ВНИИ ВОДГЕО ГОССТРОЯ СССР

РУКОВОДСТВО

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАБОРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

МОСКВА, 1978

gost.e-ecolog.ru

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ, КАНАЛИЗАЦИИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ ГОССТРОЯ СССР
(ВНИИ ВОДГЕО)

РУКОВОДСТВО

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАБОРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

МОСКВА СТРОЙИЗДАТ 1978

УДК 628.1[illegible].2

«Руководство по проектированию сооружений для забора подземных вод» составлено к соответствующим разделам СНиП II-31-74.

В Руководстве освещаются основные положения и даются рекомендации по выбору и обоснованию инженерных сооружений в системах водоснабжения на базе подземных водных источников, а именно, водозаборных (водозахватных, каптажных) устройств (скважин, шахтных колодцев, горизонтальных и лучевых водозаборов, каптажей источников); насосного оборудования, насосных станций и контрольно-измерительной аппаратуры; водоводов. Излагаются методы расчетов производительности водозаборов подземных вод (в том числе водозаборов в системах искусственного пополнения подземных вод) и обоснования зон санитарной охраны.

Руководство предназначено для проектировщиков и изыскателей, работающих в области водоснабжения.

ВНИИ ВОДГЕО ГОССТРОЯ СССР

РУКОВОДСТВО ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАБОРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией *Г. А. Жигачева*
Редактор *Л. Г. Бальян*
Мл. редактор *С. А. Зудилина*
Технический редактор *Ю. Л. Циханкова*
Корректоры *О. В. Стигнеева, В. И. Галюзова*

Сдано в набор 4.07.78	*Подписано в печать 29.11.78*	Т-20944
Формат 84×108 1/32	Бумага тип. № 2.	Гарнитура «Литературная»
Печать высокая	Усл. печ. л. 10,92	Уч.-изд. л. 14,41
Тираж 25 000 экз.	Изд. № XII—7894 Заказ № 471	Цена 70 коп.

Стройиздат
103006, Москва, Каляевская, 23а

Подольский филиал ПО «Периодика» Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
г. Подольск, ул. Кирова, д. 25.

Р 30213—612
047(01)—78 Инструкт.-нормат., I вып. — 47—78
© Стройиздат, 1978

ВВЕДЕНИЕ

«Руководство по проектированию сооружений для забора подземных вод» составлено к соответствующим разделам СНиП II-31-74 «Нормы проектирования. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», утвержденных Госстроем СССР в апреле 1974 г. и введенных в действие 1 октября 1974 г.

В Руководстве освещаются основные положения и методы проектирования инженерных сооружений для систем водоснабжения на базе подземных водных источников. Приводятся необходимые данные для выбора и обоснования различных типов и конструкций водозаборных сооружений (скважин, колодцев, горизонтальных и лучевых водозаборов, каптажей источников), методика их расчета, данные по оборудованию водозаборов водоподъемниками, контрольно-измерительной аппаратурой, по проектированию насосных станций и водоводов.

В Руководстве излагаются также основные положения по оценке качества воды и составлению проектов зон санитарной охраны водозаборов подземных вод.

Устойчивая работа водозаборов подземных вод в значительной мере зависит от режима и условий их эксплуатации. Во многих случаях производительность водозаборов с течением времени снижается в результате кольматации водоприемных устройств (фильтров) и прилегающих к ним водоносных пород. Учитывая это обстоятельство, Руководство предусматривает необходимость разработки в качестве составной части проекта водозаборов программы наблюдений за режимом подземных вод и меры по повышению производительности водозаборов в процессе эксплуатации.

Руководство отражает современный научно-технический уровень использования подземных вод для целей водоснабжения. В нем учтены разработанные в последние годы методы оценки запасов подземных вод и их добычи и использован опыт проектирования и эксплуатации водозаборов подземных вод.

К разработке и составлению Руководства по заданию Госстроя СССР были привлечены ВНИИ ВОДГЕО (ведущая организация), Союзводоканалпроект, ПНИИИС Госстроя СССР, Гипрокоммунводоканал Министерства коммунального и жилищного хозяйства РСФСР и ВСЕГИНГЕО Министерства геологии СССР.

В работе по отдельным разделам принимали участие: от ВНИИ ВОДГЕО — д-р техн. наук С. К. Абрамов (главы 4 и 11), кандидаты техн. наук В. С. Алексеев (главы 5, 12 и 16), К. С. Боголюбов (гл. 12), доктора техн. наук Ф. М. Бочевер (главы 2—4, 6, 8, 10, 12, 16, 17), В. М. Гаврилко (гл. 5), кандидаты техн. наук Г. М. Коммунар (гл. 12), Н. Н. Лапшин (главы 6, 8, 10, 12), А. Е. Орадовская (гл. 15); от Союзводоканалпроекта — инженеры А. И. Арцев (главы 3, 4, 16), А. Е. Станкевич (главы 14, 17); от Гипрокоммунводоканала — инж. В. А. Красулин (гл. 13); от ВСЕГИНГЕО — д-р геол.-минералог. наук Л. С. Язвин (главы 1 и 2); от ПНИИИС — канд. техн. наук Г. А. Разумов (главы 7, 9, 10), инж. В. Л. Слинко (гл. 4), канд. геол.-минералог. наук О. В. Слинко (гл. 6).

Редактирование выполнено Ф. М. Бочевером и А. И. Арцевым.

Расчеты, таблицы, графики подготовлены А. В. Ефремовой и В. Н. Львовой.

Руководство рассмотрено на НТС ВНИИ ВОДГЕО и НТС объединения Союзводоканалниипроект.

Руководство рецензировали д-р техн. наук В. П. Недрига (ВОДГЕО), д-р геол.-минералог. наук В. М. Гольдберг (ВСЕГИНГЕО), нач. и зам. нач. отдела подземных вод ГКЗ СССР В. Ф. Небосенко и В. Ф. Карулина, а также группа специалистов Союзводоканалпроекта: А. С. Игнатович, А. С. Москвитин, М. М. Кучак, М. А. Лозовский, Т. А. Родионова и В. В. Титков.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ [31, 47, 50, 59]

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ДОКУМЕНТЫ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СССР

1.1. Подземные воды используются в народном хозяйстве для хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения, орошения и обводнения, энергетических целей и теплофикации, лечебных целей, в качестве лечебных минеральных вод и как сырье для извлечения ценных компонентов.

1.2. Основное количество пресных и слабосолоноватых подземных вод в СССР используется для водоснабжения.

Общее потребление подземных пресных и слабосолоноватых вод в настоящее время составляет 65—70 млн. м³/сут (750—800 м³/с), в том числе 28—30 млн. м³/сут — для водоснабжения городов и рабочих поселков, 16—18 млн. м³/сут — для водоснабжения сельскохозяйственных объектов и 19—22 млн. м³/сут — на орошение. По имеющимся данным, свыше 60% городов и поселков, главным образом с небольшой и средней численностью населения (с водопотреблением до 10 тыс. м³/сут), в нашей стране полностью обеспечиваются водой из подземных источников.

1.3. Основными официальными документами, регламентирующими использование и охрану подземных вод в народном хозяйстве, являются «Основы водного законодательства Союза ССР и союзных республик», принятые Верховным Советом СССР 10 декабря 1970 г. и введенные в действие с 1 сентября 1971 г., «Водные кодексы союзных республик» и «Классификация эксплуатационных запасов подземных вод», разработанная Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых (ГКЗ СССР).

1.4. Основы водного законодательства устанавливают общий порядок водопользования, охрану вод, предупреждение их вредного воздействия, государственный учет и планирование использования вод. В соответствии со статьей 21 Основ водного законодательства, использование подземных вод питьевого качества для нужд, не связанных с питьевым и бытовым водоснабжением, как правило, не допускается. В районах, где отсутствуют необходимые поверхностные водные источники и имеются достаточные запасы подземных вод питьевого качества, использование последних для целей, не связанных с питьевым и бытовым водоснабжением, допускается только с разрешения органов по регулированию использования и охране подземных вод.

В соответствии с Основами водного законодательства, подземные воды (пресные, минеральные, термальные), не отнесенные к категориям питьевых и лечебных вод, могут быть в установленном порядке использованы для технического водоснабжения, орошения, извлечения содержащихся в них химических элементов, получения тепловой энергии и других производственных нужд с соблюдением требований рационального использования и охраны вод.

1.5. При проектировании и сооружении водозаборов подземных вод организации-водопотребители и проектно-изыскательские организации должны руководствоваться «Положением о порядке исполь-

зования и охране подземных вод на территории СССР», утвержденным Министерством геологии СССР и Главным Государственным санитарным инспектором СССР в апреле 1960 г. Для проектных организаций, кроме того, обязательным является СНиП II-31-74 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДЗЕМНЫМ ВОДАМ КАК ИСТОЧНИКУ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

1.6. Согласно СНиП II-31-74, выбор источника хозяйственно-питьевого водоснабжения должен производиться в соответствии с ГОСТ 17.1.3.03—77. Выбор источника промышленного водоснабжения, а также орошения следует, как указывалось, проводить в соответствии с Основами водного законодательства и с учетом требований, предъявляемых потребителями к качеству воды и условиям эксплуатации.

1.7. Качество воды на хозяйственно-питьевые нужды должно удовлетворять требованиям ГОСТ 2874—73. В случае несоответствия качества подземной воды требованиям ГОСТ 2874—73 могут быть рекомендованы мероприятия по улучшению ее качества согласно СНиП II-31-74.

1.8. При оценке качества подземных вод для производственных нужд следует также руководствоваться требованиями соответствующих стандартов. При отсутствии таких стандартов требования к качеству воды (в том числе и для орошения) определяются водопотребляющими или проектными организациями в каждом конкретном случае с учетом специфических особенностей использования подземных вод по заданному назначению.

1.9. Требования к условиям и режиму эксплуатации подземных вод определяются водопотребляющими или проектными организациями с учетом гидрогеологических особенностей и технико-экономических условий эксплуатации и во всех случаях должны учитывать существующие постановления и положения по охране подземных вод и согласовываться с органами по регулированию использования и охране вод в установленном порядке.

В этих требованиях на основании технико-экономических расчетов должны быть установлены:

а) необходимое количество подземных вод;

б) максимальное расстояние от участка водозабора до потребителя;

в) тип водозабора (скважины, горизонтальные, лучевые и др.);

г) максимальные глубины эксплуатационных скважин и динамических уровней в них при эксплуатации;

д) минимально допустимые дебиты эксплуатационных скважин;

е) способ водоотбора (самоизлив, насосная, эрлифтная, сифонная эксплуатация);

ж) режим эксплуатации водозабора (непрерывный, в соответствии с графиком водопотребления и др.);

з) расчетный срок эксплуатации.

2. КЛАССИФИКАЦИИ ЗАПАСОВ (РЕСУРСОВ) ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ИХ КАТЕГОРИИ [11, 17, 31, 35, 50]

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПО ЕСТЕСТВЕННЫМ (ГЕНЕТИЧЕСКИМ) ПРИЗНАКАМ

2.1. При оценке возможностей использования подземных вод обычно выделяют следующие понятия:

1. *Объем гравитационной воды, заключенной в порах, трещинах и карстовых пустотах горных пород.* Эта величина получила в литературе название естественные, статические или геологические запасы. В безнапорных горизонтах отдельно выделяется объем гравитационной воды в водовмещающих породах в зоне колебаний уровня, называемый регулировочными запасами, а в напорных пластах — объем воды, который может быть извлечен при снижении уровня подземных вод за счет упругих свойств воды и горных пород, получивший название упругие запасы.

2. *Величина ресурсов и питание водоносного горизонта в естественных условиях, представляющие собой расход подземных вод через поперечное сечение водоносного пласта.* Эта величина обычно называется динамическими запасами, или естественными ресурсами.

3. *Объем гравитационной воды в пласте,* сформировавшийся в результате орошения, фильтрации из каналов и водохранилищ, искусственного пополнения подземных вод, — так называемые искусственные запасы.

4. *Расход воды, поступающей в водоносный пласт при усилении питания подземных вод, вызванного эксплуатацией водозаборных сооружений* (возникновение или усиление фильтрации из рек, озер, перетекание из смежных водоносных горизонтов, уменьшение испарения грунтовых вод вследствие увеличения глубины их залегания от поверхности земли). Это количество воды называется привлекаемыми, или дополнительными, ресурсами.

В зависимости от характера взаимосвязи эксплуатируемого горизонта с внешними источниками питания можно выделить следующие виды поступления в пласт привлекаемых ресурсов:

а) равномерно распределенное питание по всей площади распространения горизонта, например переток воды из смежных водоносных пластов, разделенных слабопроницаемыми слоями, усиление инфильтрации атмосферных осадков;

б) сосредоточенное поступление воды в некоторых точках или на отдельных ограниченных участках области фильтрации, например через так называемые «литологические окна», образующиеся в местах выклинивания разделяющих слабопроницаемых слоев;

в) поступление воды в пласт через его «боковые» границы — из рек, каналов, водохранилищ.

5. *Количество подземных вод, которое может быть получено рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требованиям в течение всего расчетного срока эксплуатации.* Эта величина, представляющая собой производительность водозабора, называется эксплуатационными запасами.

2.2. Водозаборные сооружения, как правило, только в первые периоды обеспечиваются запасами воды, заключенными непосредственно в эксплуатируемом пласте — статическими (естественными)

в безнапорных пластах и упругими — в напорных. В дальнейшем возрастает роль динамических запасов (ресурсов) и дополнительно привлекаемых источников. При этом значительная часть длительно эксплуатируемых водозаборов большой производительности работает в конечном итоге почти целиком на подземных водах, дополнительно привлекаемых в эксплуатируемый водоносный горизонт. К таким водозаборам относятся прежде всего береговые водозаборы в речных долинах. В аналогичных условиях находятся водозаборы крупных артезианских бассейнов.

