ м
Устойчивые трещиноватые, химические и органогенные: – песчаники, известняки, сланцы, граниты, гнейсы, порфириды, сиениты с крупными пустотами, кавернами и зонами разлома, при $k - 50-200$ м/сут); – песчаники, известняки, сланцы, граниты, гнейсы, порфириды, сиениты сильнотрещиноватые с вертикальными и горизонтальными трещинами, $k - 10-50$ м/сут); – песчаники, известняки, сланцы, граниты, гнейсы, порфириды, сиениты, $k - 1-10$ м/сут)	Не требуется	Без фильтра	Ударно-канатный, с открытым забоем, без крепления трубами, $H_6 = 150$ м. Вращательный, с прямой промывкой, $H_6 = 600$ м

Примечание – k – коэффициент фильтрации горной породы, м/сут; H_6 – максимальная глубина бурения скважины, м.

Ударно-канатный способ бурения (рисунок 3.29) применяется:

- при сооружении скважин глубиной до 150 м;
- бурении скважин на территориях со слабо изученными геологическим строением и гидрогеологическими условиями;
- необходимости предварительного и раздельного опробования водоносных горизонтов в процессе бурения;
- бурении в слабонапорных и безнапорных водоносных горизонтах любой мощности;
- бурении скважин в относительно нетвердых породах и в валунно-галечниковых отложениях;
- работе на территориях, на которые затруднительна доставка глины и воды для промывки скважин в процессе бурения.

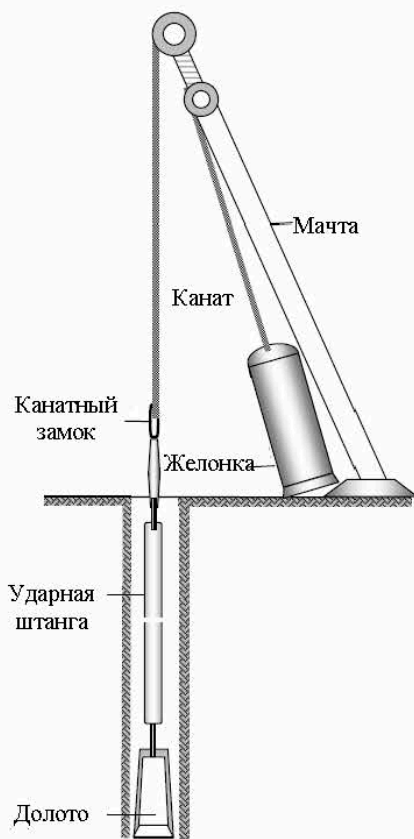


Рисунок 3.29 – Ударно-канатный способ бурения

Роторное бурение с прямой промывкой (рисунок 3.30) применяется:

- при бурении скважин в районах с хорошо изученными геологическими и гидрогеологическими условиями;
- наличии напорных водоносных горизонтов в геологическом разрезе;
- возможности выполнения скважинного каротажа;
- возможности проведения эффективной разглинзации и освоения водоносного горизонта или проходке водоносного горизонта с промывкой чистой водой или безглинистыми буровыми растворами;
- необходимости бурения глубоких скважин (более 100–150 м);
- возможности организации непрерывного и недорогого снабжения буровой установки водой и глиной.

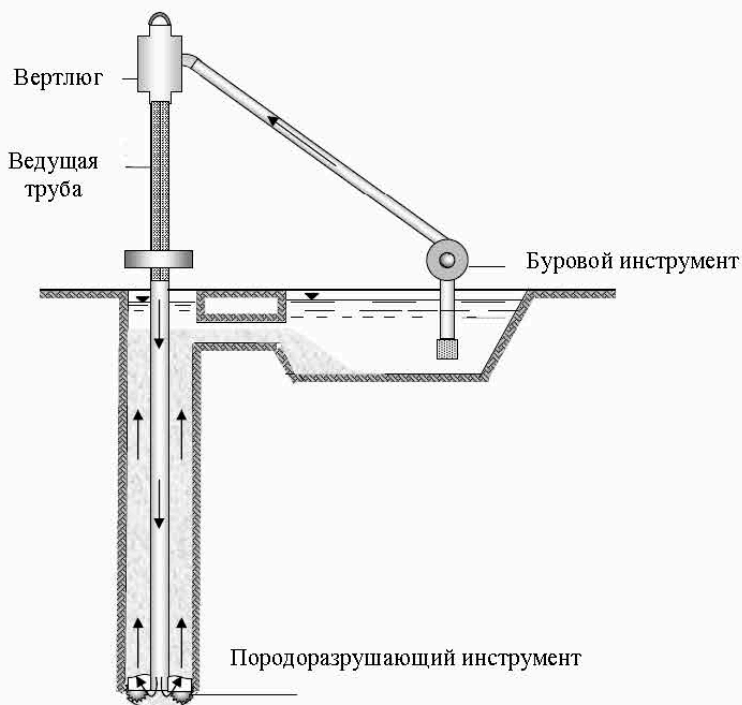


Рисунок 3.30 – Способ роторного бурения с прямой промывкой

Роторное бурение с обратной промывкой (рисунок 3.31) применяется:

- при необходимости бурения высокодебитных скважин большого диаметра;
- необходимости ускорить проходку скважин и до минимума снизить расход обсадных труб;

– для обеспечения надежного устройства мощных гравийных обсыпок с целью исключения пескования скважин.

Увеличение контура гравийной обсыпки существенно повышает водозахватную способность скважины, понижает входные скорости и, как следствие, уменьшает суффозионные явления и химический кольматаж.

Породоразрушающий инструмент (буровые долота, желонки) выбирается с учетом крепости буримых горных пород.

Диаметр долот и желонок при *ударно-канатном бурении* водозаборных скважин принимается:

– в устойчивых горных породах – на 100 мм больше максимально выступающих соединительных деталей (муфты, фланцы и т. д.) диаметра обсадных труб;

– в неустойчивых породах – на 6 мм меньше внутреннего диаметра обсадных труб;

– при проходке водоносных песков – диаметр желонки на 100 мм меньше внутреннего диаметра обсадных труб.

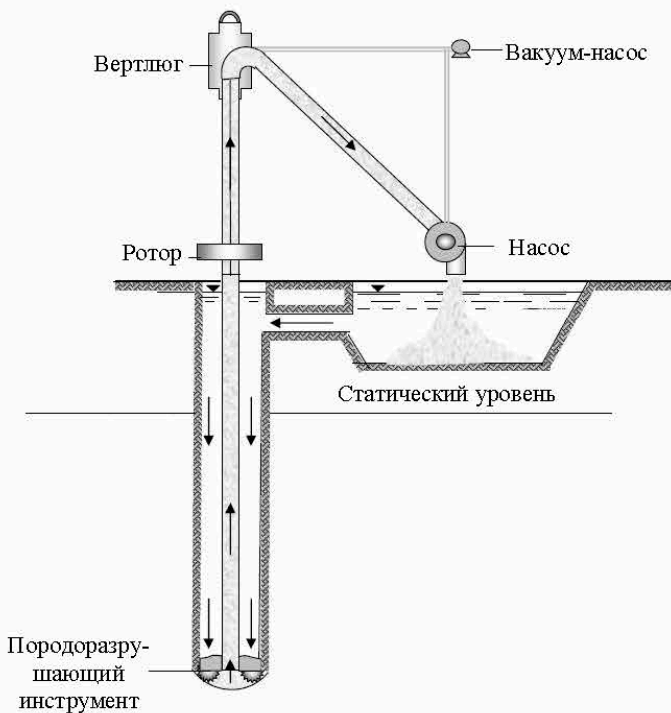


Рисунок 3.31 – Способ роторного бурения с обратной промывкой насосом

Диаметр долот при *вращательном (ротормом) бурении* водозаборных скважин принимается на 100 мм больше диаметра обсадных труб в любых категориях буримых горных пород. Другое соотношение между диаметрами долот и намечаемых к посадке обсадных колонн должно быть обосновано в проекте.

Для увеличения диаметра скважины в намечаемом интервале ее глубины в зависимости от категории и устойчивости пород применяются различные типы *расширителей*, включая конусные башмаки-расширители, используемые при ударно-канатном бурении.

Диаметры расширителей определяются проектом.

Необходимость бурения разведочного ствола (пилот-скважины) на месте проектируемых водозаборных скважин определяется проектом.

Проектная организация на основе гидрогеологического заключения, выданного геологической службой, определяет интервалы бурения разведочного ствола и комплекс геофизических исследований.

Диаметр разведочного ствола должен быть не более 151 мм (достаточным для спуска и подъема каротажных зондов и скважинных приборов).

В скважинах, пробуренных ударным способом, геофизические исследования выполняются в основном только для контроля качества скважины или для решения некоторых специальных задач.

Цементирование скважин (тампонаж затрубного или межтрубного пространства) выполняется в зависимости от конкретных гидрогеологических условий или на всю глубину скважин, или в определенных интервалах с учетом требований охраны подземных вод от загрязнения и истощения.

Основные цели цементирования скважин:

- изоляция скважин от проникновения в них поверхностных вод;
- изоляция эксплуатируемого водоносного горизонта от других водоносных горизонтов (разобщение водоносных горизонтов);
- закрепление обсадных труб;
- предохранение от возможных обвалов рыхлых пород и проникновения их в водоприемную часть скважины;
- создание цементных мостов в скважине;
- предохранение обсадной колонны труб от смятия внешним давлением;
- изолирование обсадных труб от коррозии.

Кроме этого цементация применяется для изоляции пластов, поглощающих буровые растворы в процессе бурения и при ликвидации непригодных в дальнейшей эксплуатации скважин.

Цементация затрубного пространства в основном выполняется в скважинах, пробуренных ротормым способом.

3.7.3 Крепление скважины

Крепление стенок водозаборных скважин при бурении в рыхлых неустойчивых породах, а также при перекрытии водоносных горизонтов производится обсадными трубами.

При бурении водозаборных скважин применяются стальные обсадные бесшовные муфтового соединения и электросварные прямошовные трубы.

Трубы муфтового соединения выпускаются диаметрами от 114 до 508 мм с толщиной стенки от 6 до 12 мм с короткой, нормальной и удлиненной резьбой. Длина труб от 9,5 до 13 м (в партии допускается поставка до 20 % труб от 6 до 9,5 м и не более 10 % труб длиной от 5 до 8 м).

С целью упрощения конструкции и снижения расхода металлических обсадных труб следует применять при креплении водозаборных скважин обсадные трубы муфтового соединения с обточенными муфтами (таблица 3.19)

Таблица 3.19 – Диаметры обточенных муфт для обсадных труб

В миллиметрах

Наружный диаметр обсадной трубы	Наружный диаметр муфт	
	необточенных	обточенных
168	188	186
219	243	236,5
273	298	287
325	351	340
377	402	391
426	451	441

Трубы большого размера соединяются при помощи сварки.

Стальные электросварные прямошовные трубы выпускаются диаметрами от 426 до 1420 мм и длиной не менее 5 м с одним продольным швом. Трубы диаметром от 820 до 1420 мм, длиной не менее 5 м могут иметь два продольных шва, а в трубах диаметром 426–720 мм, длиной не менее 10 м допускается один поперечный шов.

Для крепления скважин небольшого диаметра (наблюдательные скважины) можно использовать тонкостенные обсадные стальные трубы ниппельного соединения.

Перед спуском стальных труб скважину следует проработать новым долотом со скоростью 25–30 м/ч и промыть.

Обсадные трубы предварительно подготавливают к спуску, проводят проверку и смазку резьбы, замер длины труб, установку башмака, стоп-кольца и обратного клапана для цементирования и др. Первые 3–4 нижние муфты при спуске колонны обсадных труб приваривают к трубам. При установке в колонне обратного клапана следует периодически подливать в колонну промывочную жидкость с тем, чтобы она имела достаточную массу для нормального спуска.