2.3. По геолого-гидрогеологическим условиям, определяющим закономерности формирования эксплуатационных запасов подземных вод, могут быть выделены следующие основные типы геологических структур и образований и связанные с ними подземные воды:

а) речные долины;

б) артезианские бассейны платформенных и геосинклинальных областей;

в) конусы выноса предгорных шлейфов и межгорных впадин;

г) ограниченные по площади структуры и массивы трещиноватых и трещинно-карстовых пород и зоны тектонических нарушений;

д) песчаные массивы пустынь и полупустынь;

е) надморенные и межморенные водно-ледниковые отложения.

Наибольшее количество разведанных и эксплуатируемых подземных вод относится к первым четырем типам, причем на долю речных долин и артезианских бассейнов платформ приходится более 60% всех разведанных участков.

2.4. Запасы подземных вод в отложениях речных долин широко распространены практически по всей территории СССР. Подземные воды в речных долинах могут быть как в аллювиальных отложениях (обычно это первый от поверхности водоносный горизонт), так и в коренных отложениях, непосредственно вскрываемых руслом реки или отделенных от нее другим водоносным горизонтом или слабопроницаемыми отложениями. Основным источником формирования эксплуатационных ресурсов в речных долинах является поверхностный речной сток.

Возможности привлечения речного стока определяются гидрогеологическими и гидрологическими факторами, а также техническими условиями эксплуатации. При этом основную роль играют величина и режим поверхностного стока, условия взаимосвязи подземных и поверхностных вод, фильтрационные свойства и мощность эксплуатируемого водоносного горизонта, допустимые понижения уровня, расстояния от водозабора до реки.

В долинах крупных рек с постоянными водотоками, расход которых заведомо превышает возможный отбор воды водозаборными сооружениями, и при активной взаимосвязи подземных и речных вод эксплуатационные запасы подземных вод весь период эксплуатации формируются за счет привлечения поверхностного стока. В этих условиях дебиты водозаборов могут быть весьма значительными (приток с 1 км длины реки к водозаборам, расположенным параллельно реке, достигает 0,3—0,4 м³/с, а в отдельных случаях 1—2 м³/с).

В долинах пересыхающих и перемерзающих рек, водотоков с небольшими расходами, а также в случаях затрудненной связи подземных и поверхностных вод привлечение речного стока происходит главным образом в многоводные периоды (наиболее интенсивно, например, в паводки, при подъеме уровней воды в реках и затопле-

нии пойменных территорий). В этих условиях в меженный период происходит сработка естественных запасов эксплуатируемого или вышележащего водоносного горизонта, которая сопровождается постоянным снижением уровней воды.

Во время паводков осуществляется полное или частичное восстановление запасов и соответствующий подъем уровней.

2.5. Для артезианских бассейнов платформенного типа характерно развитие ряда этажно расположенных водоносных горизонтов, разделенных слабопроницаемыми отложениями и имеющих значительные площади распространения — до десятков и сотен тысяч квадратных километров.

По особенностям формирования эксплуатационных запасов подземных вод здесь следует разделять участки, расположенные в центральных и краевых частях бассейна. При размещении водозаборов в центральных частях бассейна на значительном расстоянии от его границ воронка депрессии, как правило, не достигает границ горизонтов в области их выхода на поверхность. В этих случаях основными источниками формирования эксплуатационных запасов являются либо упругие запасы (что характерно главным образом для глубоко залегающих горизонтов), либо привлекаемые ресурсы, формирующиеся в результате перетекания воды из смежных водоносных горизонтов (как правило, при эксплуатации неглубоко залегающих горизонтов, хорошо связанных с вышележащими горизонтами и атмосферой). Возможность и интенсивность процессов перетекания определяются в основном геолого-гидрогеологическими факторами, обусловливающими степень взаимосвязи между эксплуатируемыми и смежными водоносными горизонтами (состав и мощность разделяющих отложений, наличие «гидрогеологических окон», нарушений сплошности разделяющих пород, вызванных тектоническими процессами, и т. д.).

В краевых частях артезианских бассейнов, где, как правило, отсутствуют выдержанные слабопроницаемые слои и водоносные горизонты содержат безнапорные воды, основными источниками формирования эксплуатационных запасов подземных вод является, кроме естественных запасов эксплуатируемого и смежных водоносных горизонтов, привлечение поверхностного стока, а также перехват естественной разгрузки в зоне развития депрессионной воронки («инверсия» родникового стока, усиление инфильтрационного питания и т. д.).

В общем аналогичными условиями формирования эксплуатационных запасов характеризуются артезианские бассейны складчатых областей, в которых в связи с их небольшими размерами депрессионная воронка, как правило, достигает границ пласта.

Подземные воды артезианских бассейнов широко используются для водоснабжения. Дебиты групповых водозаборов здесь обычно составляют несколько сотен л/с, достигая 1—2 $м^3/с$ в краевых частях бассейнов платформ и бассейнах складчатых областей.

2.6. Весьма крупные запасы подземных вод формируются в пролювиально-аллювиальных отложениях конусов выноса предгорных областей и в межгорных впадинах.

Для конусов выноса характерны следующие особенности геологического строения и гидрогеологических условий, определяющие закономерности формирования эксплуатационных запасов подземных вод. В головной части конуса выноса пролювиальные отложения представлены мощными (до нескольких сотен метров) гравийно-галечниковыми отложениями. Это основная область питания

подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков, поглощения речного стока и притока из коренных пород. По мере продвижения от гор происходит замещение гравийно-галечниковых отложений песками, суглинками и глинами и расчленение единого водоносного горизонта на несколько этажно расположенных горизонтов.

При продвижении от гор к равнине меняется и глубина залегания подземных вод — от глубин 50—100 м и более в головной части до выхода на поверхность в зоне замещения галечников менее водопроницаемыми отложениями. В этой зоне происходит разгрузка подземных вод многочисленными родниками, суммарный дебит которых достигает 10—15 м³/с, а также испарением на площадях неглубокого залегания уровня.

Отмеченные особенности (развитие мощных толщ гравийно-галечниковых отложений и наличие крупных естественных ресурсов) предопределяют возможность создания больших концентрированных водозаборов, производительность которых может достигать нескольких м³/с. В орошаемых районах в формировании эксплуатационных запасов конусов выноса значительную роль играют ирригационные воды.

2.7. Подземные воды в ограниченных по площади структурах и массивах трещинных и трещинно-карстовых пород и зонах тектонических нарушений характеризуются большим разнообразием, что связано со значительной сложностью геолого-гидрогеологических условий. Они находятся в ограниченных по площади массивах закарстованных и трещиноватых пород; в замкнутых, полузамкнутых и полосообразных тектонических структурах (наложенные мульды, брахи-антиклинали, горст-антиклинали и грабенсинклинали), в трещинах и трещинно-карстовых зонах; в зонах тектонических нарушений площадного или линейного характера, развитых на фоне слаботрещиноватых пород (трещинно-жильные воды в пределах складчатых областей и древних щитов).

Для рассматриваемого типа характерна резкая неоднородность фильтрационных и емкостных свойств водовмещающих отложений как по площади, так и в вертикальном разрезе.

Основными источниками формирования эксплуатационных запасов являются естественные запасы и ресурсы водовмещающих пород, в ряде случаев существенную роль играет привлечение транзитного поверхностного стока.

2.8. Пресные подземные воды в песчаных массивах пустынь и полупустынь образуют обычно линзы или зоны среди солоноватых или соленых подземных вод, в связи с чем они характеризуются сложными гидрохимическими условиями. Формирование эксплуатационных запасов происходит в основном за счет естественных запасов (осушения пород) и частично за счет инфильтрации атмосферных осадков и фильтрации из поверхностных водотоков и водоемов (оросительных каналов, прудов и т. д.).

2.9. Подземные воды в надморенных и межморенных водно-ледниковых отложениях характеризуются неглубоким залеганием, невыдержанной мощностью, неоднородными фильтрационными свойствами и этажным строением водовмещающих пород. Основными источниками формирования эксплуатационных запасов здесь являются естественные ресурсы, образующиеся при инфильтрации атмосферных осадков, перетекание воды из смежных горизонтов, привлечение поверхностного стока и в меньшей степени сработка естественных запасов подземных вод.

2.10. В зависимости от гидрогеологических условий в формировании эксплуатационных запасов подземных вод будут превалировать различные виды ресурсов. Так, при работе инфильтрационных водозаборов, расположенных вдоль рек со значительным меженным расходом, основным источником формирования эксплуатационных запасов обычно являются привлекаемые ресурсы (фильтрация из реки), а роль естественных запасов относительно невелика. Для глубоко залегающих артезианских водоносных горизонтов в бассейнах платформенного типа основную роль будут играть упругие запасы, в то время как для менее глубоких горизонтов, хорошо связанных с вышележащими, наибольшее значение приобретают привлекаемые ресурсы (перетекание из вышележащих горизонтов). В районах интенсивного орошения значительную роль могут играть искусственные запасы.

Как следует из вышеизложенного, эксплуатационные запасы подземных вод могут быть обеспечены источниками формирования или на определенный период эксплуатации, или на неограниченное время. В последнем случае источниками формирования эксплуатационных запасов являются естественные и искусственные ресурсы, а также привлекаемые ресурсы (если они, в свою очередь, также обеспечены на неограниченный срок эксплуатации).

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПО СТЕПЕНИ ИЗУЧЕННОСТИ И ПРИНЦИПЫ ИХ КАТЕГОРИЗАЦИИ

2.11. Действующая в настоящее время в СССР «Классификация эксплуатационных запасов подземных вод» предусматривает их подразделение в зависимости от степени разведанности и изученности подземных вод (в отношении количества и качества) и условий эксплуатации на четыре категории: А, В, C_1 и C_2.

2.12. Категория А — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей полное выяснение условий залегания, строения и величины напора водоносных горизонтов, а также фильтрационных свойств водовмещающих пород; выяснение условий питания водоносных горизонтов и возможности восполнения эксплуатационных запасов, установления связи оцениваемых подземных вод с водами других водоносных горизонтов и поверхностными водами. Качество подземных вод изучено с детальностью, обеспечивающей возможность их использования по заданному назначению на расчетный срок водопотребления.

2.13. Категория В — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение основных особенностей условий залегания, строения и питания водоносных горизонтов, а также установления связи подземных вод, запасы которых определяются, с водами других горизонтов и поверхностными водами, приближенное определение естественных водных ресурсов как источников восполнения эксплуатационных запасов подземных вод.

Качество подземных вод изучено в такой мере, которая поз-

воляет установить возможность их использования для заданного назначения.

2.14. Категория C_1 — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение в общих чертах строения, условий залегания и распространения водоносных горизонтов. Качество подземных вод изучено в такой мере, которая обеспечивает предварительное решение вопроса о возможности их использования по заданному назначению.

2.15. Категория C_2 — запасы, установленные на основании общих геолого-гидрогеологических данных, подтвержденных опробованием водоносного горизонта в отдельных точках, либо по аналогии с разведанными участками. Качество подземных вод определено по пробам, взятым в отдельных точках водоносного горизонта, либо по аналогии с изученными участками того же горизонта.

2.16. По своему народнохозяйственному значению эксплуатационные запасы подземных вод подразделяются на две группы:

1. Балансовые запасы, использование которых в настоящее время экономически целесообразно и которые должны удовлетворять кондициям, т. е. требованиям к качеству воды для данного назначения и заданным условиям режима эксплуатации.

2. Забалансовые запасы, использование которых в настоящее время экономически нецелесообразно вследствие малого количества, несоответствия качества заданному назначению, особо сложных условий эксплуатации, но которые могут рассматриваться как объект использования в будущем.

2.17. В соответствии с данной классификацией составление проектов и выделение капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию существующих водозаборных сооружений, а также предприятий, использующих подземные воды, производятся при наличии на участке намечаемого водозабора утвержденных ГКЗ СССР (или территориальными комиссиями по запасам полезных ископаемых Министерства геологии СССР — ТКЗ) эксплуатационных запасов подземных вод категорий **А** и **В** в количестве, обеспечивающем проектную производительность водозабора в течение расчетного срока водопотребления, при этом запасы категории **А** должны составлять не менее 50%.

На участках с весьма сложными гидрогеологическими условиями, где выявление запасов подземных вод по категории **А** в процессе разведки нецелесообразно, допускается проектирование и выделение капитальных вложений на строительство водозаборных сооружений на базе запасов категории **В**, что устанавливается в каждом конкретном случае ГКЗ СССР при утверждении запасов, при наличии соответствующих обоснований (см. п. 2.22).

При определении возможных перспектив расширения водозаборных сооружений при проектировании должны учитываться запасы категории C_1*.

---

* При составлении ТЭО, схем водоснабжения и при других предпроектных разработках эксплуатационные запасы подземных вод оцениваются по имеющимся гидрогеологическим материалам и при необходимости по материалам специальных изысканий, выполняемых для этих целей. Утверждение запасов в ГКЗ СССР и ТКЗ в этих случаях не является обязательным.

2.18. Проектирование и строительство новых и расширение действующих предприятий, связанных с использованием подземных вод, в тех случаях, когда объем проектируемых капитальных вложений на устройство водозаборов превышает 500 тыс. руб., а для объектов железнодорожного транспорта — 1 млн. руб., требует утверждения запасов в ГКЗ СССР или ТКЗ.

В объем капиталовложений на устройство водозаборов входят стоимость строительства эксплуатационных скважин, водосборных галерей, шахтных колодцев и других собственно каптажных сооружений, а также стоимость насосных станций, водоводов на территории размещения потребителей, резервуаров и сооружений по обработке воды и других сооружений и коммуникаций, связанных с водозабором (за исключением разводящей сети).

2.19. Применение классификации эксплуатационных запасов к подземным водам, используемым для хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения, орошения земельных массивов и обводнения сельскохозяйственных угодий, определяется «Инструкцией по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям пресных вод»*, утвержденной ГКЗ СССР 3 сентября 1976 г.

2.20. Инструкцией ГКЗ СССР предусматривается подразделение всех месторождений подземных вод по степени сложности гидрогеологических условий на три группы и установление для каждой группы дифференцированных требований для обоснования запасов различных категорий:

Группа I — простые гидрогеологические условия. Подземные воды приурочены к спокойно залегающим коллекторам выдержанной мощности, представленным однородными (пористыми и равномерно-трещиноватыми) породами. Основные источники формирования эксплуатационных запасов могут быть надежно изучены в процессе разведочных работ, а также дан обоснованный прогноз изменения качества воды в процессе эксплуатации.

Группа II — сложные гидрогеологические условия. Подземные воды приурочены к относительно спокойно залегающим коллекторам невыдержанной мощности или неоднородным по фильтрационным свойствам (неравномерно-трещиноватым и закарстованным). Часть источников формирования эксплуатационных запасов может быть изучена в процессе разведочных работ надежно, а часть — приближенно. Возможные изменения качества воды в процессе эксплуатации могут быть установлены приближенно расчетным путем.

Группа III — очень сложные гидрогеологические условия. Подземные воды приурочены к весьма неоднородным по фильтрационным свойствам (неравномерно-трещиноватым или закарстованным) коллекторам, имеющим локальное распространение, или пластам,

---

* В Инструкции под месторождением подразумевается такая часть площади распространения водоносных горизонтов или комплексов, в пределах которой под влиянием естественных или искусственных факторов создаются благоприятные условия по сравнению с окружающими площадями для отбора подземных вод в количестве, достаточном для целесообразного их использования в народном хозяйстве.

не выдержанным по мощности и осложненным тектоническими нарушениями. Источники формирования эксплуатационных запасов в процессе разведочных работ могут быть изучены приближенно, а возможные изменения качества воды установлены ориентировочно.

2.21. Кроме указанного разделения месторождений подземных вод по сложности гидрогеологических условий предусматривается, как и для поверхностных водных источников, применение классификации водозаборов подземных вод по надежности подачи воды. По этому признаку, в соответствии с СНиП II-31-74, системы водоснабжения подразделяются на три категории:

I категория — для населенных пунктов с числом жителей более 50 000 человек, допускающих снижение подачи воды не более 30% расчетных расходов на срок до 3 сут;

II категория — для населенных пунктов с числом жителей от 500 до 50 000 чел и групповых сельскохозяйственных водопроводов, допускающих снижение подачи воды не более 30% в течение до 1 месяца или перерыв подачи воды на время до 5 ч;

III категория — для населенных пунктов с числом жителей до 500 человек, допускающих снижение расчетных расходов до 30% в течение до 1 месяца или перерыв в подаче воды до 1 сут.

2.22. Выделение различных категорий эксплуатационных запасов подземных вод проводится по результатам специальных гидрогеологических поисково-разведочных работ, при этом каждая категория имеет свое практическое назначение:

категория C_2 устанавливается главным образом в результате региональных гидрогеологических обобщений и поисковых работ, учитывается при перспективном планировании размещения производительных сил и составлении планов разведочных работ на подземные воды;

категория C_1 определяется в основном по результатам предварительной разведки, является обоснованием принципиальной возможности получения заданного количества воды, целесообразности проведения детальных разведочных работ и предварительного выбора наиболее рациональной схемы водозабора;

категории **В** и **А** устанавливаются в процессе детальной и эксплуатационной разведки подземных вод, служат обоснованием возможности выделения ассигнований на строительство и проектирование водозабора, окончательного выбора наиболее рациональной в технико-экономическом отношении схемы водозабора и составления его проекта.

2.23. Инструкцией ГКЗ СССР устанавливаются условия, в которых возможно выделение в отдельных случаях капитальных вложений на базе эксплуатационных запасов категории **В** (или при наличии запасов категории **А** меньше 50% суммы запасов категорий **А+В**).

Эти отступления возможны в следующих случаях:

а) при разведке месторождений с весьма сложными гидрогеологическими условиями (главным образом месторождений III группы);

б) если выявленные запасы категории **В** на оцениваемом участке значительно (в 2—3 раза) превышают первоочередную потребность в воде;

в) при наличии положительного опыта эксплуатации оцениваемого водоносного горизонта в пределах данного месторождения или на смежных участках, аналогичных по гидрогеологическим условиям.

3. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАБОРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД. СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ ИЗЫСКАНИЙ [50, 59, 60]

СОСТАВ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИХ ОБЩАЯ КОМПОНОВКА

3.1. Внеплощадочные системы водоснабжения из подземных источников состоят из следующих сооружений:

а) водоприемные (каптажные) сооружения — для приема воды из источника (водоносного пласта);

б) насосные станции первого подъема воды из каптажных устройств;

в) сборные водоводы — для сбора воды из каптажных устройств и подачи ее на сооружения по подготовке и улучшению качества воды (при необходимости) или в резервуары для дальнейшего транспортирования к потребителям;

г) сооружения по подготовке и улучшению качества воды;

д) насосные станции и магистральные водоводы для транспортирования воды к потребителю;

е) сооружения, регулирующие напор и расход воды перед подачей ее во внутриплощадочную сеть.

3.2. Общая схема сооружений внеплощадочного водоснабжения из подземных источников приведена на рис. 1.

Эта схема относится к наиболее часто встречающемуся в практике водозаборов подземных вод составу сооружений, когда в качестве водоприемных (каптажных) устройств применяются скважины или шахтные колодцы и когда извлекаемая из водоносного

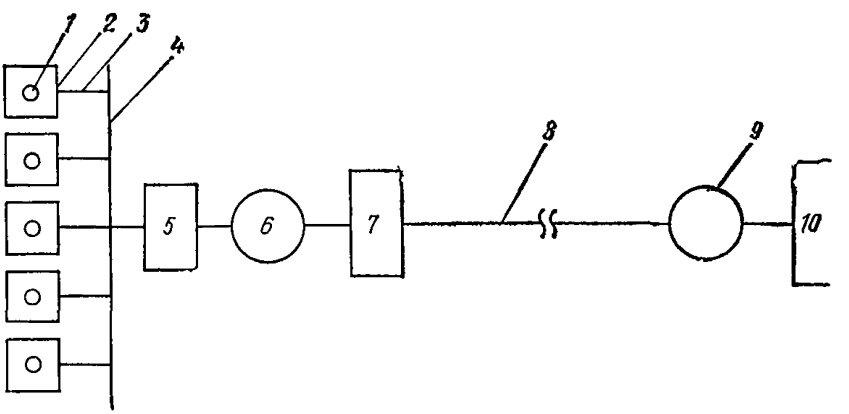


Рис. 1. Схема расположения сооружений внеплощадочной системы водоснабжения из подземных вод

1 — водоприемные (каптажные) 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

пласта вода нуждается до подачи ее потребителю в улучшении качества.

В этом случае вода из водоприемных сооружений с помощью артезианских насосов поступает (от каждого каптажного сооружения) по трубопроводам в сборный водовод.

Насос в водоприемном сооружении и небольшое (обычно размером 3×3×3 м) здание (павильон) над ним с устройствами для подключения насоса к источнику энергии и установкой контрольно-измерительной аппаратуры являются при этом насосной станцией первого подъема.

Из сборного водовода вода поступает на сооружения для очистки и подготовки воды. Эти сооружения в зависимости от наличия или недостатка в воде того или иного компонента, подлежащего устранению или вводу, могут быть представлены установками по обеззараживанию воды, стабилизации, фторированию, обесфторированию, обезжелезиванию, умягчению, опреснению и обессоливанию и т. д.

Из сооружений по подготовке вода подается в резервуары чистой воды, из которых она забирается насосной станцией второго подъема и по магистральным водоводам подается на сооружения, регулирующие напор и расход воды, поступающей в водопроводную сеть потребителя.

Показанная на рис. 1 схема водопроводных сооружений и взаимное расположение отдельных ее элементов могут существенно меняться в зависимости от местных природных условий (подземных вод, качества воды, мощности водозабора, удаленности источника водоснабжения от потребителя, количества водопотребителей и др.).

Так, при сифонном способе отбора воды насосные станции первого и второго подъема обычно совмещаются в одном здании; при отсутствии необходимости в улучшении качества воды и ее подготовки отпадает надобность в соответствующих сооружениях, а 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.

3.3. В водозаборах подземных вод применяются следующие типы водоприемных (каптажных) сооружений: 1) буровые скважины; 2) шахтные колодцы; 3) горизонтальные водозаборы; 4) комбинированные водозаборы; 5) лучевые водозаборы; 6) каптажи источников (родников).

3.4. Выбор того или иного типа и схемы водозабора определяются гидрогеологическими условиями, намечаемой производительностью водозабора и технико-экономическими соображениями.

Буровые скважины являются наиболее распространенными типами водозаборов и применяются для добычи подземных вод в самых разнообразных гидрогеологических условиях. Глубина скважин определяется глубиной залегания и мощностью эксплуатационного водоносного горизонта и может изменяться в широком диапазоне — от 5—10 до 1000 м и более.

Шахтные колодцы применяются, как правило, в первых от поверхности безнапорных водоносных горизонтах, сложенных рыхлыми породами (песками, галечниками) сравнительно ограни-

ченной мощности — не более 10 м. В отдельных случаях шахтные колодцы могут сооружаться и в напорных водоносных пластах при глубине залегания их до 30—40 м от поверхности. Однако устройство шахтных колодцев такой глубины представляется целесообразным лишь при слабой водообильности пласта и невозможности по тем или иным причинам создания водозабора из скважин.

Горизонтальные водозаборы — дрены, галереи, штольни — устраиваются также в безнапорных пластах при мощности их до 8 м, преимущественно вблизи поверхностных водотоков и водоемов.

Комбинированные водозаборы состоят из горизонтальных дрен (галерей, штолен) с системой соединенных с ними вертикальных скважин. Сооружение такого типа водозаборов целесообразно при наличии, наряду с основным каптируемым безнапорным водоносным горизонтом, более глубоких напорных вод.

Лучевые водозаборы представляют собой непроницаемые шахтные колодцы с расходящимися из них горизонтальными лучами-скважинами (дренами). Шахтные колодцы служат в этом случае сооружениями для сбора воды из горизонтальных скважин.

Лучевые водозаборы устраиваются при глубине залегания кровли водоносных пластов до 15—20 м и мощности их не более 20 м.

В галечниковых водоносных породах при $D_{60} \geqslant 70$ мм* и при наличии в них включений валунов более 10%, а также в илистых мелкозернистых породах и при возможной интенсивной кольматации прифильтровых зон горизонтальных скважин-лучей сооружение лучевых водозаборов не рекомендуется.

Каптажи источников (родников) устраиваются в виде водосборных камер или неглубоких опускных колодцев и применяются для каптажа подземных вод при наличии концентрированных их выходов на поверхность.

Наряду с выбором типа водозабора важным элементом проектирования является определение его схемы расположения на местности.

В долинах рек с постоянным поверхностным стоком и при возможности фильтрации речных вод в водоносный пласт водозаборные сооружения любого типа (скважины, шахтные колодцы, горизонтальные, лучевые) следует располагать вдоль берега реки.

Расстояние от водозабора до уреза воды в реке зависит от гидрогеологических параметров водоносного пласта. Следует учитывать также качество речной воды, размываемость берегов, изменения уровня воды в реке, промерзание донных и береговых участков русла, степень их закольматированности и возможность усиления кольматации при эксплуатации.

Горизонтальные скважины лучевых водозаборов размещают как на берегу реки, так и под ее руслом.

3.5. На участке искусственного пополнения запасов подземных вод состав сооружений определяется условиями забора воды из источников пополнения, качеством воды в них, типом инфильтрационных и каптажных устройств. Обычно в установки с искусственным восполнением запасов входят: водозабор из открытого источ-

---

* D_{60} — диаметр частиц, меньше которых в породе содержится 60%.

ника, сооружения предварительной подготовки воды (освобождение от взвешенных веществ), инфильтрационные сооружения для перевода поверхностных вод в подземные, сооружения для забора подземных вод, сооружения последующей обработки воды, насосные станции, подводящие и отводящие трубопроводы, соединяющие между собой перечисленные сооружения в единую систему.

СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СОСТАВ И СОГЛАСОВАНИЕ ПРОЕКТА

3.6. Согласно «Инструкции по разработке проектов и смет для промышленного строительства» (СН 202-76), проектирование предприятий, зданий и сооружений может осуществляться в две стадии — **технический проект и рабочие чертежи,** или в одну стадию — **техно-рабочий проект** (технический проект, совмещенный с рабочими чертежами).

При принятии того или иного решения о стадийности проектирования данного объекта следует исходить из положения СН 202-76 о том, что проектирование в одну стадию (техно-рабочий проект) ведется для объектов, строительство которых намечается осуществлять по типовым и повторно применяемым экономичным индивидуальным проектам, а также для технически несложных объектов.