Для крепления водозаборных скважин также применяются трубы из полимерных материалов. Они в отличие от стальных, обладают высокой стойкостью против коррозии, не подвержены зарастанию минеральными отложениями, имеют небольшую плотность и низкие потери напора на трение при откачке и др. В основном для крепления скважин используют трубы из полиэтилена низкой плотности (ПНП) и высокой плотности (ПВП).

Недостаток этих труб – низкая механическая прочность, резко снижающаяся при надрезах, ограничивает область их применения глубиной до 150 м. Соединение полиэтиленовых труб производят методом контактной сварки, сваркой методом трения, а также с помощью резьбовых соединений, как правило, труба в трубу.

3.8 Сборные водоводы на водозаборах подземных вод

От водозаборных сооружений до *сборных узлов* (резервуаров или станций подготовки воды) вода транспортируется по **сборным водоводам**. В отдельных случаях сборные водоводы присоединяют к магистральным водоводам или к внутритащадочным сетям объектов водоснабжения.

Сборные водоводы *бывают*:

- напорными;
- самотечными;
- сифонными;
- всасывающими.

3.8.1 Схемы сборных водоводов

Схемы сборных водоводов в плане весьма разнообразны и зависят:

- от расположения и оборудования водозаборных устройств;
- расположения сборных узлов;
- морфологических, геологических и гидрологических условий;
- схемы подачи воды потребителю;
- категории надежности подачи воды;
- общей емкости резервуаров в системе водоснабжения;
- материала применяемых труб и др.

Можно выделить **три основные схемы** сборных водоводов: *тупиковые (линейные)*, *кольцевые* и *парные* (рисунки 3.32–3.34). Все остальные схемы условно можно свести к одной из этих схем.

Тупиковые (линейные) водоводы (см. рисунок 3.32) устраиваются практически при всех схемах расположения водоприемных сооружений в водозаборном узле: линейных, площадных и кольцевых.

Сборные водоводы прокладываются *в одну нитку* (см. рисунок 3.32, а, б) только при кольцевом расположении водоприемных сооружений, если

допускается перерыв в подаче воды потребителям или при наличии на водозаборном узле регулирующих и запасных резервуаров.

Тупиковые схемы в две и три нитки (см. рисунок 3.32, *в–д, з*) применяют чаще всего, так как при всех схемах в случае выхода из строя одной нитки водоводов обеспечивается подача воды в сборный резервуар по другой нитке в размере 50–67 % от расчетного расхода.

Тупиковую схему в четыре нитки (см. рисунок 3.32, *е, жс*) целесообразно применять только при центральном расположении водозаборного резервуара и линейном, а также площадном расположении водоприемников на площадке водозаборного узла.

Тупиковые схемы в две, три и четыре нитки применяются также для сифонных сборных водоводов с центральным или близким к нему расположением сборного колодца – резервуара.

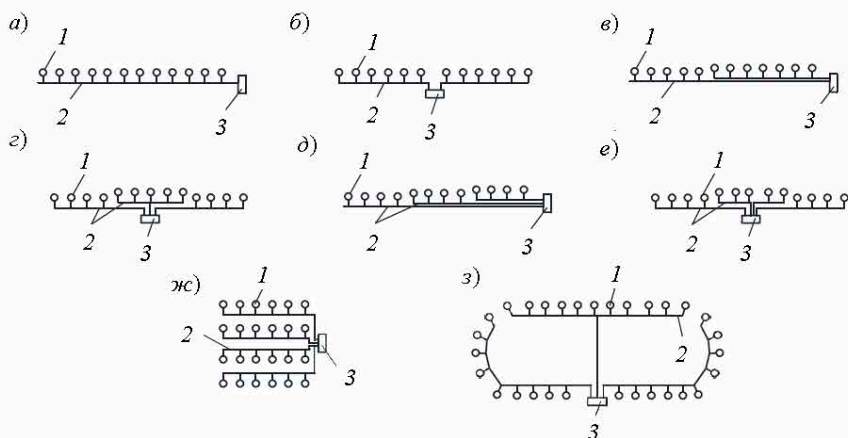


Рисунок 3.32 – Скважинные водозаборы с тупиковой схемой подключения к сборным водоводам:

а – с конечным расположением сборного узла и одной ниткой сборного водовода; *б* – с центральным расположением сборного узла и одной ниткой сборного водовода; *в* – с конечным расположением сборного узла и двумя нитками сборного водовода; *г* – с центральным расположением сборного узла и двумя нитками сборного водовода; *д* – с конечным расположением сборного узла и тремя нитками сборного водовода; *е* – с центральным расположением сборного узла и четырьмя нитками сборного водовода; *жс* – с площадным размещением скважин и четырьмя нитками сборного водовода; *з* – с центральным расположением сборного узла и тремя нитками сборного водовода; 1 – скважина; 2 – сборный водовод; 3 – сборный узел

Кольцевые сборные водоводы (см. рисунок 3.33) устраиваются при линейных (см. рисунок 3.33, *а, б*), площадных (см. рисунок 3.33, *в, г*) и кольцевых схемах расположения водоприемных сооружений водозаборов.

Парные сборные водоводы (см. рисунок 3.34) устраиваются, как правило, при большой производительности водозаборов, относительно небольшой их длине и высокой категории надежности подачи воды.

Выбор схемы сборных водоводов в значительной степени обусловливается расположением *водосборных резервуаров* (их бывает два и более), которое может быть кольцевым, центральным или близким к ним в зависимости от места расположения потребителя воды и площадки водозабора.

Если водопотребитель находится на продолжении створа водозабора, принимается, как правило, кольцевое или близкое к нему расположение водосборного резервуара; при направлении, перпендикулярном к створу в центре водозабора – центральное расположение.

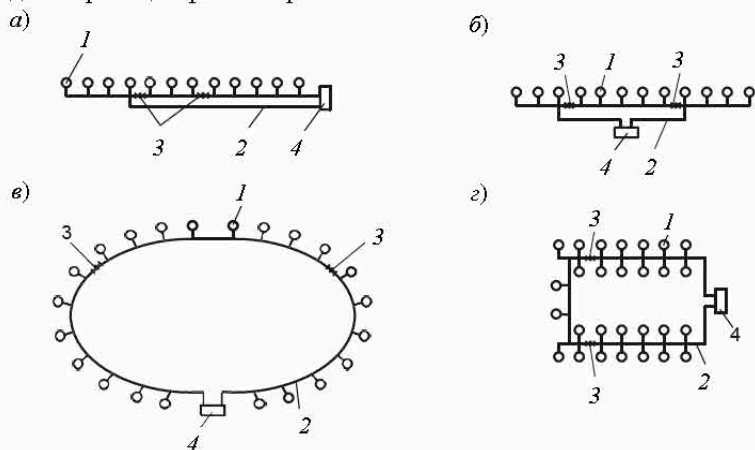


Рисунок 3.33 – Скважинные водозаборы с кольцевой схемой подключения к сборным водоводам:

- а – с концевым расположением сборного узла и линейным размещением сборных водоводов;
 б – с центральным расположением сборного узла и линейным размещением сборных водоводов;
 в – с центральным расположением сборного узла и кольцевым размещением скважин;
 г – с центральным расположением сборного узла и площадным размещением скважин;
 1 – скважина; 2 – сборный водовод; 3 – задвижки; 4 – сборный узел

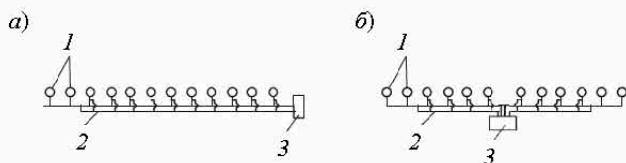


Рисунок 3.34 – Схемы скважинных водозаборов с двумя нитками сборных водоводов:

- а – с концевым расположением сборного узла;
 б – с центральным расположением сборного узла;
 1 – скважина; 2 – сборный водовод; 3 – сборный узел

3.8.2 Напорные и сифонные сборные водоводы

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

Гидравлический расчет напорных сборных водоводов необходимо выполнять с учетом характеристик насосов и скважин (дебита и понижения).

Выбор диаметров труб сборных водоводов необходимо 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;

– 0,7–1 м/с – для диаметров 500–1000 мм.

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

Необходимый напор скважинных насосов водозабора, м,

$$H_c = Z_p - Z_{ст} + s_i + h_{ши} + h_{в.кз} + h_{лнл} + \sum_{k=i}^n h_k + h_n, \quad (3.62)$$

где Z_p – отметка уровня воды в резервуаре, куда подается вода из скважин, м;

$Z_{ст}$ – отметка статического уровня воды в пласте, м;

s_i – понижение уровня воды в i -й скважине при расчетном расходе воды, м;

$h_{ши}$ – потери напора в щели между обсадной трубой скважины и погруженным двигателем ее насоса, м;

$h_{в.кз}$ – потери напора в водоподъемной колонне скважины, м;

$h_{лнл}$ – потери напора в линии подключения скважины к сборным водоводам водозабора, м;

$\sum_{k=i}^n h_k$ – суммарные потери напора в сборном водоводе водозабора на участке от точки подключения к нему рассматриваемой скважины до сборного резервуара, м;

h_k – потери напора на k -м участке этого водовода;

h_n – напор на выходе воды из сборного водовода, м.

Насосное оборудование водозаборов выбирается из условия обеспечения каждым водозаборным элементом расчетной производительности во время эксплуатации.

Тип и параметры насосных агрегатов принимаются по подаче и напору их скважин.

Выбор насосного оборудования групповых скважинных водозаборов осложняется тем, что скважины этих водозаборов взаимосвязаны в работе, поэтому режим их работы определяется откачкой воды не только из данной скважины, но и из других скважин водозабора.

Минимум затрат энергии на подъем и подачу в сборно-регулирующие резервуары заданного объема воды достигается при соблюдении условия

$$\frac{\left(H_1 + s_1 + \sum_{k=1}^n h_k \right)}{\eta_1} = \frac{\left(H_i + s_i + \sum_{k=i}^n h_k \right)}{\eta_i} = \dots = \frac{(H_n + s_n + h_n)}{\eta_n}, \quad (3.63)$$

где H_i – геометрическая высота подъема воды от статистического уровня в i -й скважине до расчетного уровня воды в сборно-регулирующем резервуаре, м;

η_i – КПД насосного оборудования i -й скважины.

Поскольку суммарные потери напора по ходу движения воды постоянно уменьшаются, Z_p и $Z_{ст}$ одинаковы для всех скважин, то s_i в скважинах в том же направлении должно возрастать. Разность значений s_i для соседних скважин должна быть равна потерям напора в сборных водоводах на участке между рассматриваемыми скважинами. Это обуславливает неодинаковую загрузку скважин: концевые скважины загружены меньше, а расположенные у сборного колодца водозабора – больше.

Насосное оборудование скважин групповых водозаборов подбирается таким образом, чтобы наиболее эффективные скважины имели максимальную загрузку, и наоборот. В первом приближении оптимальную загрузку скважин и их насосного оборудования можно принять в соответствии с условием

$$s_1 / \eta_1 = s_i / \eta_i = \dots s_n / \eta_n. \quad (3.64)$$

Максимальное количество скважин, присоединяемых к одной нитке сборного водовода, определяется из условия: рабочие точки характеристики насосов не должны выходить за пределы области оптимальных КПД насосов, указанных в заводских характеристиках. В каждой нитке допускается объединять не больше 15–20 скважин.

Фактические режимы работы основных элементов водозабора можно найти на основе решения уравнений динамического равновесия их работы.

Кольцевые сборные водоводы 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.

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.