По всем другим, не отвечающим этим условиям объектам проектирование ведется в две стадии (технический проект и рабочие чертежи). Системы сооружений водоснабжения вообще, в том числе и сооружения по забору подземных вод, относятся к технически сложным объектам, и потому разработка проекта по ним ведется, как правило, в две стадии.

3.7. Составление проектов сооружений систем водоснабжения в две или в одну стадию должно осуществляться на основе предпроектных работ: технико-экономического обоснования (ТЭО), схемы или единого генерального плана промузла по комплексному использованию водных ресурсов в данном районе и их охране от загрязнения жидкими и твердыми отходами производства и населенных мест.

В ТЭО, схемах, генеральных планах водоснабжения должны быть освещены следующие основные вопросы: водные ресурсы района; существующее использование водных ресурсов; перспективы развития водопотребления; общий баланс водопотребления и водоотведения по району (промузлу); выбор источника водоснабжения; защита водных ресурсов от загрязнения.

Особенностью предпроектной стадии проектирования (ТЭО, схемы), в отличие от ранее существовавшего порядка (до ввода в действие СН 202-76), является то, что определенные на этой стадии и утвержденные технико-экономические показатели сооружений водозабора в дальнейшем при разработке технического (техно-рабочего) проекта не должны быть ухудшены, а сметная стоимость строительства не должна превышать стоимость, определенную в ТЭО, схеме.

Из этого следует, что степень достоверности указанных выше исходных данных для проектирования сооружений по забору подземных вод уже на предпроектной стадии должна быть достаточно высокой.

3.8. Дальнейшее проектирование водозаборов подземных вод должно вестись с учетом данных и решений ТЭО или схем комп-

лексного использования и защиты от загрязнений водных ресурсов данного района, а также схем единого генерального плана промышленных узлов и генеральных схем водоснабжения городов, узлов и районов.

Основными задачами проектирования на стадии составления технического (или техно-рабочего) проекта водозаборов подземных вод являются:

1) выбор типа, схемы и конструкции каптажных сооружений водозабора;

2) расчет производительности водозабора и отдельных его сооружений, понижений уровня подземных вод в водозаборных сооружениях и в зоне их влияния в течение расчетного срока эксплуатации;

3) прогноз качества отбираемой водозабором воды;

4) разработка проекта специальных мероприятий по охране намечаемых к эксплуатации подземных вод и водозаборных сооружений от загрязнений вредными стоками, недоброкачественными подземными водами и недоброкачественными водами поверхностных источников;

5) установление зон санитарной охраны водозабора;

6) разработка схемы и выбор сооружений для подъема и транспорта воды;

7) разработка при необходимости мероприятий по очистке и подготовке, стабилизации и обеззараживанию воды;

8) разработка мероприятий по предотвращению вредного влияния проектируемого водозабора на окружающую природную обстановку и экологические условия;

9) разработка строительной части зданий и сооружений водозабора;

10) разработка проекта коммуникаций — дорог, электролиний, линий связи, сигнализации и управления;

11) определение сметной стоимости строительства водозабора и себестоимости подачи воды с учетом стоимости отводимых для водозабора земель, сносимых зданий и др.

Принятые в техническом (техно-рабочем) проекте решения должны быть обоснованы технико-экономическими расчетами.

3.9. Отбор подземных вод с помощью водозаборов является согласно водному законодательству СССР специальным водопользованием. В соответствии с этим при разработке ТЭО, схемы, а также технического (техно-рабочего) проекта необходимо предварительно получить разрешение на использование подземных вод в данном районе для данного вида водоснабжения.

Согласно постановлению Совета Министров СССР от 10 июня 1977 г. № 500 разрешения на специальное водопользование выдаются:

Министерством мелиорации и водного хозяйства СССР, если специальное водопользование осуществляется на объектах, регулирование пользования которыми отнесено к компетенции Союза ССР;

Министерствами мелиорации и водного хозяйства союзных республик, если водопользование осуществляется на объектах, регулирование пользования которыми относится к компетенции союзной республики.

Разрешения на специальное водопользование для вновь строящихся предприятий и других объектов выдаются заказчикам проектов при определении мест строительства объектов.

Разрешения на специальное водопользование выдаются после согласования водопользователями условий этого водопользования:

с органами Государственного санитарного надзора;

с органами рыбного надзора при выдаче разрешений на пользование рыбохозяйственными водоемами;

с органами Министерства геологии при выдаче разрешений на пользование подземными водами, а также на сброс сточных вод в подземные водоносные горизонты, если указанный сброс допускается действующим законодательством;

с органами Горного надзора при выдаче разрешений на пользование гидроминеральными ресурсами;

с органами ветеринарной службы при выдаче разрешений на забор воды для нужд животноводства и предприятий по переработке продуктов и сырья животного происхождения.

Проекты водозаборов подземных вод должны согласовываться с проектными организациями Союзводоканалниипроекта в соответствии с постановлением Госстроя СССР от 23 сентября 1976 г. № 150. При этом по распоряжению Министерства геологии СССР от 12 декабря 1976 г. № 285-Д заявки на разведку подземных вод также должны быть согласованы с организациями Союзводоканалниипроекта.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДОЗАБОРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

3.10. Проектирование водозаборов подземных вод осуществляется на основании технического задания, выдаваемого проектной организации заказчиком.

В техническом задании на проектирование должны быть указаны: вид водопотребления (хозяйственно-питьевое, производственное, для орошения и др.); объем водопотребления (общий с учетом перспективы, на проектный срок и по очередям в пределах проектного срока); требуемое качество воды; сроки ввода водозабора в эксплуатацию.

3.11. При проектировании водозаборов подземных вод необходимо решать вопросы размещения головных сооружений, их компоновки и взаимного расположения связывающих сооружения коммуникаций — трубопроводов, подъездных дорог, линий электроснабжения, связи и управления, а также вопросы общей вертикальной планировки участка водозабора.

Для этих целей необходимо располагать топографическим планом участка будущего водозабора. Если проектируются водозаборы, вытянутые в ряд значительной протяженности, топографический план места их размещения представляется в виде полосы шириной 200—500 м, в масштабе 1:1000—1:2000.

При компактном расположении водозаборных сооружений представляется общий план всего участка. Достаточными для работы являются планы в масштабе 1 : 2000 — 1 : 1000 для участка площадью в 1 км²; 1 : 1000 — для площади в 0,5 км²; 1 : 1000 — 1 : 500 — для площади участка в 0,25 км².

При этом натурная топографическая съемка в масштабе 1 : 500, как правило, не производится, и планы в этом масштабе представляются по данным натурной съемки в масштабе 1 : 1000.

Для проектирования отдельных сооружений, занимающих обычно площади размером в сотые доли гектара и расположенных за

пределами участка общей съемки, планы представляются в масштабе 1 : 500 по натурной съемке.

Наряду с указанными рабочими топографическими планами при проектировании для общего обзора местности и учета сложившейся на ней ситуации используется топооснова более мелкого масштаба — 1 : 10 000 — 1 : 50 000.

3.12. Состав, объем и детальность гидрогеологических работ для обоснования проекта в каждом конкретном случае определяются степенью сложности природных условий района размещения водозаборов, гидрогеологической изученностью района, величиной водопотребления и стадией проектирования.

Для составления технико-экономического обоснования (ТЭО) сооружений по забору подземных вод могут быть использованы имеющиеся по району (участку) размещения водозабора геологические и гидрогеологические материалы предыдущих исследований, соответствующие по своему содержанию и качеству материалам предварительной разведки по Инструкции ГКЗ СССР по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод. При отсутствии таких материалов для обоснования ТЭО необходимо произвести предварительную разведку.

Для обоснования технического (техно-рабочего) проекта материалы гидрогеологических исследований должны соответствовать материалам детальной разведки по Инструкции ГКЗ СССР с выявленными эксплуатационными запасами по категориям и в соотношении, предусмотренном Инструкцией ГКЗ СССР. При необходимости утверждения эксплуатационных запасов подземных вод в ГКЗ СССР (а в соответствующих случаях в ТКЗ) материалы гидрогеологических исследований должны быть представлены в соответствии с «Инструкцией о содержании, оформлении и порядке представления в Государственную комиссию по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР и территориальные комиссии по запасам полезных ископаемых материалов по подсчету эксплуатационных запасов пресных подземных вод», утвержденной 30 августа 1977 г.

3.13. Для оценки возможных изменений качества подземных вод под влиянием техногенных факторов должны быть освещены условия канализации и складирования стоков и отходов ближайших к водозабору промышленных предприятий. В процессе изысканий должны быть с достаточной полнотой изучены шламохранилища, накопители, испарительные бассейны с установлением состава складируемых стоков и отходов, режима их эксплуатации, наличия в них экранов, дренажей и других противофильтрационных сооружений. На основе анализа этих данных и в результате специальных полевых исследований следует определять, имеется ли в данное время фильтрация стоков и отходов в водоносный горизонт и возможна ли она в будущем после ввода в действие проектируемого водозабора.

3.14. При проектировании крупных водозаборов подземных вод необходимо установить возможное их влияние на почвенно-ботанические и гидромелиоративные условия. Для этого кроме традиционных геологических, гидрогеологических и других видов изысканий должны проводиться специальные исследования — почвенные, геоботанические, которые следует поручать научным и изыскательским организациям соответствующего профиля.

3.15. Для обоснования строительной части проекта водозабора должны быть получены материалы по инженерной геологии района

(характеристики физического состояния и физико-механических свойств грунтов), агрессивности среды, в которой будут находиться сооружения при эксплуатации, а также сведения о местных строительных материалах, их запасах и качестве.

При размещении водозаборных сооружений в районах развития современных физико-геологических явлений и процессов (карст, оползни, обвалы, сели, подмыв, обрушение берегов), а также в районах с особыми условиями (многолетняя мерзлота, сейсмичность, просадочность, набухаемость и пучение грунтов, возможность подтопления или подработки территории) в исходных материалах для проектирования должны быть подробные сведения об этих явлениях и процессах и рекомендации по учету их в проекте и разработке мероприятий, исключающих негативное их влияние на сооружения.

4. ВОДОЗАБОРНЫЕ СКВАЖИНЫ И ШАХТНЫЕ КОЛОДЦЫ [10, 25, 26, 37, 50, 59, 60]

ОБЩИЕ ДАННЫЕ. ВЫБОР СПОСОБА БУРЕНИЯ СКВАЖИН

4.1. При проектировании водозаборных скважин должны быть определены:

а) их размеры и конструкция — глубина, начальный и конечный диаметры, крепление стенок обсадными трубами, интервалы смены труб различного диаметра (или выход колонн труб), места и способы изоляции неиспользуемых водоносных горизонтов;

б) тип, размеры и конструкция водоприемной части (фильтра);

в) тип водоподъемника и поверхностного устройства (оголовка) скважины.

4.2. Бурение скважин на воду осуществляется преимущественно двумя способами: ударно-канатным и вращательным (роторным) с прямой и обратной промывкой.

Для бурения разведочно-эксплуатационных и эксплуатационных скважин небольшого диаметра (до 6—8″) в скальных породах может применяться колонковый способ бурения. В отдельных случаях целесообразно производить бурение скважин на воду комбинированно: до кровли водоносного горизонта — роторным способом с

Таблица 1

Станки для бурения скважин на воду, выпускаемые в СССР

Способ бурения	Тип станка	Глубина бурения, м	Начальный диаметр бурения, мм
Ударно-канатный	УКС-22М	300	600
	УКС-30	500	900
Роторный	УРБ-2А	200—300	150
	УРБ-3АМ	500	248
	1БА-15в	500	450
	УРБ-ЧПМ	1200	250
	2БА-15К	300	1270

прямой промывкой, ниже, в водоносных породах, — ударно-канатным способом или роторным с обратной промывкой.

4.3. В табл. 1 приводятся перечень и некоторые технические показатели буровых станков, выпускаемых серийно в СССР.

Практикой установлено, что указанными в табл. 1 буровыми станками можно бурить скважины бо́льших диаметров при соответствующем уменьшении глубины.

4.4. Общие рекомендации по выбору способа бурения скважин даны в табл. 2.

Таблица 2

Рекомендации по выбору способа бурения

Способ бурения	Условия применения
Ударно-канатный	В рыхлых породах глубиной до 150 м, в скальных — более 150 м
Вращательный (роторный) с прямой промывкой глинистым раствором	В хорошо изученных и надежно опробованных водоносных горизонтах в рыхлых породах до глубины 1000—1200 м
Вращательный (роторный) с прямой промывкой водой	В устойчивых скальных породах до глубины 1000—1200 м
Вращательный (роторный) с обратной промывкой водой	В рыхлых породах, не содержащих валунов размером более 150 мм, глубиной до 300—400 м
Колонковый	В скальных породах диаметром до 150—200 мм

Примечание. Глина и вода, используемые при бурении, должны удовлетворять санитарным требованиям.

КРЕПЛЕНИЕ СТВОЛА СКВАЖИНЫ ОБСАДНЫМИ ТРУБАМИ И ИЗОЛЯЦИЯ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ

4.5. В зависимости от геологических и гидрогеологических условий скважины от водоприемной части до устья закрепляются одной или несколькими колоннами обсадных труб.

Колонны обсадных труб принято подразделять на конструктивные (рабочие), эксплуатационные и технические (защитные).

Конструктивные и эксплуатационные колонны остаются в скважине на период эксплуатации и являются, таким образом, постоянным элементом ее конструкции. Эксплуатационные колонны труб служат для установки в них насоса. Технические колонны труб используются только в процессе бурения; после окончания бурения и установки в скважине фильтра они полностью или частично извлекаются из скважины.

Общая схема крепления ствола скважины показана на рис. 2.

Верхние обсадные колонны труб — шахтовая направляющая колонна и кондуктор — служат для защиты устьевой части скважины от обрушения и размыва, а также для придания скважине вертикального направления. Кроме того, эти колонны служат для

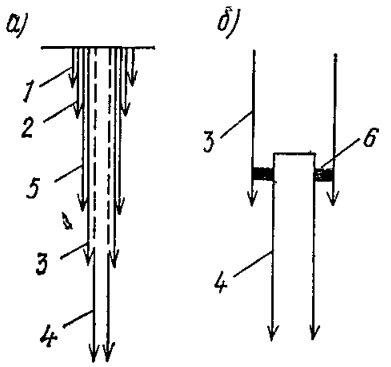


Рис. 2. Схема крепления ствола скважины

1 — шахтовое направление; *2* — кондуктор; *3* — эксплуатационная колонна; *4* — фильтровая колонна; *5* — техническая колонна; *6* — сальник

защиты скважины от проникания в нее загрязненных поверхностных вод. Пространство между кондуктором и стенкой скважины (естественной породой) цементируется или изолируется глиной. Для этих целей при ударно-канатном способе бурения проходка скважины в интервалах установки указанных колонн производится диаметром, большим диаметра труб.

Далее предусматривается установка конструктивных и технических колонн обсадных труб. Эксплуатационной колонной могут являться глухие надфильтровые трубы фильтровой колонны (см. пунктир на рис. 2,а).

Нередко, однако, в качестве эксплуатационной служит колонна *3*, а фильтр соединен с ней впотай на сальнике (см. рис. 2,*б*).

4.6. Общее число колонн обсадных труб определяется проектной глубиной скважины, литологическим составом и устойчивостью пород, вскрываемых скважиной, наличием требующих изоляции водоносных горизонтов (кроме эксплуатационного) и способом бурения.

Выход колонн обсадных труб, т. е. максимальная длина колонны одного диаметра при различных способах бурения (без учета необходимости изоляции неэксплуатируемых водоносных горизонтов), принимается в соответствии с табл. 3.

4.7. Проектная глубина скважины назначается в зависимости от глубины залегания и мощности эксплуатационного водоносного

Таблица 3

Выход колонн обсадных труб

Способ бурения	Породы	Выход колонн, м
Ударно-канатный	Сухие, связные, рыхлые и полускальные породы	25—30
	Те же породы, насыщенные водой и водоносные	35
	Устойчивые скальные породы	До 100 (при свободной посадке)
Роторный	Породы разных типов	Более 100

горизонта, а ее начальный, промежуточный и конечный диаметры — в зависимости от размеров и конструкции фильтра, габаритов насоса и способа бурения. При этом следует учитывать, что диаметр эксплуатационной колонны труб должен быть: при использовании насосов с погружным двигателем — равным номинальному диаметру насоса, а при использовании насосов с двигателем наверху — на 50 мм больше номинального диаметра насоса.

4.8. Разница между диаметрами предыдущей и последующей колонн обсадных труб при ударно-канатном способе бурения должна быть не менее 100 мм. При роторном способе бурения минимальная разница между диаметрами соседних колонн обсадных труб принимается 100—150 мм, большая — при больших выходах колонн.

Диаметр обсадных труб и муфт к ним до 508 мм следует принимать по ГОСТ 632—64 (табл. 4).

4.9. Для крепления скважин диаметром более 508 мм применяются трубы электросварные, изготавливаемые (по ГОСТ 10704—76) с толщиной стенок 7—8 мм при роторном бурении со свободной посадкой труб и 10—12 мм — при ударном бурении с принудительной посадкой труб.

4.10. При применении обсадных труб с муфтовыми соединениями для получения большего конечного диаметра скважин при значительном числе обсадных колонн муфты целесообразно обтачивать до следующих размеров, мм:

Наружный диаметр трубы .	168	219	273	325	377	426
Наружный диаметр обточенной муфты	184	236	287	340	390	440

4.11. Для крепления скважин глубиной 100—150 м при свободной посадке обсадных труб допускается применение асбестоцементных труб марок ВТ-9 и ВТ-12 (ГОСТ 539—73) с обязательной затрубной цементацией.

4.12. В колоннах обсадных труб, устанавливаемых для постоянной эксплуатации, должно производиться извлечение свободного конца труб с соблюдением следующих требований:

а) верхний обрез обсадной трубы, оставляемой в скважине, должен находиться выше башмака предыдущей колонны не менее чем на 3 м при глубине скважины до 50 м и не менее чем на 5 м при большей глубине скважины;

б) кольцевой зазор между оставляемой частью колонны и предыдущей колонной обсадных труб должен быть зацементирован либо заделан путем установки сальника.

4.13. Изоляция скважины от проникания поверхностных загрязнений и от неиспользуемых водоносных горизонтов должна предусматриваться в зависимости от конкретных условий, при этом могут применяться следующие способы изоляции:

а) забивка или задавливание колонны труб в слой естественной глины или в искусственно созданную глиняную пробку;

б) подбашмачная цементация (при ударно-канатном способе бурения);

Таблица 4

Техническая характеристика обсадных труб по ГОСТ 632—64

Размеры, мм				Теоретический вес, кг	
трубы		муфты			
наружный диаметр	толщина стенки	наружный диаметр	длина	1 м трубы	одной муфты
168,3	6,5 7 8 9 10 11	188	184	25,9 27,8 31,6 35,3 39,0 42,6	9,1
219,1	7 8 9 10 12	245	196	36,6 41,6 46,6 51,5 61,3	16,2
273,1	7 8 9 10 12	299	203	45,9 53,3 58,6 64,9 77,2	21
324	9 10 11 12	351	229	70,1 77,7 85,2 92,6	28
377	9 10 11 12	402	229	70,1 90,5 99,3 108	31
426	10 11 12	451	229	102,7 112,6 122,5	37,5
508	11	533	228	135	44,6

в) затрубная цементация колонн труб с доведением цементного раствора до отметок, предусмотренных проектом (при роторном бурении);

г) закрепление верхней части скважины двумя колоннами труб или одной колонной труб с затрубной цементацией для изоляции скважины от попадания в нее поверхностных вод;

д) при наличии агрессивных вод в используемых и гидравличес-

ки связанных с ними водоносных горизонтах должна предусматриваться антикоррозионная защита обсадных труб.

Примечания: 1. Для цементации скважин на воду следует применять цемент не ниже марки М 400.

2. После окончания цементации скважины, пробуренной роторным способом с промывкой глинистым раствором, и после установки в нее фильтровой колонны должны быть выполнены работы по восстановлению производительности скважины.

4.14. Существующие скважины, дальнейшее использование которых невозможно из-за износа обсадных труб, загрязнения водоносного горизонта и других причин, подлежат ликвидации путем тампонажа; кроме того, обязательно должны тампонироваться разведочные скважины. Проект ликвидации скважин подлежит согласованию с органами санитарной охраны.

4.15. В проекте водозаборных скважин дожны быть отражены все элементы конструкции скважин на период бурения и эксплуатации.

Примеры конструкций скважин в различных гидрогеологических условиях показаны на рис. 3—9.

ЧИСЛО РЕЗЕРВНЫХ СКВАЖИН

4.16. Число резервных скважин устанавливается в зависимости от категории надежности водоснабжения (см. п. 2.21) и числа рабочих скважин:

Число рабочих скважин	Число резервных скважин для категории надежности водоснабжения		
	I	II	III
1	1	1	—
От 2 до 10	2	1	—
От 11 и более	20%	10%	—

Примечания: 1. Резерв для водозаборов, состоящих из 11 и более скважин, указан в процентах от общего числа рабочих скважин.

2. Кроме указанных резервных скважин для водозаборов I и II категории следует предусматривать один резервный насос на складе при количестве рабочих скважин до 10; при большем числе скважин резерв насосов на складе принимается равным 10% числа рабочих скважин.

3. Для водозаборов III категории при числе рабочих скважин от 1 до 10 следует предусматривать один резервный насос на складе. При числе рабочих скважин более 10 резерв насосов на складе должен предусматриваться в размере 10% числа рабочих насосов.

ШАХТНЫЕ КОЛОДЦЫ

4.17. Шахтные колодцы представляют собой вертикальные выработки с бо́льшими размерами поперечного сечения по сравнению с водозаборными скважинами. Их применение, как уже отмечалось, должно быть ограничено эксплуатацией водоносных горизонтов, залегающих на сравнительно небольших глубинах (обычно до 20—30 м, реже более).

Шахтные колодцы состоят из следующих конструктивных элементов: надземной части — оголовка, ствола, водоприемной части, водосборной части — зумпфа (рис. 10).

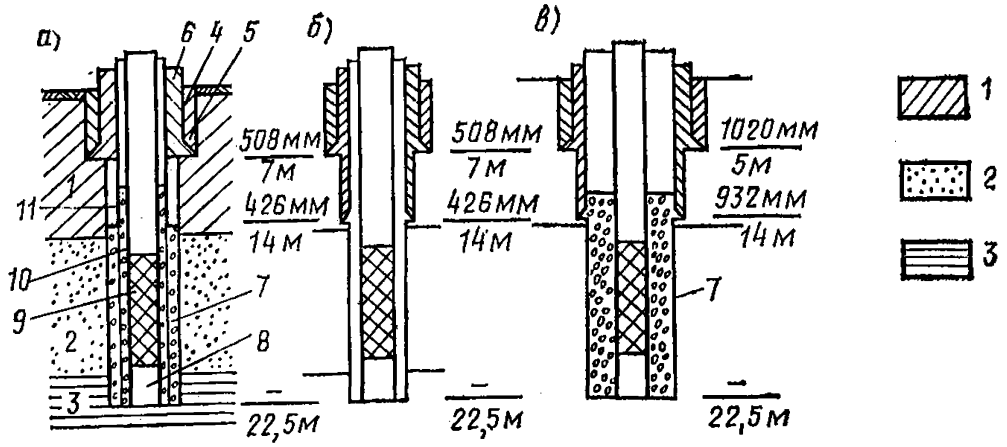


Рис. 3. Конструкции скважин глубиной до 30 м в рыхлых породах при бурении различными способами

а — ударно-канатным; *б* — роторным с прямой промывкой забоя; *в* — роторным с обратной промывкой забоя; *1* — суглинки; *2* — пески — водоносный горизонт; *3* — глины; *4* — кондуктор; *5* — затрубная цементация; *6* — межтрубная цементация; *7* — песчано-гравийная обсыпка фильтра; *8* — отстойник; *9* — рабочая часть фильтра; *10* — глухие трубы фильтровой колонны; *11* — техническая колонна труб

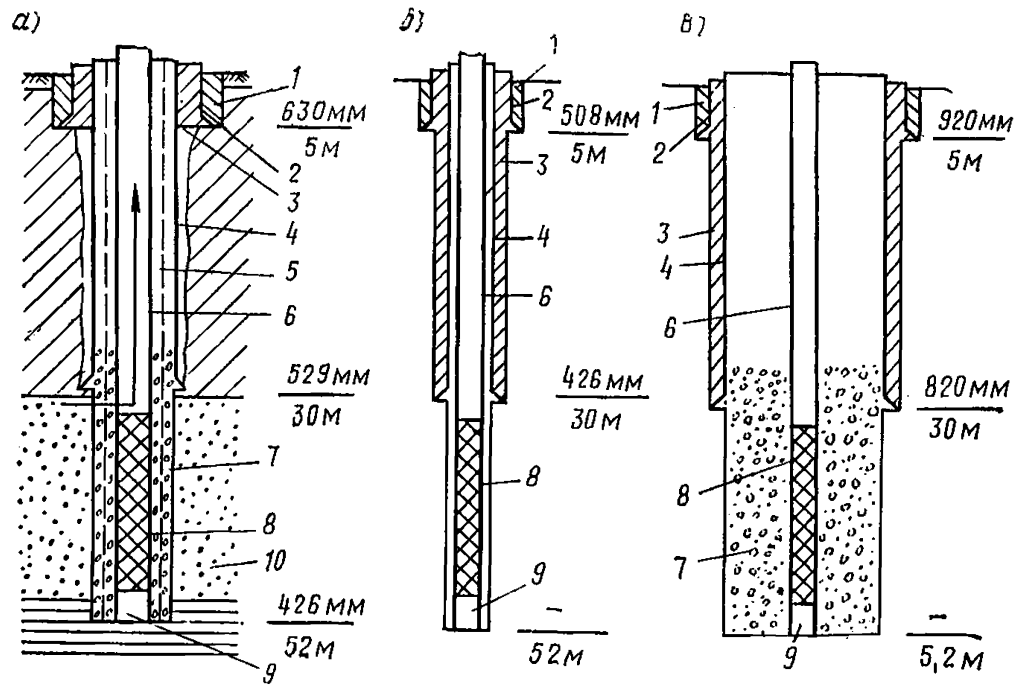


Рис. 4. Конструкции скважин глубиной до 50 м при бурении различными способами

а — ударно-канатным; *б* — роторным с прямой промывкой; *в* — роторным с обратной промывкой; *1* — затрубная цементация; *2* — кондуктор; *3* — межтрубная цементация; *4* — защитная колонна труб; *5* — техническая колонна труб; *6* — глухие трубы фильтровой колонны; *7* — песчано-гравийная обсыпка фильтра; *8* — рабочая часть фильтра; *9* — отстойник; *10* — водоносный пласт