Работа сифонного водовода обеспечивается за счет разности уровней воды, находящейся под атмосферным давлением, в головной и концевой части сифона (рисунок 3.35).

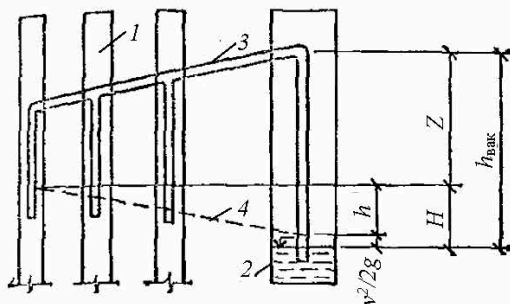


Рисунок 3.35 – Схема сифонного водовода:
1 – скважины; 2 – приемный или сборный резервуар;
3 – сборный сифонный трубопровод; 4 – пьезометрическая линия

Практически допустимый вакуум $h_{\text{вак}}$ в сифонном водоводе не должен превышать 7–7,5 м с учетом положения сифона над уровнем моря.

Величина вакуума в любом сечении сифона, м,

$$h_{\text{вак}} = \Delta Z + \frac{v^2}{2g} \sum h, \quad (3.65)$$

где ΔZ – высота центра сечения сифона над уровнем воды в наиболее удаленной скважине, м;

v – скорость движения воды в расчетном сечении, м/с;

$\sum h$ – сумма потерь напора по длине сифона и на местные сопротивления, м.

При известном расходе воды и действующем напоре H гидравлический расчет сифонного водовода ведется подбором, задаваясь диаметрами труб.

Сифонные сборные водоводы проектируются из *стальных* или *пластмассовых* труб, обеспечивающих наибольшую герметичность водоводов.

Зарядка сифонных водоводов производится вакуум-насосами.

К *недостаткам* сифонных водоводов можно отнести:

- выделение растворенных газов (примерно 40–60 %);
- поступление воздуха через неплотности стыковых соединений труб и арматуры;
- выделение паров воды.

Общее количество выделившегося воздуха или газов, которое нужно удалять из сифона во время его работы, ориентировочно принимается 0,3–0,4 л/с на каждые 1000 м³ воды в сутки (при атмосферном давлении).

Производительность вакуум-насосов определяется также по времени начальной зарядки сифонной системы, которое должно быть от нескольких минут до получаса.

Сифонные водоводы прокладываются с небольшим подъемом к сборному узлу с уклоном 0,005–0,002. При сифонах длиной в несколько километров (известны сифоны длиной до 7 км) допускается уменьшать подъем до 0,001–0,00025.

Для уменьшения потерь напора по длине сифонного водовода скорость воды в нем при прокладке с подъемом может быть снижена до 0,3 м/с.

При прокладке с понижением по течению воды скорости не должны быть менее 0,6–0,7 м/с (при работе сифона полным сечением).

В точках отсоса воздуха с помощью вакуум-насосов необходимо предусматривать *воздушные колпаки* или *вакуум-котел*. Объем воздушного колпака рассчитывается на 3–5 мин работы вакуум-насоса.

Регулирование расхода воды в сифонной системе осуществляется регулированием работы насосов, забирающих воду, или при дальнейшем самотечном отводе воды – с помощью задвижек.

3.9 Горизонтальные водозаборы

3.9.1 Область применения и конструкции

Горизонтальные водозаборы предназначены для добычи подземных вод из первого от поверхности земли безнапорного водоносного горизонта небольшой мощности вблизи водотоков.

Горизонтальные водозаборы бывают следующих типов:

- *траншейного* (каменно-щебеночные, трубчатые, галерейные) – устраиваются при глубине залегания подошвы водоносного горизонта до 8 м;
- *бестраншейного* (водосборные галереи и штольни) – в скальных горных породах при любой глубине залегания подземных вод.

Горизонтальный водозабор *включает*:

- водоприемную часть – для приема воды из водоносного горизонта;
- водоотводящую (коллекторную) часть – для отвода воды в водосборный колодец;
- смотровые колодцы – для осмотра, вентиляции и ремонта водоприемной и водоотводящей частей горизонтальных водозаборов;
- водосборный колодец;
- насосную станцию первого подъема, совмещенную с водосборным колодцем.

При поступлении воды в водосборный колодец непосредственно из водоприемной части водоотводящая часть может не предусматриваться.

В зависимости от гидрогеологических условий для горизонтальных водозаборов применяют следующие типы водоприемников:

- каменно-щебеночный;
- трубчатый;
- водосборная галерея;
- водосборная штольня;
- комбинированный (галерея со скважинами-усилителями).

Каменно-щебеночный водоприемник (рисунок 3.36) предусматривается для водоснабжения объектов с небольшим водопотреблением, размещается на глубине до 4 м от поверхности земли в траншее, на дно которой укладывается каменно-щебеночная призма, с двухслойной обсыпкой обратным фильтром.

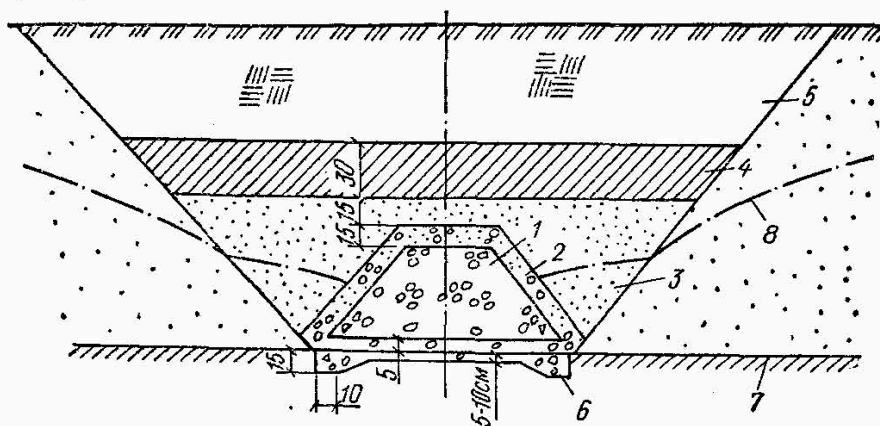


Рисунок 3.36 – Каменно-щебеночный водозабор:

- 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

На водозаборах питьевого водоснабжения фильтрующая обсыпка сверху перекрывается экранирующим слоем глинистого грунта.

Высота каменно-щебеночной призмы принимается 30–40 % мощности водоносного горизонта, вскрытого дренай.

Трубчатый водоприемник (рисунок 3.37) размещается на глубине 5–8 м от поверхности земли и устраивается в виде трубопровода, уложенного в траншею, с последующей обсыпкой обратным фильтром. Для устройства трубопровода применяются железобетонные и пластмассовые трубы.

Для приема воды в трубах предусматриваются круглые или щелевидные отверстия.

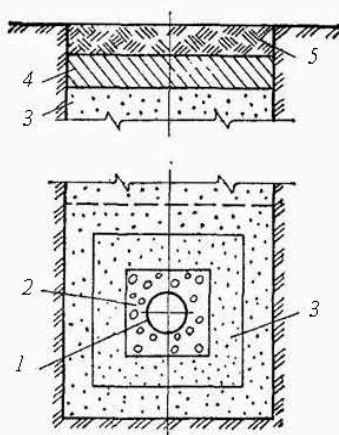


Рисунок 3.37 – Трубчатый водозабор в траншее с вертикальными стенками в поперечном и продольном разрезах по оси водозабора:
 1 – водоприемная труба; 2 – песчано-гравийный фильтр; 3 – песчаная засыпка; 4 – глинистый экран; 5 – обратная засыпка местным грунтом

Для предотвращения выноса частиц грунта из водоносного горизонта вокруг водоприемных труб предусматривается фильтрующая обсыпка из одного или нескольких слоев песчано-гравийного материала.

Скорость течения воды в водоприемных трубах принимается достаточной для обеспечения перемещения частиц водоносных горных пород, вымытых в водоприемные трубы.

Водоприемные трубы укладываются в траншеи на песчано-гравийную подготовку, при слабых грунтах основания – на специальное основание, определяемое с учетом нагрузок от труб.

Водосборные галереи проектируются для водоснабжения крупных потребителей первой и второй категории надежности в любых геологических и гидрогеологических условиях. При глубине залегания подземных вод не более 8 м галереи устанавливаются в траншеи. При большей глубине применяется тоннельный способ проходки.

Водоприемная часть галереи устраивается из сборных железобетонных элементов оваловидной (рисунок 3.38, а) или прямоугольной (рисунок 3.38, б) формы.

Габаритные размеры принимаются в зависимости от условий эксплуатации:

- ширина – 0,8–1,0 м;
- высота непроходных галерей – 1,2–1,7 м;
- высота проходных – 1,8–2,2 м.

Элементы галереи устанавливаются на подготовленное основание, включающее их осадку относительно друг друга.

В нижней части галереи устраивается лоток, обеспечивающий отведение воды к водосборному колодцу с незаияющей скоростью. Глубина лотка принимается не более 0,5 м, ширина – 0,2–0,4 м.

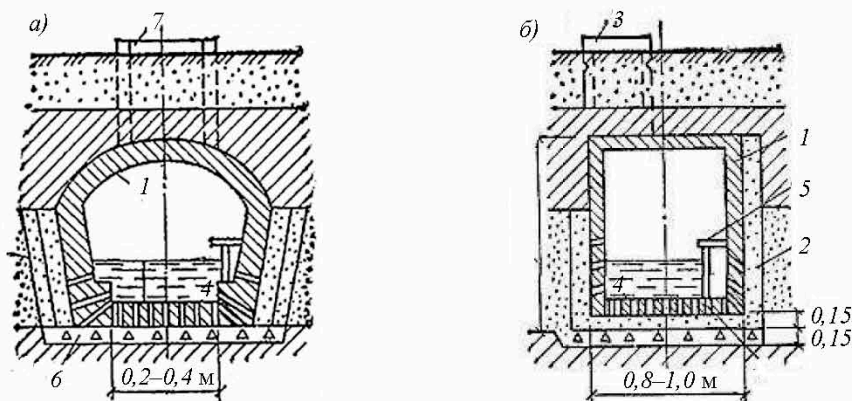


Рисунок 3.38 – Водосборная галерея:

a – оваловидной формы; *б* – прямоугольной формы;

1 – железобетонные сборные звенья галерей; 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

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.

Водосборные штольни применяются для водоснабжения крупных потребителей первой и второй категории надежности, устраиваются для захвата подземных вод с глубины более 8 м в благоприятных гидрологических условиях подземным способом и выполняются прямоугольной, овальной или круглой формы в плане.

Для приема воды в стенках штольни предусматриваются водоприемные отверстия круглой или щелевидной формы или окна с фильтровыми вставками.

Конструкция штольни (рисунок 3.39) аналогична конструкции водосборной галереи. Прием воды производится через отверстия 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.

Комбинированные водоприемники проектируются в двухпластовых гидрогеологических системах, состоят из горизонтальных водоприемных устройств, расположенных в верхнем водоносном горизонте, и вертикальных скважин, пройденных в нижний водоносный горизонт.

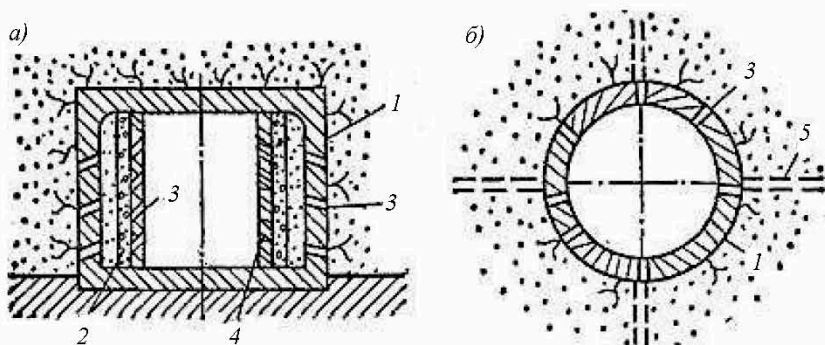


Рисунок 3.39 – Водосборная штольня:

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

Горизонтальные водоприемные устройства по отношению к скважинам выполняют функцию водосборного и водоотводного коллектора.