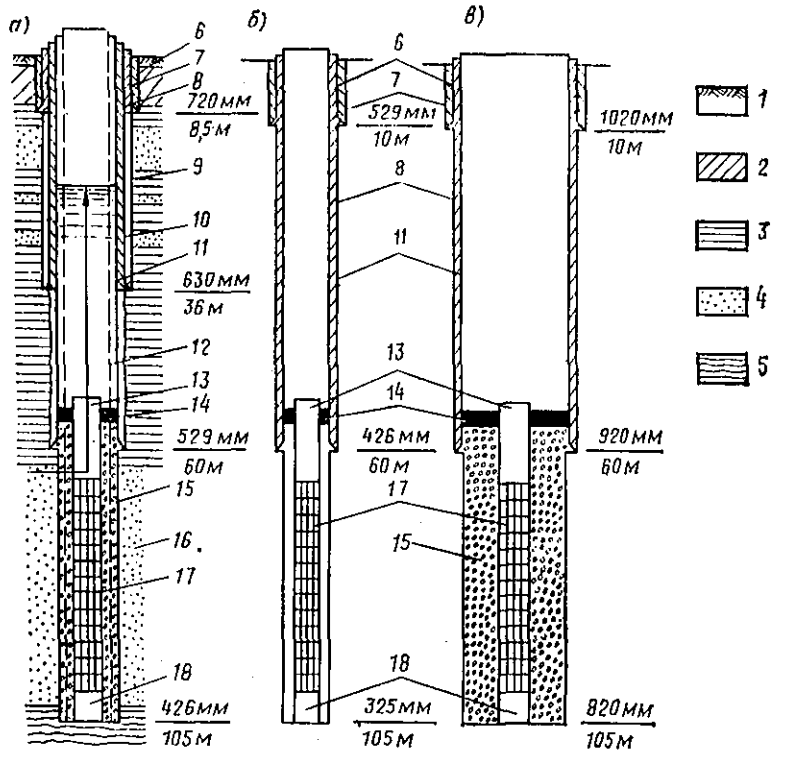


Рис. 5. Конструкции скважин глубиной до 100 м при бурении различными способами

а — ударно-канатным; *б* — роторным с прямой промывкой; *в* — роторным с обратной промывкой; *1* — почва; *2* — суглинки; *3* — глины; *4* — пески; *5* — аргиллиты; *6* — затрубная цементация; *7* — кондуктор; *8* — затрубно-межтрубная цементация; *9* — техническая колонна труб; *10* — затрубно-межтрубная цементация; *11* — эксплуатационная колонна труб; *12* — техническая колонна труб, извлеченная после установки фильтра; *13* — глухие трубы фильтровой колонны; *14* — сальник; *15* — песчано-гравийная обсыпка фильтра; *16* — водоносный пласт; *17* — рабочая часть фильтра; *18* — отстойник

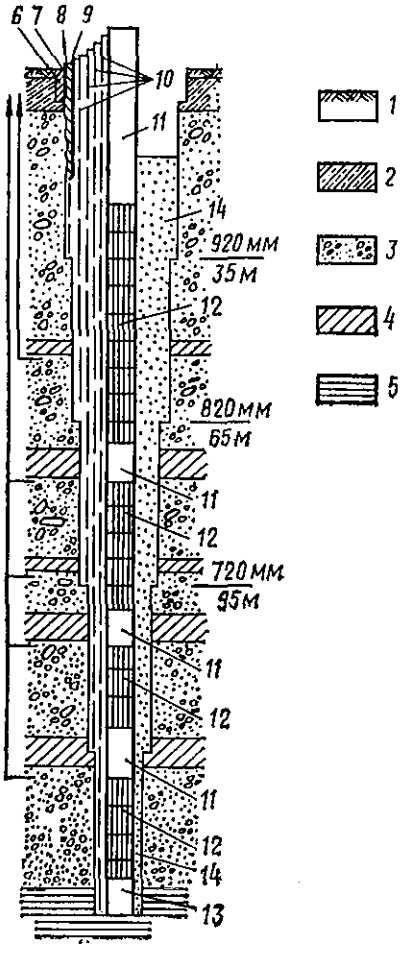


Рис. 6. Конструкция скважин глубиной до 150 м при бурении ударно-канатным способом

1 — почва; *2* — супеси; *3* — галечники; *4* — суглинки; *5* — глины; *6* — затрубная цементация; *7* — кондуктор; *8* — межтрубная цементация; *9* — конструктивная колонна труб; *10* — технические колонны труб, извлеченные после установки фильтра; *11* — глухие трубы фильтра; *12* — рабочая часть фильтра; *13* — отстойник; *14* — песчано-гравийная обсыпка фильтра

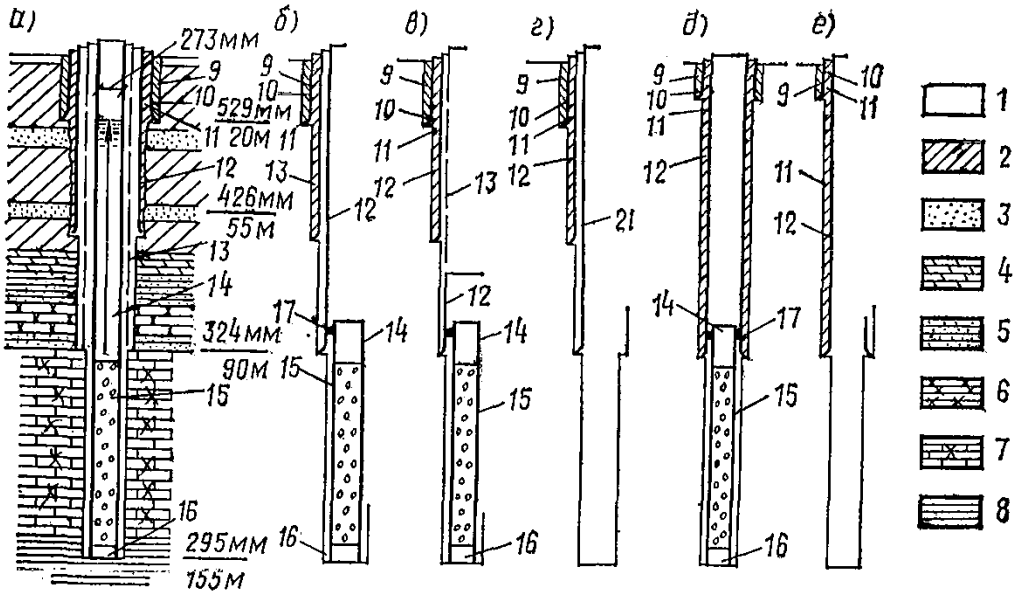


Рис. 7. Конструкции скважин глубиной до 150 м, *пробуренных на водоносный горизонт в скальных породах различными способами*

а, б, в — ударно-канатным с установкой в скважине фильтра; *г* — то же, без установки фильтра; *д, е* — роторным с прямой промывкой соответственно с установкой и без установки фильтра; *1* — почва; *2* — суглинки; *3* — пески с водой; *4* — мергели; *5* — алевролиты, *6* — песчаники; *7* — известняки; *8* — глины; *9* — затрубная цементация; *10* — кондуктор; *11* — межтрубная цементация; *12* — конструктивная колонна труб; *13* — техническая колонна труб, извлеченная после установки фильтра; *14* — глухие трубы фильтровой колонны; *15* — рабочая часть фильтра; *16* — отстойник; *17* — сальник

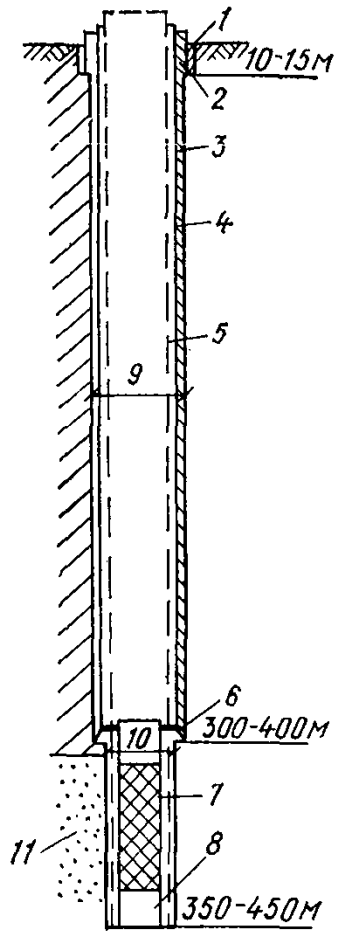


Рис. 8. Конструкция скважины на водоносный горизонт, залегающий на глубине до 500 м от поверхности, пробуренной комбинированным способом

1 — заливка раствором цемента; *2* — кондуктор; *3* — затрубная цементация с подачей раствора цемента под башмак; *4* — эксплуатационная колонна труб; *5* — техническая колонна труб, извлеченная из скважины после посадки в нее фильтра; *6* — сальник; *7* — фильтр; *8* — отстойник; *9* — бурение — роторное с прямой промывкой глинистым раствором; *10* — бурение ударно-канатное; *11* — водоносный пласт

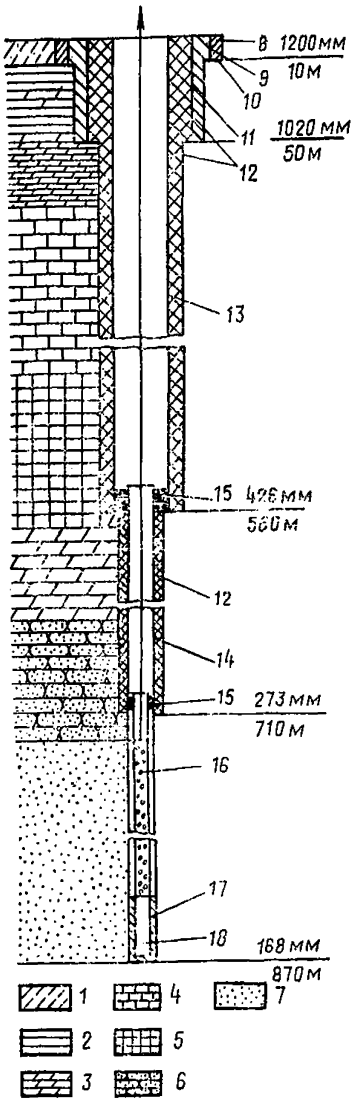


Рис. 9. Конструкция скважины глубиной 1200 м

1 — супеси; *2* — глины с прослоями мергелей; *3* — мергель; *4* — известняки; *5* — мел; *6* — песчаники; *7* — пески (водоносный пласт); *8* — стенка шурфа, *d* 1,2 м; *9* — направление — труба электросварная 10×10; *10* — заливка раствора бетона М 150; *11* — кондуктор — труба электросварная 820×12; *12* — затрубная цементация; *13* — эксплуатационная колонна — трубы 426×12; *14* — защитная колонна — трубы 273×12; *15* — сальник; *16* — фильтр; *17* — цементная ванна; *18* — отстойник

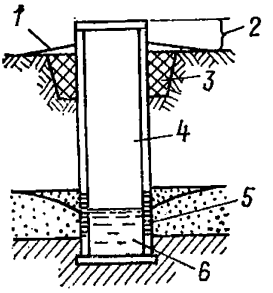


Рис. 10. Общая схема шахтного колодца

1 — отмостка; *2* — оголовок; *3* — замок; *4* — ствол шахты; *5* — водоприемная часть; *6* — зумпф

4.18. Оголовок предназначен для защиты от попадания в колодец загрязненных поверхностных вод сверху, а также для создания удобных в эксплуатации условий (подъема и разбора воды, наблюдений за состоянием колодца и т. п.). В местах с низкими температурами устройство оголовка в сравнительно неглубоких колодцах необходимо также и для защиты от промерзания. Для предохранения колодца от обрушения и загрязнения его стенки укрепляют.

Возвышение оголовка колодца над поверхностью земли по санитарным условиям должно приниматься не менее 0,8 м. Для предохранения от загрязнений оголовок перекрывается крышкой, над ним устраивают навесы или будки. Вокруг колодца (в земле) укладывают глиняный замок, а поверхность земли для лучшего отвода

воды замащивается или асфальтируется с уклоном в сторону от колодца.

Оголовок и ствол должны быть непроницаемы с тем, чтобы вода (поверхностная или грунтовая) из самых верхних водоносных (не эксплуатируемых) горизонтов не могла проникать в колодец.

4.19. Водоприемная часть шахтных колодцев в зависимости от гидрогеологических условий и глубины устраивается только в дне или стенках или же в дне и стенках колодца. Дно колодца при приеме воды через него должно быть снабжено гравийным фильтром или оборудовано плитой из пористого бетона. В стенках при приеме воды через них должны быть устроены специальные окна из пористого бетона или окна, заполненные гравийным фильтром.

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

4.20. В зависимости от рода материала, используемого для крепления стенок, существующие конструкции шахтных колодцев могут быть подразделены на деревянные, из каменной и кирпичной кладки, бетонные и железобетонные.

В настоящее время наиболее перспективны шахтные колодцы из сборных железобетонных элементов (колец, панцирных плит).

В типовом проекте, разработанном Гипроводхозом (ТП-СВ-125), шахтные колодцы для глубин 10, 20 и 30 м приняты из сборных железобетонных колец с фальцами высотой 1,05 м и внутренним диаметром 1 м при толщине стенок 8 см (рис. 11,*а*).

В устойчивых грунтах стык колец в стволе заделывается цементным раствором, а в песчаных грунтах (когда благодаря заклиниванию может происходить нависание колонны) применяются специальные конструкции стыка, работающие на разрыв.