Вертикальные скважины, устраиваемые в нижнем водоносном горизонте, подключаются снизу или сбоку к горизонтальным водоприемным устройствам. Устья скважин совмещаются со смотровыми колодцами и оборудуются задвижками. Скважины предварительно пробуриваются на нижний водоносный горизонт, затем устанавливаются задвижки на устья скважин.

После прокладки в траншеях водоприемных труб горизонтального водозабора производится врезка в них (снизу или сбоку) патрубков эксплуатационных колонн обсадных труб скважин.

3.9.2 Конструирование горизонтальных водозаборов

Для наблюдения за работой горизонтальных водозаборов, их вентиляции, профилактической прочистки и ремонта устраиваются *смотровые колодцы* (рисунок 3.40). Также смотровые колодцы устраиваются в местах изменения направления водоприемной части как в плане, так и в вертикальной плоскости.

Расстояния между смотровыми колодцами принимаются:

- 50 м – для трубчатых водозаборов диаметром 15–500 мм;
- 75 м – тоже, диаметром более 500 мм;
- 100–150 м – для галерейных водозаборов.

Смотровые колодцы изготавливаются из сборных железобетонных колец диаметром 0,75–1,5 м.

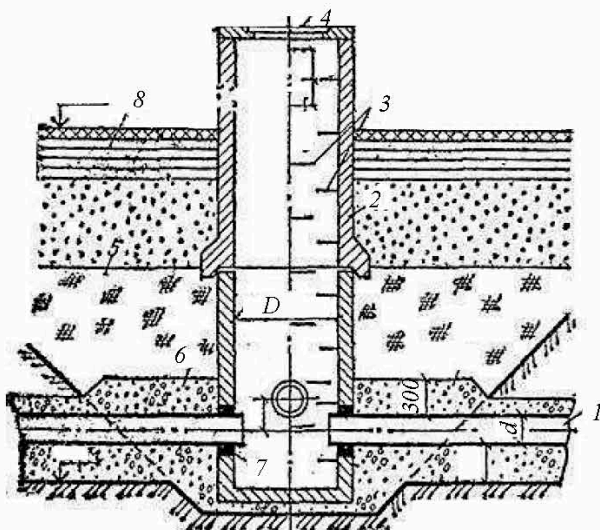


Рисунок 3.40 – Смотровой колодец:

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 отсыпкой

Верх колодцев возвышается над поверхностью земли не менее чем на 0,25 м. Вокруг колодца предусматривается водонепроницаемая отсыпка шириной и глубиной не менее 1 м.

Колодцы закрываются крышками. Для вентиляции водозабора в колодцах устанавливаются вентиляционные трубы, которые возвышаются над поверхностью земли на 2,5–3 м. Верхний конец трубы заканчивается колпаком с сеткой для предохранения от попадания в водозабор загрязнений. Трубы и галереи сопрягаются в пределах колодца при помощи бетонного лотка в дне.

Водосборный колодец располагается в конце линии горизонтального водозабора или в промежуточной точке в зависимости от условий залегания водоносного горизонта. Сбор воды в водосборном колодце допускается предусматривать из нескольких отдельных секций горизонтального водозабора.

Размеры водосборного колодца определяются из условий:

- обеспечения нормального режима работы насосной установки;
- размещения в нем оборудования и устройств контроля потоков воды, поступающих из отдельных секций горизонтального водозабора.

Водосборные колодцы крупных водозаборов секционируются по числу ветвей водозабора.

Насосные станции горизонтальных водозаборов могут совмещаться с водосборным колодцем или сооружаться отдельно в зависимости от их производительности и типа насосного оборудования.

Конструкция водосборной камеры небольшого горизонтального водозабора приведена на рисунке 3.41.

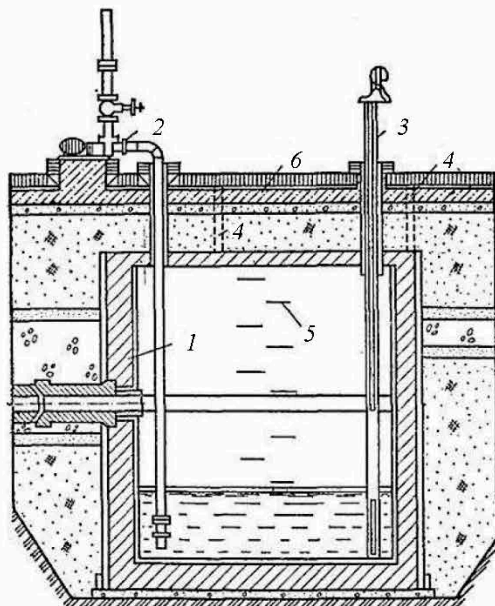


Рисунок 3.41 – Водосборный колодец (камера):

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

3.9.3 Расчет горизонтальных водозаборов

Основная задача фильтрационных расчетов горизонтальных водозаборов – 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 (рисунок 3.42), приток воды в горизонтальный водозабор, м³/сут, определяется по формуле

$$Q = kl \frac{H_1^2 - H_0^2}{2(L + \Phi + \Delta L)}, \quad (3.66)$$

где k – коэффициент фильтрации водоносных пород, м/сут;

l – длина горизонтального водозабора, м;

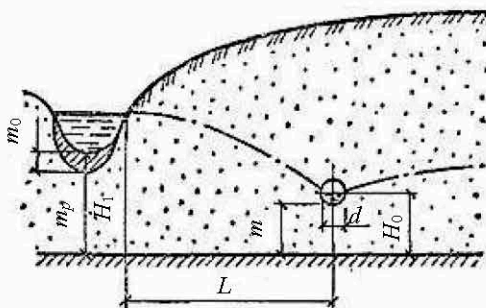
H_1, H_0 – мощность грунтовых вод соответственно на урезе воды в реке и на линии водозабора, м;

L – расстояние от реки до водозабора, м;

Φ – фильтрационное сопротивление, м, обусловленное гидродинамическим несовершенством водозабора;

ΔL – сопротивление, учитывающее несовершенство прямолинейного контура питания, т. е. неполную врезку реки в водоносный горизонт, м.

Рисунок 3.42 – Схема к расчету горизонтального водозабора в однослойном полуограниченном водоносном пласте



Фильтрационное сопротивление Φ , м, учитывающее несовершенство дренажа,

$$\Phi = \frac{H_0}{\pi} \ln \sin \frac{\pi d}{m + d}, \quad (3.67)$$

где d – приведенный диаметр водоприемной части горизонтального водозабора, м;

m – расстояние от приемной части водозабора до водоупора, м.

Приведенный диаметр водозабора, м,

$$d = 0,56P, \quad (3.68)$$

где P – периметр смоченной части водоприемного элемента водозабора, м.

Приток воды в подрусловой водозабор (рисунок 3.43), м³/сут,

$$Q = 2\pi kl \frac{H - H_0}{R}, \quad (3.69)$$

где l – длина водозабора, м;

H, H_0 – мощность грунтовых вод соответственно на урезе воды и водозабора, м;

R – гидравлическое сопротивление, м.

В случае совершенной в фильтрационном отношении реки (т. е. при отсутствии на дне заиленного слоя) гидравлическое сопротивление, м, определяется по формуле

$$R = \ln \left[\operatorname{tg} \frac{\pi(\Delta m - d)}{2m_1} \operatorname{ctg} \frac{\pi d}{8m_1} \right], \quad (3.70)$$

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

d – приведенный диаметр водозабора, м.

Длина горизонтального водозабора, м, для обеспечения требуемого расхода

$$l_{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{тр}}}{Q} l, \quad (3.71)$$

где $l_{\text{тр}}$ – длина водозабора, обеспечивающего требуемый расход $Q_{\text{тр}}$;

l – длина водозабора, обеспечивающего расход Q .

Расстояние $L_{\text{тр}}$ от реки до водозабора, м, для обеспечения требуемого расхода $Q_{\text{тр}}$ (для схем, ограниченных одним прямолинейным контуром питания) определяется по формуле

$$L_{\text{тр}} = \frac{Q}{Q_{\text{тр}}} L + (\Phi + \Delta L) \frac{Q - Q_{\text{тр}}}{Q_{\text{тр}}}. \quad (3.72)$$

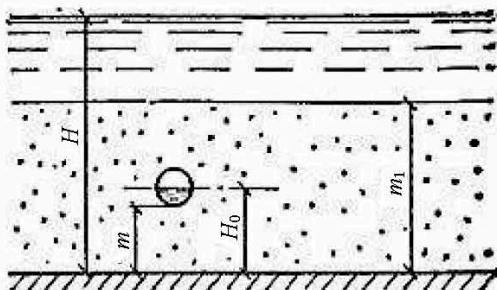


Рисунок 3.43 – Схема к расчету подруслового водозабора в однослойном водоносном пласте

При проектировании водоприемной части труб горизонтальных водозаборов необходимо назначить форму отверстий (круглые или щелевые) и их размер, определить их количество и схему размещения на поверхности трубы.

Диаметр круглых отверстий принимается равным 1–1,5 см, ширина щели – 0,5–1 см.

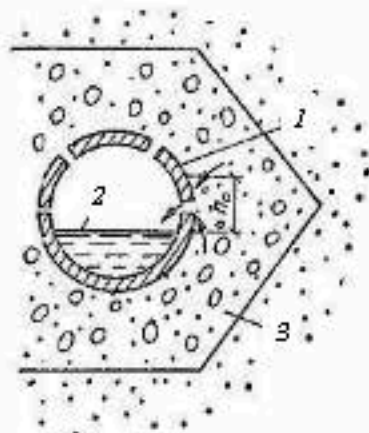
В кризотопцементных и пластмассовых трубах отверстия просверливаются или пропиливаются, в бетонных и железобетонных трубах – выполняются одновременно с изготовлением труб. Для этого в местах размещения отверстий закладываются просмоленные деревянные пробки, которые удаляются после схватывания бетона, 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 потери напора h_0 (рисунок 3.44), величина которых принимается 0,5–1 см исходя из обеспечения максимальной эффективности водоприемной поверхности.

Рисунок 3.44 – Схема истечения воды из фильтрующей обсыпки во внутреннюю полость водоприемной трубы:

- 1 – дренажные и дренажно-нагнетательные вод
2 – уровень воды в дренажно-нагнетательной трубе
3 – фильтрующая обсыпка



Количество отверстий, шт., на единицу длины трубы (например на 1 м)

$$n = \frac{q}{\mu_0 F_0 \sqrt{2 g h_0}}, \quad (3.73)$$

где q – приток воды на единицу длины водозабора, м³/с;

μ_0 – коэффициент расхода отверстия;

F_0 – площадь одного отверстия (или одной щели), м²;

h_0 – входные потери напора, м.

Коэффициент расхода μ_0 зависит от числа Re и отношения d_{17}/t_0 и принимается по таблице 3.20.

Таблица 3.20 – Коэффициент расхода μ_0

Re	d_{17}/t_0							
	0,4	0,65	1,0	1,2	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

Примечание – t_0 – диаметр отверстия или ширина щели, мм; d_{17} – диаметр частиц прилегающего слоя обсыпки, мм, соответствующий 17 % содержания 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

$$Re = \frac{t_0 \sqrt{2gh_0}}{\nu}, \quad (3.74)$$

где ν – коэффициент кинематический вязкости фильтрующейся воды, $\text{м}^2/\text{с}$, при температуре грунтовых вод 10°C можно принимать равным $1,31 \cdot 10^{-6}$.