Водоприемная часть принята в виде кольца из пористого бетона, армированного такой же сеткой, как и обсадные железобетонные кольца ствола колодца, причем для придания большей прочности в кольцах верхней и нижней частей имеются пояса из бетона. В нижней части колодца укладывается трехслойный обратный фильтр (рис. 11,*б*).

При вскрытии песчаных и плывунных грунтов крепление колодца осуществляется кольцами диаметром 0,65 м. В этом случае в несовершенных колодцах донный фильтр устраивается в виде бетонной армированной плиты, укладываемой на щебеночно-гравийную обсыпку, толщина которой принимается равной 30 см.

Совершенные колодцы глубиной 20 и 30 м имеют несколько иную конструкцию, включающую устройство зумпфа из железобетонных колец (рис. 12).

4.21. Проходка шахтных колодцев с креплением их железобетонными кольцами может быть механизирована при помощи агрегатов КШК-25, КШК-30 и др. В связных грунтах диаметр проходки шахты таким агрегатом составляет 1230 мм. В песчаных и плывунных грунтах колодец приходится разрабатывать телескопическим способом (см. рис. 11,*в*), при этом (в случае заклинивания колонны из колец диаметром 1 м) дальнейшая проходка ствола шахты производится буром диаметром 560 мм с уширителем диаметром до 850 мм и закрепляется железобетонными кольцами диаметром 650 мм (последние опускаются на тросах при помощи ручных лебедок и наращиваются на суженную колонну по мере углубления шахты). Донную плиту опускают моторной лебедкой агрегата

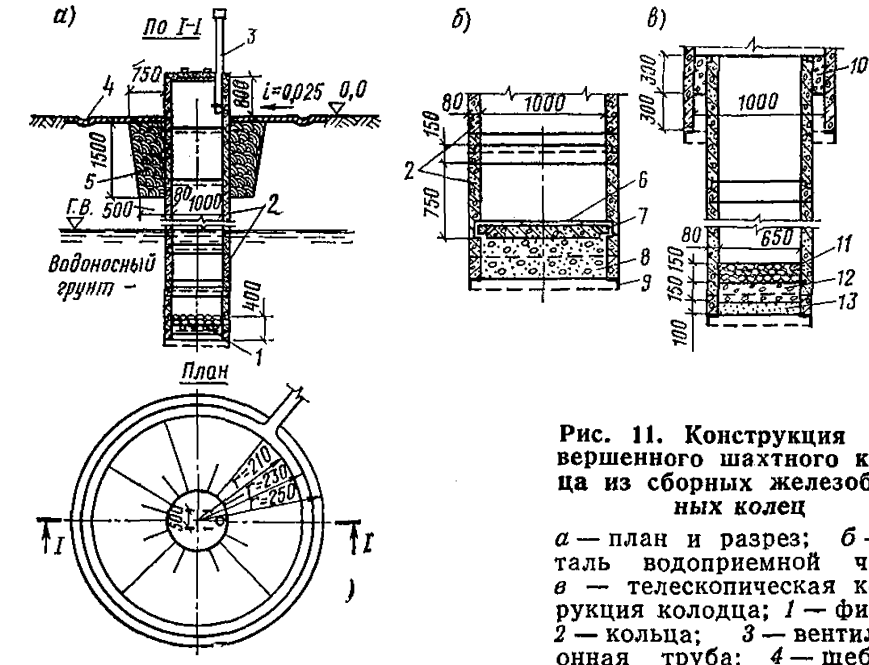


Рис. 11. Конструкция несовершенного шахтного колодца из сборных железобетонных колец

а — план и разрез; *б* — деталь водоприемной части; *в* — телескопическая конструкция колодца; *1* — фильтр; *2* — кольца; *3* — вентиляционная труба; *4* — щебеночное крепление; *5* — глиняный замок; *6* — донная плита из пористого бетона; *7* — вкладыши из пористого бетона; *8* — гравийная подсыпка; *9* — металлическое кольцо опускного приспособления; *10* — тампон из бетона; *11* — щебень; *12* — гравий; *13* — песок

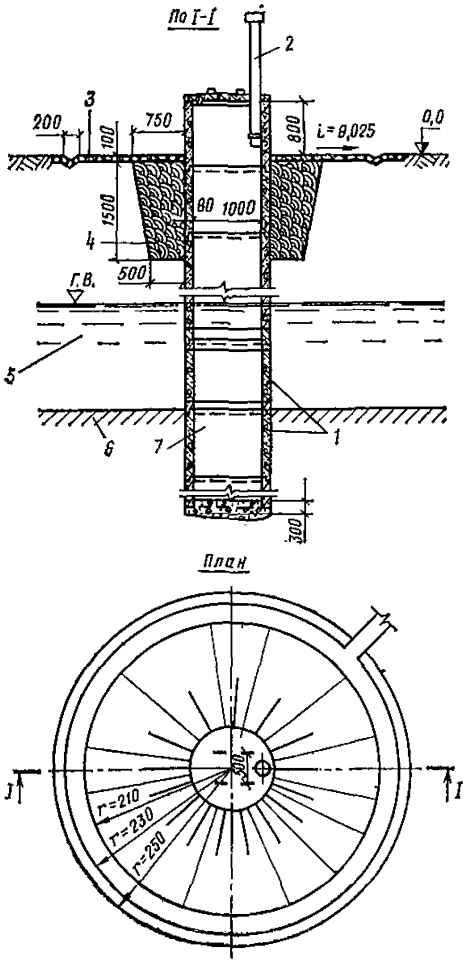


Рис. 12. Конструкция совершенного шахтного колодца из сборных железобетонных колец

1 — кольца; *2* — вентиляционная труба; *3* — щебеночное крепление; *4* — глиняный замок; *5* — водоносный грунт; *6* — водоупорный грунт; *7* — зумпф

без предварительного понижения уровня воды в колодце. По окончании спуска ее прижимают буровыми штангами и производят откачку воды (бадьей агрегата), после чего плиту закрепляют вручную при помощи четырех вкладышей.

Основные технические данные агрегата КШК-25

Длина	6700 мм
Ширина	2140 »
Высота	3200 »
Вес	5250 кгс
Диаметр шахты до установки обсадных колец	1230 мм
Наибольшая глубина бурения	30 »
Мощность машины от двигателя ГАЗ-МК	30 л. с.
Средняя производительность на глубину до 25 м	1—1,15 м/ч
Расход горючего на 1 ч работы	10 кг
Высота вышки	5500 мм
Численность обслуживающего персонала	1 моторист и 2 рабочих

5. ФИЛЬТРЫ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬТРОВ

5.1. При отборе воды из рыхлых и неустойчивых полускальных и скальных пород в скважинах устанавливают фильтры.

Фильтр состоит из водоприемной (рабочей) части, надфильтровых труб и отстойника.

5.2. Длина надфильтровых труб зависит от конструкции скважины. Когда фильтр находится на колонне, то расположенные выше него надфильтровые трубы являются одновременно и эксплуатационной колонной.

В случае когда эксплуатационная колонна имеет больший диаметр, чем фильтр, последний, как уже указывалось, устанавливается впотай, причем верхняя часть надфильтровой трубы должна находиться выше башмака эксплуатационной колонны труб не менее чем на 3 м при глубине скважины до 50 м и не менее чем на 5 м при большей глубине скважины.

В плывунных и мелкозернистых песках длина надфильтровой трубы должна приниматься не менее 5 м при любой глубине скважины.

Между эксплуатационной колонной и надфильтровой трубой должен быть установлен сальник.

Применяются сальники из различных материалов: резиновые, пеньковые, свинцовые, цементные и др. При установке гравийных фильтров роль сальника выполняет слой гравия высотой от 3 до 5 м, засыпаемого между эксплуатационной колонной и фильтром.

5.3. Величина отстойников в фильтрах, как правило, должна приниматься 0,5—1 и не более 2 м. При этом такие отстойники служат в основном для установки фонарей-центраторов и подъема фильтров с закреплением приспособлений для извлечения в его нижней части.

5.4. Конструкции фильтров должны отвечать следующим требованиям:

1) обладать необходимой механической прочностью и достаточной устойчивостью против химической, электрохимической коррозии и эрозионного воздействия воды;

2) диаметры фильтровых каркасов должны быть рассчитаны на максимальный пропуск воды со скоростью, не превышающей 1,5—2 м/с;

3) скважность фильтров и размер проходных отверстий, учитывая возможность химического и механического кольматажа при эксплуатации, должны быть максимальными;

4) фильтры должны быть доступны для проведения различных операций по восстановлению производительности скважин химическими реагентами и быть устойчивыми к воздействию взрывных методов (ТДШ, пневмовзрыв и др.).

5.5. Фильтры состоят из каркаса и водоприемной поверхности. Выпускаются следующие типы каркасов: 1) стержневые; 2) трубчатые с круглой или щелевой перфорацией; 3) каркасы из штампованного листа. Каркасы являются основой для водоприемной поверхности, которая устраивается из: 1) проволочной обмотки; 2) штампованного листа; 3) металлических и неметаллических сеток.

В гравийно-галечниковых отложениях, а также в неустойчивых полускальных и скальных породах указанные типы каркасов сами по себе могут служить водоприемной поверхностью.

5.6. Наиболее распространенным и эффективным типом фильтров (с точки зрения обеспечения длительной и устойчивой эксплуатации скважин) являются гравийные фильтры, которые в свою очередь могут быть подразделены на: а) засыпные фильтры; б) кожуховые; в) блочные. Типы «б» и «в» собираются на поверхности и в готовом виде устанавливаются в скважинах.

Гравийные фильтры могут иметь в качестве поддерживающей основы непосредственно трубчатые каркасы или различные типы водоприемных устройств — проволочные обмотки, сетки и т. д.

Основные конструктивные схемы фильтров представлены на рис. 13. В табл. 5—7 дана их краткая характеристика.

5.7. Рекомендации по применению различных типов фильтров в зависимости от гидрогеологических условий приведены в табл. 8.

ПОДБОР И РАСЧЕТ ФИЛЬТРОВ

5.8. Конструкция и размеры фильтра принимаются в зависимости от гидрогеологических условий, дебита и режима эксплуатации скважины с учетом следующих требований:

а) фильтр должен иметь достаточную механическую прочность, наибольшую просветность (скважность) и предельно допустимые размеры проходных отверстий (при которых не происходит пескования скважины и вместе с тем снижается интенсивность зарастания фильтров, что удлиняет срок их эксплуатации);

б) фильтр должен обладать устойчивостью против химической коррозии и эрозионного воздействия воды.

5.9. Прочностные показатели, характеризующие статическую устойчивость фильтров и определяющие возможную предельную глубину их установки, указываются в соответствующих технических условиях заводов-изготовителей и ГОСТах на выпускаемую серию конструкций (см., например, Технические условия Дрогобычского завода Мингазпрома СССР).

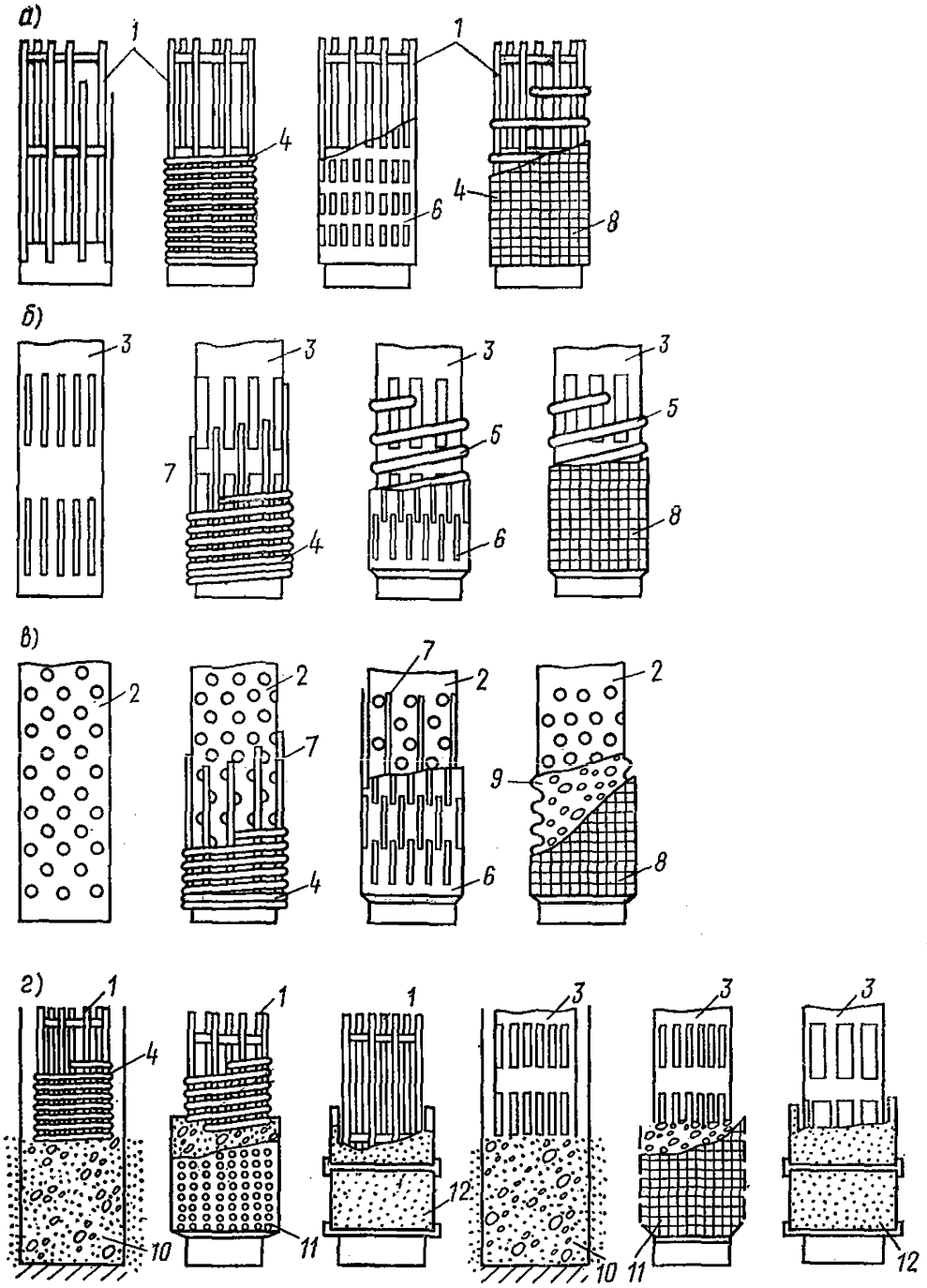


Рис. 13. Основные схемы конструкций фильтров водозаборных скважин

а — на основе стержневых каркасов; *б* — на основе трубчатых каркасов со щелевой перфорацией; *в* — на основе трубчатых каркасов с круглой перфорацией; *г* — гравийные фильтры. *1* — стержневой каркас на опорных кольцах, *2* — трубчатый каркас с круглой перфорацией; *3* — щелевой трубчатый каркас; *4* — проволочная обмотка из нержавеющей стали; *5* — опорная проволочная спираль; *6* — лист, штампованный из нержавеющей стали; *7* — опорные проволочные стержни под проволочную обмотку и лист; *8* — сетка из нержавеющей стали или латуни; *9* — сетка подкладная, синтетическая; *10* — рыхлая обсыпка; *11* — гравийная обсыпка в кожухе; *12* — гравийный блок

Таблица 5

Основные параметры и конструктивные особенности фильтров на каркасах из стержней

Тип фильтров	Конструктивные особенности	Материалы для изготовления
а) Фильтры каркасно-стержневые без дополнительной водоприемной поверхности	Скважность фильтра до 60—65%; ширина просвета между стержнями зависит от характера окружающих фильтр рыхлых или трещиноватых скальных пород (известняков, песчаников)	Сталь прутковая марок Ст3, Ст5, Ст7, диаметрами 12, 14, 16 мм. Патрубки соединительные и кольца опорные из горячекатаных труб. Защита опорных каркасов против коррозии производится кремнийорганической краской ВН-30 или нанесением полиэтилена
б) С водоприемной поверхностью из проволочной обмотки	Скважность водоприемной поверхности в зависимости от толщины проволоки и просвета составляет от 30 до 60%. Крепление проволочных спиралей производится на основе эпоксидных смол	Опорные каркасы из стержней обматываются проволокой из нержавеющей стали (ГОСТ 5632—61) диаметром 2—4 мм. Крепление проволочной обмотки производится эпоксидной смолой ЭД-5 и ЭД-6
в) С водоприемной поверхностью из штампованного (просечного) листа	Скважность штампованного (просечного) листа из нержавеющей стали в зависимости от ширины и высоты щели от 18 до 25—30%	Штампованный лист из нержавеющей стали (ГОСТ 5282—75) толщиной 0,8—1 мм
г) С водоприемной поверхностью из сеток	Подбор сетки производится по расчету в зависимости от крупности частиц породы водоносного горизонта	Проволочная обмотка под сетку из нержавеющей стали с шагом 10—15 мм. Сетка из нержавеющей стали или латуни гладкого плетения (ГОСТ 3187—65) и квадратного плетения (ГОСТ 6613—73)

Таблица 6

Основные параметры и конструктивные особенности фильтров на трубчатых каркасах

Тип фильтра	Конструктивные особенности	Материалы для изготовления
а) Трубчатые фильтры с круглой или щелевой перфорацией без дополнительной водоприемной поверхности	Скважность каркаса 20—25%; диаметр отверстий при установке в скальных и галечниковых породах 15—25 мм, в других породах — по расчету. Размер щелей: ширина 10—30 мм, длина 200—300 мм	Трубы горячекатаные, электросварные (ГОСТ 10706—76); полиэтиленовые (ГОСТ 18599—73); поливинилхлоридные (ТУ МХП 6-05-1573-72); асбестоцементные (ГОСТ 539—73)
б) Фильтры с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки	Скважность водоприемной поверхности из проволочной обмотки до 30—60%. Зазор между витками проволоки определяется по расчету в зависимости от крупности частиц пород или обсыпки. Намотка проволоки производится по стержням и закрепляется эпоксидной смолой	Подкладочная проволока из стали марок Ст3, Ст5, диаметром 5—10 мм. Проволочная обмотка из нержавеющей стали (ГОСТ 5632—72) диаметром 2—4 мм. Эпоксидная смола ЭД-6 и ЭД-5
в) С водоприемной поверхностью из штампованного стального листа с отверстиями различной конфигурации	Скважность штампованного просечного листа в зависимости от ширины и высоты щели от 18 до 25—30%. Между опорным каркасом и листом создается дренажное пространство, отводящее воду внутрь фильтра	Штампованный лист из нержавеющей стали (ГОСТ 5282—75) толщиной 0,8—1 мм. Проволока подкладочная диаметром 5—10 мм, резиновый или хлорвиниловый шнур
г) С водоприемной поверхностью из сеток	Подбор сеток производится по расчету в зависимости от крупности частиц породы водоносного горизонта	Подкладочные стержни из нержавеющей стали и синтетических сеток. Сетки гладкого (ГОСТ 6613—73) и квадратного (ГОСТ 3187—65) плетения, сетка семянка (ГОСТ 3339—74)

Таблица 7

Основные параметры и конструктивные особенности гравийных фильтров

Тип фильтра	Конструктивные особенности	Материалы для изготовления
а) Гравийные с обсыпкой фильтра на забое скважины	Проходные отверстия на фильтрах уширяются с учетом гранулометрического состава гравийной обсыпки. В зависимости от гранулометрического состава пород и химического состава подземных вод гравийные обсыпки могут быть однослойными или двухслойными, реже трехслойными	Каркасно-стержневые и трубчатые фильтры с водоприемными поверхностями из проволоки, нержавеющей стали и штампованного листа с использованием материалов, указанных в предыдущих описаниях
б) Гравийные кожуховые, собираемые на поверхности земли	Кожуховые фильтры устанавливаются в скважинах ограниченного диаметра с минимальной толщиной обсыпки 35—50 мм. Обсыпка не должна содержать пылевато-глинистых частиц	Опорные каркасы те же. Гравийная обсыпка вокруг каркасов удерживается простой стальной сеткой квадратного плетения 2×2 или 3×3 мм. При устройстве кожухов возможно применение сеток квадратного плетения из полистирола или штампованной пленки из винипласта
в) Гравийные блочного типа, собираемые на поверхности земли	Гранулометрический состав гравия в блочных фильтрах подбирается с учетом добавок цемента и водоцементного фактора или других вяжущих полимерных материалов	Каркасы стержневые и трубчатые. Блоки гравийные из пористого бетона

Таблица 8

Рекомендации по применению фильтров

Породы водоносных пластов	Типы и конструкции фильтров
1. Полускальные неустойчивые породы, щебенистые и галечниковые отложения с преобладающей крупностью от 20 до 100 мм (более 50% по массе)	Фильтры-каркасы (без дополнительной фильтрующей поверхности) стержневые, трубчатые с круглой и щелевой перфорацией, штампованные из стального листа толщиной 4 мм с антикоррозионным покрытием
2. Гравий, гравелистый песок с преобладающей крупностью частиц от 2 до 5 мм (более 50% по массе)	Фильтры стержневые и трубчатые с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки или штампованного листа из нержавеющей стали. Фильтры штампованные из стального листа толщиной 4 мм с антикоррозионным покрытием
3. Пески крупные с преобладающим размером частиц 1—2 мм (более 50% по массе)	Фильтры стержневые и трубчатые с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки, штампованного листа и сеток квадратного плетения из нержавеющей стали. Фильтры штампованные из стального листа толщиной 4 мм с антикоррозионным покрытием
4. Пески среднезернистые с преобладающей крупностью частиц от 0,25 до 0,5 мм (более 50% по массе)	Фильтры стержневые и трубчатые с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки, сеток квадратного плетения, штампованного листа из нержавеющей стали с песчано-гравийной обсыпкой
5. Пески мелкозернистые с преобладающей крупностью частиц 0,1—0,25 мм (более 50% по массе)	Фильтры стержневые и трубчатые с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки, сеток галунного плетения, штампованного листа из нержавеющей стали с однослойной или двухслойной песчано-гравийной обсыпкой

Примечания: 1. При применении фильтров на стержневых каркасах снижается расход металла. Стержневые фильтры обладают лучшими гидравлическими свойствами и обеспечивают более эффективную работу скважин при длительной эксплуатации в водах неустойчивого химического состава, когда возникает опасность зарастания фильтров железистыми и карбонатными отложениями, в результате чего снижается их скважность и уменьшается производительность скважин. Фильтры на стержневых каркасах рекомендуется применять в скважинах глубиной до 200 м.

2. Фильтры из стальных труб предпочтительнее применять при больших глубинах скважин (более 200 м).

3. Фильтры щелевые штампованные из листа толщиной 4 мм с антикоррозионным покрытием могут устанавливаться в скважинах глубиной до 100 м.

4. Применение сеток из латуни на стальных каркасах без антикоррозионной защиты не рекомендуется из-за возможности электрохимической коррозии.

5. Не следует применять сетки и проволочную обмотку из простой стали и оцинкованных сталей в фильтрах, рассчитанных на длительный срок эксплуатации, из-за подверженности их коррозионному разрушению.

6. Из фильтров блочного типа на данном этапе относительно небольшое распространение получили фильтры из пористого бетона на цементной связке. При наличии второго контура из рыхлой обсыпки эти фильтры работают более удовлетворительно. Блочные фильтры, как правило, предназначаются для отбора небольших количеств воды.

7. Для антикоррозионной защиты фильтров в настоящее время исследованы и применяются в отечественной и зарубежной практике следующие виды синтетических покрытий: а) полиэтиленовые, наносимые методом вихревого напыления; б) эмалевые; в) этинолевые; г) резиновые, на основе жидких наиритов; д) на основе полиамидных смол — полиамид-11; полиамид-12; е) перхлорвиниловые лаки.

Металлические покрытия, наносимые гальваническим способом из цинка и меди, являются малонадежными, быстро разрушаются, поэтому синтетические покрытия следует считать более предпочтительными.

5.10. Степень химической коррозии фильтров зависит от содержания в воде некоторых компонентов, обусловливающих растворение металлов. Такими компонентами являются CO_2, O_2, H_2S, HCl, H_2SO_4. При каптаже вод питьевого качества с небольшой минерализацией возможность коррозии за счет нарушения углекислотного равновесия можно прогнозировать, используя так называемый показатель Ризнера — R_i:

$$R_i = 2\,pH_s - pH,$$

где pH_s — показатель водородных ионов, отвечающий равновесному содержанию в воде углекислых соединений; pH — фактическая величина концентрации водородных ионов подземных вод.

При $R_i < 9$ вода коррозионна, если $7 < R_i < 9$, то возможно развитие процессов коррозии с малой скоростью. При $R_i < 7$ вода склонна к выделению кольматирующих образований. Фильтры из низкоуглеродистой стали без антикоррозионных покрытий применимы при $R_i = 7—8$, при наличии в конструкции латунных материалов следует иметь в виду, что оптимальная область их применения находится при $R_i = 6{,}5—8{,}5$; нержавеющая сталь характеризуется максимальной устойчивостью и применима даже при $R_i = 12—15$.

При каптаже скважинами подземных вод, содержащих сероводород, скорость коррозии стальных водоподъемных и обсадных труб может достигать значительных величин — 8—10 мм/год, поэтому в этих случаях обязательно применение антикоррозионных конструкций.

Электрохимическую коррозию следует предотвращать, исполь-

зуя в конструкции фильтров металлы с близкими электродными потенциалами.

Если в процессе эксплуатации скважин возможно привлечение грунтовых вод с заболоченных участков, следует учитывать наиболее вероятное уменьшение величины pH отбираемых вод и увеличение концентрации H_2S, что способствует более интенсивному проявлению коррозионных свойств подземных вод.

5.11. Диаметр фильтра-каркаса устанавливается исходя из проектного дебита скважины, параметров водоподъемного оборудования и с учетом возможности устройства гравийной обсыпки (см. пп. 5.2—5.4). По условиям ремонта скважин минимальный диаметр каркаса фильтра следует принимать не менее 100—150 мм. Скорость движения воды в водоподъемных трубах не должна превышать 1,5—2 м/с.

5.12. Длина фильтра в однородных водоносных пластах мощностью $m \leqslant 10$—15 м принимается равной (0,8—0,9)m (фильтр должен устанавливаться на расстоянии не менее 0,5—1 м от кровли и подошвы пласта).

При мощности $m > 10$—15 м 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.

Тем не менее в реальных условиях, учитывая неоднородность водоносных пластов и возможность интенсивного химического зарастания фильтров, следует увеличивать длину и размеры отверстий фильтров. При этом в первую очередь фильтры должны устанавливаться в наиболее водопроницаемых зонах пласта.