3.10 Лучевые водозаборы

Лучевые водозаборы применяются:

а) в водоносных пластах мощностью 3–20 м, залегающих вблизи поверхности земли, или под дном водотока (водоема), или на глубине 15–20 м от земной поверхности;

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.

Лучевые водозаборы не рекомендуется применять:

а) в галечниковых грунтах при крупности фракций $d \geq 70$ 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.

3.10.1 Типы лучевых водозаборов

Лучевые водозаборы в зависимости от *расположения источника питания* подразделяются на виды:

- *подрусловый* – при размещении лучевого водозабора под дном реки с шахтой на берегу или в русле;
- *береговой* – то же на берегу или вблизи реки;
- *комбинированный* – то же на берегу реки, а горизонтальных скважин-фильтров – в береговой зоне и под руслом реки.

Лучевые водозаборы в зависимости от *конструктивного исполнения* бывают:

- с центральной водосборной буровой скважиной и одним ярусом горизонтальных скважин-фильтров;
- с центральным водосборным колодцем и одним ярусом горизонтальных скважин-фильтров;
- то же и многоярусным расположением горизонтальных скважин-фильтров на разных уровнях;
- комбинированные с одной или несколькими вертикальными и наклонными скважинами-усилителями, которые устраивают бурением из водосборного колодца, каптирующие нижележащий напорный водоносный горизонт подземных вод.

Лучевые водозаборы с *центральной водосборной колодцем и многоярусным расположением горизонтальных скважин-фильтров* на разных уровнях размещаются в неоднородных (в вертикальном разрезе) водоносных горизонтах для более полного использования водообильных горизонтов, а также в мощных однородных водоносных горизонтах, когда один ярус горизонтальных скважин-фильтров не обеспечивает необходимую производительность, а также когда увеличение количества, длины, диаметра и глубины заложения горизонтальных скважин-фильтров нецелесообразно или невозможно по конструктивным соображениям. Как правило, применяются двухъярусные лучевые водозаборы.

Для увеличения водопроницаемой поверхности водосборного колодца в его стенках и днище размещаются водоприемные окна с фильтровыми вставками, в том числе с загрузкой из пористых материалов.

3.10.2 Конструирование лучевых водозаборов

При сооружении лучевых водозаборов водоносный пласт полностью или частично прорезается шахтой, из которой бурят горизонтальные скважины-фильтры, радиально расходящиеся в виде лучей. Шахта служит для сбора воды из скважин (рисунок 3.45).

Водосборный колодец предназначен для сбора воды, забираемой из водоносного горизонта через горизонтальные скважины-фильтры лучевого водозабора. В колодце устанавливается насос для откачки воды, а до начала

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

Внутренний диаметр колодца принимается 1–6 м в зависимости от способа устройства горизонтальных скважин-фильтров и размеров строительного и эксплуатационного оборудования.

Отметка дна колодца принимается в зависимости от условий размещения водоподъемного оборудования и контрольно-измерительных приборов, а также с учетом устройства отстойника в нижней части колодца.

Минимальное расстояние от дна водосборного колодца до оси горизонтальных скважин-фильтров принимается не менее 1 м.

Водосборные колодцы устраиваются из сборного или монолитного железобетона либо бетона. Отверстия в стенке водосборного колодца для последующей прокладки горизонтальных скважин-фильтров проектируются в форме раструба (с расширением внутрь колодца), что позволяет при установке направляющих патрубков-кондукторов после устройства колодца компенсировать возникшие при устройстве колодца перекосы. С внешней стороны каждое отверстие закрывается стальным листом толщиной 1,5–2,0 мм, приваренным к арматуре.

Количество отверстий в стенке водосборного колодца принимается в 1,5–2,0 раза больше расчетного количества горизонтальных скважин-фильтров для замены или устройства дополнительных горизонтальных скважин-фильтров при необходимости увеличения производительности водозабора. Резервные отверстия устраиваются во втором ярусе, который размещается на 0,5–1,5 м выше основного яруса.

Лучевые водозаборы с центральной водосборной буровой скважиной проектируются диаметром 1–2 м. В обсадных трубах буровой скважины предусматриваются круглые отверстия, предназначенные для последующей прокладки горизонтальных скважин-фильтров. Отверстия перекрываются заглушками из тонкой листовой стали.

Лучевые водозаборы проектируются с водосборным колодцем, разделенным на две отдельные камеры посредством промежуточного горизонтального перекрытия. Одна из камер используется в качестве резервуара воды, другая, изолированная от первой, – для проведения работ по контролю и ремонту горизонтальных скважин без остановки работы водозабора.

В случае фильтрационной неоднородности водоносного горизонта в плане количество, направление и длина отдельных горизонтальных скважин-фильтров принимаются в зависимости от расположения более водопроницаемых горизонтов. При этом размещение скважин-фильтров (восходящих или нисходящих) может быть наклонным.

Количество, направление, глубина заложения и длина горизонтальных скважин-фильтров принимаются в зависимости от конкретных гидрогеологических, строительных и эксплуатационных условий.

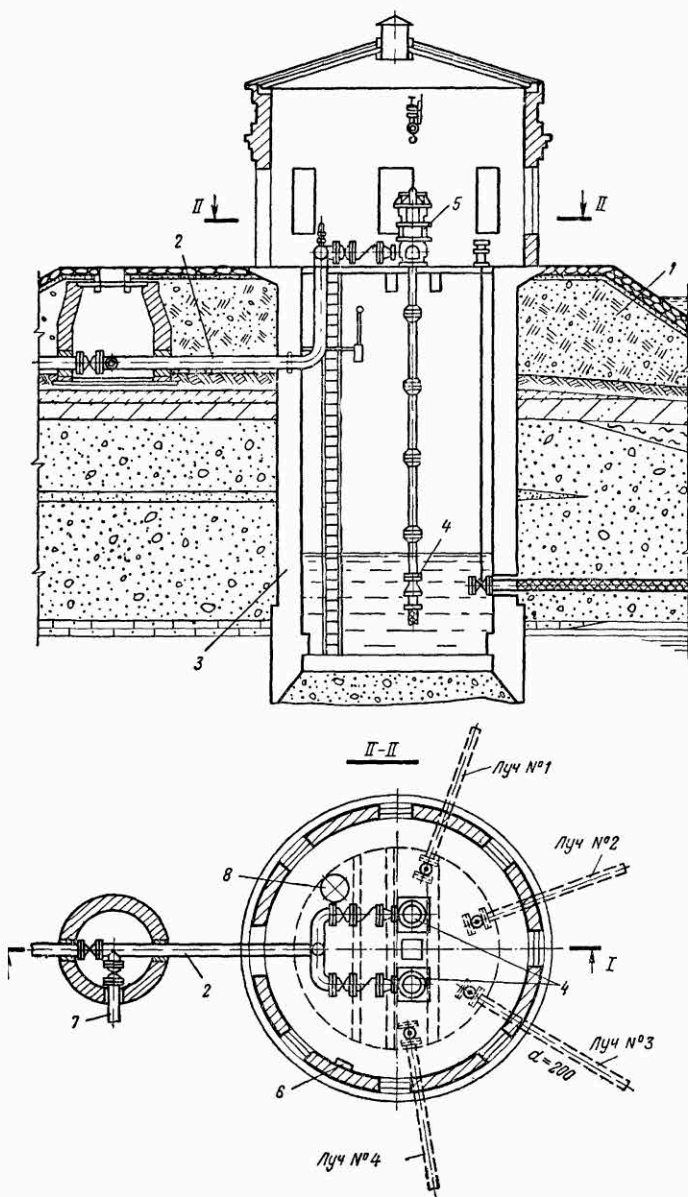


Рисунок 3.45 – Схема лучевого водозабора:

1 – подсыпка из грунта; 2 – напорный трубопровод; 3 – железобетонный шахтный колодец;
4 – насосы; 5 – электродвигатель; 6 – дифманометр; 7 – выпуск; 8 – люк

При длине горизонтальных скважин-фильтров лучевого водозабора менее 20 м в однородных водоносных горизонтах угол между горизонтальными скважинами-фильтрами по фильтрационным условиям принимается более 20°.

Лучевые водозаборы оснащаются водоподъемным оборудованием, соединительными, всасывающими и напорными водоводами, арматурой и контрольно-измерительной аппаратурой.

Для подъема воды из водосборного колодца применяются горизонтальные или вертикальные *насосы* (как правило, центробежные скважинные погружные насосные агрегаты). Горизонтальные центробежные насосные агрегаты устанавливаются на перекрытии, расположенном внутри водосборного колодца над уровнем поверхности воды.

В лучевых водозаборах используются вакуумные системы с подключением вакуум-насосов к устьям горизонтальных скважин-фильтров, располагаемых в маловодообильных горизонтах с низкой водоотдачей.

Для регулирования забора воды отдельными скважинами-фильтрами и возможности производства ремонтных работ в устьях скважин устанавливаются *задвижки*.

В устьях скважин-фильтров для наблюдения за расходом и напором воды устанавливаются *водомерные* и *пьезометрические приборы*. В водосборном колодце также устанавливается *уровнемер*, а на напорной трубе насоса – **водомер** для систематического наблюдения за уровнем воды и производительностью лучевого водозабора.

3.10.3 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 необходимо учитывать:

- оптимальное количество горизонтальных скважин-фильтров, равномерно расположенных по периметру водосборного колодца (принимается от трех до семи);
- производительность лучевого водозабора должна быть не прямо пропорциональна увеличению длины горизонтальных скважин-фильтров;
- на производительность лучевого водозабора, как правило, влияет длина, количество и глубина заложения горизонтальных скважин-фильтров, чем их диаметр и наружный диаметр водосборного колодца.

Дебит лучевого водозабора, м³/сут,

$$Q = 2\pi k m S \left(\frac{1}{R_g} + \frac{1}{R_n} \right), \quad (3.75)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/сут;

m – мощность пласта, м;

S – понижение уровня воды в водосборном колодце лучевого водозабора, м;

R_6, R_n – фильтрационные сопротивления радиальной системы соответственно береговых и подрусловых горизонтальных скважин.

Понижение уровня воды в водосборном колодце лучевого водозабора, м,

$$S = H_e - H_0, \quad (3.76)$$

где H_e, H_0 – напор воды, соответственно в водоносном пласте до начала откачки и в водосборном колодце при эксплуатации лучевого водозабора (статический и динамический уровни воды), м.

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, м/сут,

$$R_6 = (\ln V_r + 2\eta \ln V_T) \frac{m}{lkN_6}, \quad (3.77)$$

где V_r, V_T – параметры, определяемые по формулам (3.78, 3.79),

$$V_r = \frac{lV}{1,36r_0}; \quad (3.78)$$

$$V_T = \frac{l + \sqrt{l^2 + 4m^2}}{2m} V; \quad (3.79)$$

V – коэффициент, определяемый по формуле

$$V = \sqrt{\frac{4L - l}{4L + l}}, \quad (3.80)$$

r_0 – радиус луча, м.

L – расстояние от вертикальной оси водосборного колодца до уреза воды в водоеме (водотоке), м;

l – длина луча, м.

η – коэффициент, принимается по таблице 3.21;

N_6 – число лучей водозабора, расположенных равномерно по кругу, шт.

Значения коэффициентов взаимодействия лучей k и η приведены в таблице 3.21.

Таблица 3.21 – Значения коэффициентов k и η

Параметр	l/m				
	2	4	6	8	10
N_6	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 η				
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

3.11 Шахтные колодцы и каптажи

3.11.1 Конструирование и расчет шахтных колодцев

Шахтные колодцы предназначены для добычи подземных вод из первого от поверхности земли безнапорного водоносного горизонта. 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 представляют собой вертикальные выработки с большими размерами поперечного сечения по сравнению с водозаборными скважинами. Их применение ограничено эксплуатацией подземных вод водоносных горизонтов, залегающих на сравнительно небольших глубинах, обычно до 30 м.

Шахтные колодцы *применяются* для водоснабжения мелких потребителей – небольших населенных пунктов и отдельных строений в сельской местности, фермерских хозяйств, полевых станов, ферм и т. п.

Для централизованного водоснабжения крупных потребителей шахтные колодцы практически не применяются, так как производительность одного шахтного колодца обычно не превышает 5–15 м³/сут.

Их устраивают в виде вертикальных шахт с круглым, квадратным или прямоугольным сечением.

Схема шахтного колодца приведена на рисунке 3.46.

Вода из водоносного горизонта проходит гравийный фильтр 7 и поступает в ствол колодца 6, откуда через всасывающий трубопровод 5 насосом 4 по напорному трубопроводу 8 подается потребителям. Насосная установка оборудуется контрольно-измерительной аппаратурой, предохранительной и запорной арматурой.

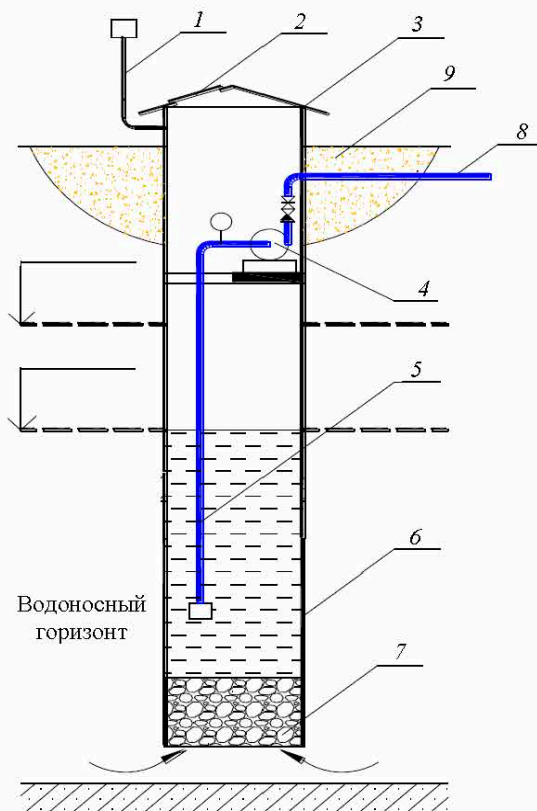


Рисунок 3.46 – Схема шахтного колодца:
 1 – вентиляционная труба; 2 – люк; 3 – оголовок;
 4 – насос; 5 – всасывающий трубопровод; 6 – ствол колодца;
 7 – гравийный фильтр; 8 – напорный трубопровод;
 9 – «замок» из утрамбованной глины

Для предотвращения попадания атмосферных осадков, загрязнений в виде опавшей листвы над шахтным колодцем сооружается павильон с люком 2. Загрязнению воды в колодце поверхностными сточными водами препятствуют замок из утрамбованной глины 9 и отстойка с уклоном от ствола. Производительность шахтного колодца может быть повышена путем увеличения площади фильтра, для этого в боковой нижней части ствола делаются отверстия и устраивается гравийный фильтр.

Ствол шахтных колодцев устраивается из бетонных или железобетонных колец по СТБ 1077 [17], но также допускается использовать каменную и кирпичную кладку, деревянные элементы.

Оголовок колодца оборудуется крышкой или железобетонным перекрытием с люком, закрываемым крышкой. Над оголовком размещается навес или будка.

Водосборная часть шахтного колодца при малой мощности водоносного горизонта, полностью вскрываемого шахтой (*совершенные шахтные колодцы*), устраивается в горных породах, подстилающих водоносный горизонт. В шахтных колодцах, вскрывающих часть водоносного горизонта (*несовершенные шахтные колодцы*), водосборная часть устраивается совмещенной с водоприемной частью.

Водоприемная часть в зависимости от глубины колодца и гидрогеологических условий может устраиваться в дне, стенках, дне и стенках шахтного колодца.

При приеме воды *через дно* устраивается песчано-гравийный фильтр или на дне колодца размещается плита из пористого бетона.

При приеме воды *через стенки* шахтного колодца в них предусматриваются отверстия, заполненные пористым бетоном или гравийным фильтром.

В песчаных и плывунных грунтах для крепления стенок шахтных колодцев железобетонные кольца принимаются с уменьшенными размерами по СТБ 1077 [17], а донный фильтр устраивается в виде бетонной армированной плиты, укладываемой на щебеночно-гравийную обсыпку.

Высота водоприемной части колодца определяется в зависимости от требуемого объема запаса воды и высоты столба воды в колодце, необходимой для обеспечения нормальных условий работы насосного агрегата.

Конструкции шахтных колодцев рассчитываются на *нагрузки*:

– *постоянную* – нагрузку от собственного веса конструкций и нагрузку от давления грунта;

– *временную* – нагрузку от движения транспорта.

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 $R / H < 10$

$$Q = 4KrS; \quad (3.81)$$

– только через дно и $H \geq 2r$

$$Q = \frac{2\pi KrS}{\frac{\pi}{r} + \frac{r}{m} \left(1 + 1,18 \lg \frac{R}{4H} \right)}; \quad (3.82)$$

– через дно и стенки и $R/H2 > 10$ приток равен сумме расходов, определенным по формулам

$$Q = \frac{\pi K r (2H - S) S}{\ln 1,65 \frac{R}{r} + \zeta}; \quad (3.83)$$

$$Q = \frac{1,36 K (2H - S) S}{\lg \frac{R}{r}}, \quad (3.84)$$

где K – коэффициент фильтрации водоносного грунта;

r – внутренний радиус круглого колодца, м;

S – понижение уровня воды в колодце, м;

H – мощность водоносного пласта, м;

m – расстояние от дна колодца до водоупора, м;

R – радиус влияния колодца, м;

ζ – дополнительное сопротивление, учитывающее несовершенство колодца,

$$\zeta = f\left(\frac{l}{m}, \frac{m}{r}\right); \quad (3.85)$$

$$m = H - \frac{S}{2}. \quad (3.86)$$

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

3.11.2 Каптаж родников

Каптаж родников предназначен для захвата подземных вод и их сбора в местах выхода на поверхность земли. В месте выхода подземных вод на поверхность земли проектируется *каптажная камера*, конструкция которой принимается в зависимости от типа родника:

– при выходе родника из трещиноватых пород каптажные камеры проектируются без фильтров;

– из рыхлых пород – с фильтрами.

Для каптажа нисходящих родников предусматриваются *водоулавливающие стенки-барражи*, вдоль которых со стороны потока подземных вод устраивается призма из фильтрующего материала, сопрягающегося с обратным фильтром каптажной камеры (рисунок 3.47).

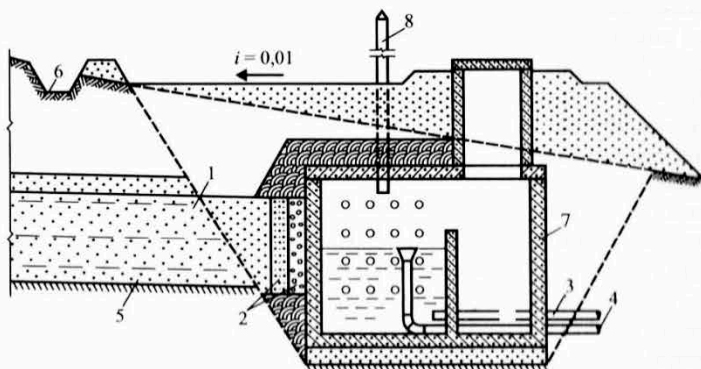


Рисунок 3.47 – Схема каптажной камеры:

- 1 – водоносный горизонт; 2 – обратный гравийно-песчаный фильтр; 3 – водозаборная труба;
4 – переливная груба; 5 – водоупор; 6 – дренажная канава; 7 – железобетонная каптажная камера; 8 – вентиляционный стояк

Для каптажа восходящих родников забор воды осуществляют в соответствии с ее движением снизу вверх, через днище каптажной камеры.

При выходе восходящего родника из водоносного горизонта, сложенного скальными трещиноватыми, но прочными горными породами, для приема воды в каптажную камеру через ее днище устраивается один слой фильтрующего материала (крупного гравия, гальки или щебня).

При выходе восходящего родника из рыхлых водоносных горных пород, в особенности из песков, под днищем камеры устраиваются обратные фильтры, обеспечивающие предотвращение выноса мелких частиц грунта из водоносного горизонта.

Каптажные камеры для приема воды из восходящих и нисходящих родников проектируются из сборных железобетонных колец диаметром 1,5 м, с обустройством горловины и люка. Между горловиной и камерой размещается железобетонный конус. В каптажной камере для приема воды из нисходящих родников предусматривается водонепроницаемое днище.

Увеличение дебита подземных вод из нисходящих родников может быть достигнуто за счет устройства улавливающих стенок из глинистого грунта, вдоль которых для свободного стока воды в каптажные камеры устраивается призма из фильтрующего материала.

При невозможности подачи воды из каптажной камеры водопотребителю самотеком проектируется насосная станция, которая пристраивается к каптажной камере или размещается в отдельном здании в непосредственной близости от камеры или возле резервуара для сбора воды от нескольких каптажных камер.

Дебит каптажных сооружений определяется на основе наблюдений за режимом выхода родниковых вод. В качестве расчетного принимается расход той обеспеченности не менее 95–97 %.

4 ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ

4.1 Содержание проекта зон санитарной охраны

Согласно требованиям водного законодательства, для бытового и хозяйственно-питьевого водоснабжения должна быть предусмотрена охрана поверхностных и подземных вод от загрязнений с установлением соответствующих зон санитарной охраны (ЗСО) для обеспечения их санитарно-эпидемиологической надежности.

При **установлении границ поясов зон санитарной охраны (ЗСО)** источников и централизованных систем питьевого водоснабжения, обосновании режима и комплекса мероприятий в пределах каждого пояса необходимо *учитывать*:

- вид источника (поверхностный или подземный) и состояние централизованной системы питьевого водоснабжения (проектируемая или действующая);
- степень защищенности источника от поверхностного загрязнения для различных гидрогеологических условий;
- характер загрязнения (микробное или химическое);
- гидрогеологические или гидрологические условия.

Решение о возможности организации ЗСО необходимо принимать на стадии разработки градостроительного проекта при выборе источника.

При выборе источника для отдельного объекта возможность организации ЗСО следует определять на стадии выбора земельного участка для строительства проектируемого водозабора.

Проект ЗСО подлежит государственной санитарно-гигиенической экспертизе.

Проект ЗСО содержит:

- планово-картографические материалы с нанесением границ поясов ЗСО источников, водопроводных сооружений и санитарно-защитной полосы (СЗП) водоводов;
- пояснительную записку с обоснованием границ поясов ЗСО источников, водопроводных сооружений и СЗП водоводов, а также особенности режимных мероприятий в их пределах;
- проект решения местных исполнительных и распорядительных органов, определяющий перечень мероприятий по улучшению санитарного состояния территории ЗСО и предупреждению загрязнения источника, согласованных с землепользователями, сроки их исполнения и ответственных исполнителей.

Планово-картографические материалы проекта ЗСО включают:

- ситуационный план с границами второго и третьего поясов ЗСО, местами водозаборов и площадок водопроводных сооружений, источника и бассейна его питания (с притоками) в масштабе 1:50 000 – 1:100 000 (при поверхностном источнике) и 1:10 000 – 1:25 000 (при подземном);
- план первого пояса ЗСО в масштабе 1:500 – 1:1 000;
- план второго и третьего поясов ЗСО в масштабе 1:10 000 – 1:25 000 (при подземном источнике) и 1:25 000 – 1:50 000 (при поверхностном) с нанесением всех расположенных на данной территории объектов;
- гидрогеологические профили по характерным направлениям в пределах области питания водозабора (при подземном источнике).

К пояснительной записке прилагаются:

- характеристика санитарного состояния источника, результаты лабораторных исследований воды источников – не менее трех проб воды в каждом сезоне;
- гидрологические данные (основные параметры и их динамика во времени) – при поверхностном источнике водоснабжения;
- гидрогеологические данные (основные параметры и их динамика во времени) – при подземном источнике водоснабжения;
- характеристика взаимовлияния подземного источника и поверхностного водного объекта (при наличии гидравлической связи);
- данные о перспективах строительства в районе расположения источника.

ЗСО источников и централизованных систем питьевого водоснабжения устанавливаются в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями к содержанию и эксплуатации источников и систем питьевого водоснабжения [8] и включают три пояса:

- *первый* – пояс ЗСО, предназначенный для защиты водозабора, участков расположения водопроводных сооружений и водоводов от повреждения, а источника – от загрязнения;
- *второй* – пояс ЗСО, предназначенный для предупреждения микробного загрязнения воды источника;
- *третий* – пояс ЗСО, предназначенный для предупреждения химического загрязнения воды источников.

4.2 Зоны санитарной охраны поверхностных источников водоснабжения

Границы первого пояса ЗСО для сооружений забора воды из поверхностных источников водоснабжения устанавливаются с учетом местных санитарно-топографических и гидрологических условий, второго и третьего поясов ЗСО – природных, климатических и гидрологических условий.

Первый пояс ЗСО поверхностного источника включает участок акватории и прилегающую береговую зону поверхностного источника, в пределах которых расположены сооружения водоприемника, сеточного берегового коллодца, раздельной или совмещенной насосной станции первого подъема и других сооружений (рисунок 4.1).

Водотоки.

Границы первого пояса ЗСО устанавливаются на расстоянии:

- 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 летне-осенней межени;

- в направлении к противоположному от водозабора берегу при ширине водотока менее 100 м – вся акватория и противоположный берег шириной 50 м от линии уреза воды при летне-осенней межени; при ширине водотока более 100 м – полоса акватории шириной не менее 100 м.

Границы второго пояса ЗСО устанавливаются:

- вверх по течению от водозабора (включая притоки) – исходя из скорости движения воды, усредненной по ширине и длине водотока или для отдельных его участков (при резких колебаниях скорости течения), чтобы время протекания воды от границы пояса до водозабора при среднемесечном расходе воды 95 % обеспеченности было не менее 5 суток;

- вниз по течению от водозабора – исходя из исключения влияния ветровых обратных течений, но не менее 250 м от водозабора;

- боковые границы – на расстоянии не менее 500 м от линии уреза воды при летне-осенней межени.

Границы третьего пояса ЗСО должны вверх и вниз по течению совпадать с границами второго пояса, боковые границы – проходить по линии водоразделов в пределах 3–5 километров, включая притоки.

Водоемы (водохранилища, озера).

Границы первого пояса ЗСО устанавливаются на расстоянии:

- по акватории во всех направлениях – не менее 100 м от водозабора;

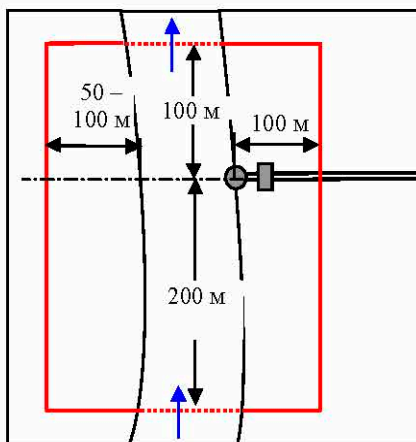


Рисунок 4.1 – Установление границ первого пояса ЗСО

– по прилегающему к водозабору берегу – не менее 100 м от линии уреза воды при летне-осенней межени.

На водозаборах ковшевого типа в пределы первого пояса ЗСО должна включаться вся акватория ковша и территория вокруг него полосой не менее 100 метров.

Границы второго и третьего поясов ЗСО должны полностью совпадать и устанавливаются на расстоянии:

– по акватории во всех направлениях – на расстоянии 3 км от водозабора при наличии нагонных ветров до 10 % в сторону водозабора и 5 км при наличии нагонных ветров более 10 %;

– боковые границы – на расстоянии не менее 500 м от линии уреза воды при летне-осенней межени.

Территория первого пояса ЗСО поверхностного источника питьевого водоснабжения должна быть спланирована для отвода поверхностного стока за ее пределы, озеленена, ограждена и обеспечена охраной для предотвращения попадания на территорию посторонних. Дорожки к сооружениям должны иметь твердое покрытие.

Здания на территории первого пояса ЗСО должны быть оборудованы канализацией с отведением сточных вод в ближайшую систему бытовой или производственной канализации либо на местные станции очистных сооружений, расположенные за пределами первого пояса, с учетом санитарного режима на территории второго пояса.

В исключительных случаях при отсутствии канализации должны устраиваться водонепроницаемые приемники сточных вод и бытовых отходов, расположенные в местах, исключающих загрязнение территории первого пояса ЗСО при их вывозе.

Акватория первого пояса ограждается буями и другими предупредительными знаками. На судоходных водоемах над водоприемником следует устанавливать бакены с освещением.

На территории второго пояса ЗСО запрещается строительство зданий и сооружений, которые могут вызвать ухудшение качества воды. Сточные воды, отводимые в водный объект в районе второго пояса, должны иметь повышенную степень очистки. Во втором и третьем поясе запрещается загрязнять водоемы и территорию мусором, навозом, ядохимикатами, промышленными отходами, нечистотами. Запрещается использовать химические методы борьбы с зарастанием каналов и водохранилищ, организовывать стойбища и выпас скота. При наличии судоходства должен быть организован надзор за выполнением мероприятий по предупреждению загрязнений водоемов, вносимых речным транспортом. Запрещается разработка недр земли.

В третьем поясе должен осуществляться контроль за населенными пунктами и промышленными предприятиями во избежание загрязнения источников водоснабжения.

4.3 Зоны санитарной охраны подземных источников водоснабжения и водозаборных сооружений

Граница первого пояса определяется компоновочной схемой расположения сооружений на участке водозабора.

Границы первого пояса ЗСО водозабора подземных вод должны устанавливаться от источника водозабора на расстоянии не менее:

- 30 м – при использовании защищенных подземных вод;
- 50 м – при использовании недостаточно защищенных подземных вод.

Если в группе подземных водозаборов расстояние между скважинами более 30 м и 50 м для защищенных и недостаточно защищенных подземных вод соответственно, первый пояс для скважин огораживается отдельно.

Для водозаборов с использованием защищенных подземных вод, расположенных в пределах территории объекта, исключающего возможность загрязнения почвы и подземных вод, расстояние от водозабора до границы первого пояса ЗСО допускается уменьшать до 15 м при наличии гидрогеологического обоснования, содержащего благоприятный прогноз соответствия качества воды требованиям безопасности в течение расчетного срока.

К защищенным подземным водам относятся воды напорных и безнапорных водоносных горизонтов, имеющих в пределах всех поясов зоны санитарной охраны сплошную водоупорную кровлю, исключающую возможность местного питания из вышележащих недостаточно защищенных водоносных горизонтов.

К недостаточно защищенным подземным водам относятся:

- воды первого от поверхности земли безнапорного водоносного горизонта, получающего питание на площади его распространения;
- воды напорных и безнапорных водоносных горизонтов, которые в естественных условиях или в результате эксплуатации водозабора получают питание на площади зоны санитарной охраны из вышележащих недостаточно защищенных водоносных горизонтов через гидрогеологические окна или проницаемые породы кровли, а также из водотоков и водоемов путем непосредственной гидравлической связи.

В границы первого пояса зоны санитарной охраны подземных источников питьевого водоснабжения инфильтрационных водозаборов необходимо включать прибрежную территорию между водозабором и водоемом, если расстояние между ними менее 150 м.

Границы второго пояса определяются в соответствии с гидрогеологическими методами, установленными техническими нормативными правовыми актами, учитывающими время продвижения микробного загрязнения до водозабора (T_m).

Для природно-климатических условий Республики Беларусь T_m в зависимости от степени естественной защищенности подземных вод принимается:

- 400 суток – для недостаточно защищенных подземных вод;

– 200 суток – для защищенных подземных вод.

Для приближенных расчетов расстояние до границы второго пояса, м,

$$R = \sqrt{\frac{QT_m}{\pi mn}}, \quad (4.1)$$

где Q – производительность водозабора, м³/сут;

T_m – расчетное время продвижения микробного загрязнения с потоком подземных вод к водозабору, сут, т. е. время, достаточное для утраты патогенными и болезнетворными микроорганизмами жизнеспособности и вирулентности;

m – мощность водоносного пласта, м;

n – пористость пород водоносного пласта.

Границы третьего пояса определяются в соответствии с гидрогеологическими методами, установленными техническими нормативными правовыми актами, учитывающими время продвижения химического загрязнения до водозабора (T_x). При этом T_x должно быть более расчетного срока эксплуатации водозабора, но не менее 25 лет.

Расстояние до границы третьего пояса, м,

$$R = \sqrt{\frac{365QT_x}{\pi mn}}, \quad (4.2)$$

где T_x – время продвижения химического загрязнения с потоком подземных вод к водозабору, лет, т. е. время, в течение которого химический состав воды подземного источника будет оставаться стабильным в течение расчетного срока эксплуатации водозабора (принимается 25 лет).

Для инфильтрационного водозабора подземных вод границы второго и третьего поясов зоны санитарной охраны устанавливаются так же, как и для поверхностного источника питьевого водоснабжения, питающего его.

По истечении расчетного срока эксплуатации водозабора должен осуществляться пересчет границ ЗСО с учетом переоценки эксплуатационных запасов подземных вод.

Водопроводные сооружения, расположенные в **первом поясе ЗСО подземного источника питьевого водоснабжения**, должны быть оборудованы таким образом, чтобы предотвратить возможное загрязнение питьевой воды через оголовки и устья скважин, люки и переливные трубы резервуаров и устройств заливки насосов.

Все водозаборы должны быть оборудованы аппаратурой для систематического контроля за соответствием фактического дебита при эксплуатации водопровода проектной производительности, предусмотренной при его

проектировании и обосновании границ зоны санитарной охраны подземного источника питьевого водоснабжения.

В первом поясе ЗСО подземного источника *запрещается*:

- размещение жилых и хозяйственно-бытовых зданий и проживание людей;

- спуск любых сточных вод, стирка белья, водопой и выпас скота;

- применение ядохимикатов и удобрений;

- посадка высокоствольных деревьев;

- все виды строительства, не имеющие непосредственного отношения к эксплуатации, реконструкции и расширению водопроводных сооружений.

В пределах второго пояса ЗСО подземного источника питьевого водоснабжения *необходимо*:

- выявлять старые, бездействующие, дефектные или неправильно эксплуатируемые скважины, которые могут привести к загрязнению водоносных горизонтов, и проводить их тампонаж или восстановление;

- производить бурение новых скважин и новое строительство, связанное с нарушением почвенного покрова, при обязательном согласовании с органами государственного санитарного надзора и органами государственного управления по природным ресурсам и охране окружающей среды;

- выполнять мероприятия по санитарному благоустройству территории населенных пунктов и других объектов (оборудование канализацией, устройство водонепроницаемых выгребов, организация отвода поверхностного стока и др.);

- своевременно выполнять необходимые мероприятия по санитарной охране поверхностных вод, имеющих непосредственную гидрологическую связь с используемым водоносным горизонтом, в соответствии с санитарными нормами и правилами.

Во втором поясе ЗСО подземного источника *запрещается*:

- размещение складов горюче-смазочных материалов, ядохимикатов и минеральных удобрений, накопителей промышленных сточных вод, шламохранилищ и других объектов, обуславливающих опасность химического загрязнения подземных вод;

- размещение кладбищ, скотомогильников, полей ассенизации, полей фильтрации, навозохранилищ, силосных траншей, животноводческих и птицеводческих предприятий и других объектов, обуславливающих микробное загрязнение подземных вод;

- применение ядохимикатов и удобрений;

- закачка отработанных вод в подземные горизонты, подземное складирование твердых отходов производства и потребления, а также разработка недр;

- рубка леса главного пользования и реконструкции.

В пределах третьего пояса ЗСО подземных источников питьевого водоснабжения *необходимо*:

- выявлять старые, бездействующие, дефектные или неправильно эксплуатируемые скважины, которые могут привести к загрязнению водоносных горизонтов, и производить их тампонаж или восстановление;

- производить бурение новых скважин и новое строительство, связанное с нарушением почвенного покрова, при обязательном согласовании с органами государственного санитарного надзора и органами государственного управления по природным ресурсам и охране окружающей среды;

- своевременно выполнять необходимые мероприятия по санитарной охране поверхностных вод, имеющих непосредственную гидрологическую связь с используемым водоносным горизонтом, в соответствии с санитарными правилами и нормами.

В третьем поясе ЗСО подземного источника *запрещается*:

- размещение складов горюче-смазочных материалов, ядохимикатов и минеральных удобрений, накопителей промстоков, шламохранилищ и других объектов, обуславливающих опасность химического загрязнения подземных вод (размещение указанных объектов может быть разрешено по согласованию с органами государственного надзора и органами государственного управления по природным ресурсам и охране окружающей среды только при использовании защищенных подземных вод и при условии выполнения специальных мероприятий по защите водоносного горизонта от загрязнения);

- закачка отработанных вод в подземные горизонты, подземное складирование твердых отходов производства и потребления, а также разработка недр.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 Перечислите основные показатели состава и свойств воды из поверхностных источников для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

2 Охарактеризуйте легкие условия забора воды из поверхностных источников.

3 Охарактеризуйте средние условия забора воды из поверхностных источников.

4 Охарактеризуйте тяжелые условия забора воды из поверхностных источников.

5 Назовите и охарактеризуйте основные категории надежности водозаборных сооружений.

6 При каких водоотборах из рек равнинного типа можно применять обычные береговые или русловые водозаборы?

7 Перечислите требования, предъявляемые к источнику водоснабжения.

8 От чего зависит выбор месторасположения водозаборных сооружений?

9 Как следует располагать водозаборные сооружения в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения?

10 Основные технологические схемы водозаборных сооружений.

11 Как определить отметку площадки для строительства берегового водоприемника или колодца?

12 Укажите область и перечислите условия применения водозаборных сооружений с русловым водоприемником.

13 Укажите область и перечислите условия применения водозаборных сооружений с береговым водоприемником.

14 По какой формуле определяется производительность водозаборного сооружения?

15 По какой формуле определяется расчетный расход одной секции водозаборного сооружения?

16. По какой формуле определяется аварийный расход в работающих секциях водозабора?

17 По какой формуле определяется площадь водоприемного отверстия (брутто) одной секции водозаборного сооружения?

18 Какая должна быть скорость втекания в водоприемные отверстия водозаборных сооружений без учета требований рыбозащиты?

19 Какая должна быть скорость втекания в водоприемные отверстия водозаборных сооружений с учетом требований рыбозащиты?

20 При каких условиях применяют плоские сетки на водозаборах?

21 При каких условиях применяют вращающиеся сетки на водозаборных сооружениях?

22 Какие бывают вращающиеся сетки по способу подвода воды к ним?

23 Какие бывают вращающиеся сетки по конструктивным параметрам?

24 По какой формуле можно определить площадь отверстий (брутто) для сеток водозаборных сооружений?

25 По какой формуле можно определить площадь отверстия (брутто) для вращающихся сеток водозаборных сооружений?

26 Чему равна допустимая скорость втекания в плоские сетки водозаборных сооружений?

27 Чему равна допустимая скорость втекания во вращающиеся сетки водозаборных сооружений?

28 Какой должна быть экономичная скорость движения воды в самотечных и сифонных водоводах для I категории надежности?

29 Какой должна быть экономичная скорость движения воды в самотечных и сифонных водоводах для II и III категорий надежности?

30 По какой формуле можно определить диаметр самотечных или сифонных водоводов?

31 Назовите три основные проверки правильности выбора диаметра самотечных линий с учетом экономичной скорости движения воды в них.

32 Какие параметры влияют на величину незаияющей скорости движения воды в самотечных линиях водозабора?

33 Чему равен нормативный коэффициент устойчивости самотечных линий к всплытию?

34 Какие бывают виды промывок самотечных линий?

35 В каких случаях устраиваются сифонные линии вместо самотечных?

36. Классификация водоприемников водозаборных сооружений по способу приема воды.

37 Классификация водоприемников водозаборных сооружений по месту расположения.

38 Классификация водоприемников водозаборных сооружений по конструктивным особенностям.

39 Классификация водоприемников водозаборных сооружений по расположению водоприемника.

40 Классификация водоприемников водозаборных сооружений по расположению водоприемных отверстий и направлению втекания в них.

41 По какой формуле можно определить минимальную глубину воды в реке для размещения водоприемника для летнего периода?

42 По какой формуле можно определить минимальную глубину воды в реке для размещения водоприемника для зимнего периода?

43 Чему равны нормативные коэффициенты статической устойчивости оголовка соответственно на сдвиг $k_{сдв}$ и опрокидывание $k_{опр}$?

44 От чего зависит выбор количества резервных агрегатов в насосных станциях I подъема?

45 По какой формуле определяется производительность насосной станции I подъема?

- 46 Как определить подачу одного насоса в насосной станции I подъема?
- 47 По какой формуле можно определить полную высоту подъема насосами насосной станции I подъема при подаче воды на очистные сооружения?
- 48 По какой формуле можно определить максимальную отметку оси насосов?
- 49 По какой формуле можно определить полную высоту подъема насосами насосной станции I подъема при подаче воды непосредственно в водопроводную сеть?
- 50 По каким основным характеристикам осуществляют выбор насосов насосной станции I подъема?
- 51 Перечислите меры борьбы с льдообразованием на решетках водоприемных отверстий.
- 52 Для чего служит подъемно-транспортное оборудование на водозаборах?
- 53 Какие типы и виды грузоподъемного оборудования существуют?
- 54 Что относится к основному оборудованию сооружений для забора воды из поверхностных источников водоснабжения?
- 55 Что относится к вспомогательному оборудованию сооружений для забора воды из поверхностных источников водоснабжения?
- 56 Для чего служит гидроэлеватор?
- 57 По какой формуле можно определить диаметр всасывающих трубопроводов?
- 58 На какую пропускную способность рассчитываются всасывающие линии насосных станций?
- 59 На какую пропускную способность рассчитываются напорные линии насосных станций?
- 60 По какой формуле можно определить диаметр напорных труб?
- 61 Какие вы знаете зоны санитарной охраны водозаборных сооружений для поверхностных источников водоснабжения?
- 62 Как устанавливаются границы первого пояса зон санитарной охраны?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Водный кодекс Республики Беларусь : 30 апреля 2014 г. № 149 : принят Палатой представителей 2 апр. 2014 г. : одобр. Советом Респ. 11 апр. 2014 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 17 июля 2023 г. № 296-З // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 23.10.2024).
- 2 Об утверждении гигиенических нормативов : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 25 янв. 2021 г. № 37 : в ред. от 29 нояб. 2022 г. № 829 // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 20.09.2024).
- 3 ГеоНП 17.05.03-001-2020, ВУ Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Требования к проекту консервации, расконсервации, ликвидации буровых скважин, предназначенных для добычи подземных вод : утв. М-вом природ. ресурсов и охраны окр. среды Респ. Беларусь 16 апр. 2020 г. № 3-Т : введ. 1 авг. 2020 г. – Минск, 2020. – 16 с.
- 4 О Государственной программе «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 28 авг. 2021 г. № 50 : в ред. от 18 дек. 2024 г. № 968 // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 27.12.2024).
- 5 Данилович, Д. А. Водозаборы. Сооружения водоподготовки / Д. А. Данилович // Справочник наилучших эффективных технологий (Базовые материалы). – М., 2015. – 111 с.
- 6 СН 4.01.01–2019 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – Введ. 2020.08.01 – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 85 с.
- 7 ЭкоНП 17.01.06–001–2017 Экологические нормы и правила Республики Беларусь. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности : утв. постановлением М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 18 июля 2017 г. № 5-Т. – Минск, 2017. – 244 с.
- 8 Об утверждении специфических санитарно-эпидемиологических требований к содержанию и эксплуатации источников и систем питьевого водоснабжения : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 19 дек. 2018 г. № 914; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 6 февр. 2024 г. № 85 // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 25.09.2024).
- 9 Об утверждении санитарных норм и правил «Санитарно-эпидемиологические требования к охране подземных водных объектов, используемых в питьевом водоснабжении, от загрязнения» : постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 16 дек. 2015 г. № 125 : в ред. от 6 февр. 2024 г. № 85 // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 20.10.2024).
- 10 Стратегия в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2035 года : утв. М-вом природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 24 дек. 2021 г. № 370-ОД. – Минск, 2021. – 25 с.
- 11 СП 4.01.03-2022, ВУ Водозаборные сооружения: строительные правила Республики Беларусь : утв. М-вом архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь 30.12.22 : введ. 2023.10.03. – Минск : Минстройархитектуры, 2023. – 74 с.
- 12 СП 4.01.05-2023, ВУ Насосные станции систем водоснабжения : строительные правила Республики Беларусь : утв. М-вом архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь 08.08.23 : введ. 2023.10.10 – Минск : Минстройархитектуры, 2023. – 52 с.

13 Национальный статистический комитет Республики Беларусь : [сайт]. – Минск, 1998–2024. – URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makro-ekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/c-vodnye-resursy/s-2-zabor-presnyh-vod/> (дата обращения: 19.09.2024).

14 Кодекс Республики Беларусь о недрах : 14 июля 2008 г. № 406-З : принят Палатой представителей 10 июня 2008 г. : одобр. Советом Респ. 20 июня 2008 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 5 марта 2024 г. № 357-З // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 23.09.2024).

15 **Шевелев, Ф. А.** Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: справ. пособие. / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев – 8-е изд., доп. и перераб. – М. : БАС-ТЕТ, 2008. – 352 с.

16 **Продоус, О. А.** Таблицы для гидравлического расчета труб напорных из полиэтилена : справ. пособие / О. А. Продоус. – 3-е изд., доп. – СПб : Свое изд-во, 2017. – 240 с.

17 СТБ 1077-97. ВУ Изделия бетонные и железобетонные для колодцев канализационных, водопроводных и газопроводных сетей. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 8020-90 (на территории Респ. Беларусь) ; введ. 2016.11.01. – Минск : Госстандарт, 2015. – 8 с.

18 **Новикова, О. К.** Реконструкция систем водоснабжения и канализации : учеб. пособие для вузов / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 210 с.

Учебное издание

РАТНИКОВА Анна Михайловна
НОВИКОВА Ольга Константиновна

ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Учебное пособие

Редактор *Е. Г. Привалова*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 28.05.2025 г. Формат 60х84 $\frac{1}{16}$.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 14.88. Уч.-изд. л. 15.06. Тираж 70 экз.
Зак. № 976. Изд. № 15.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель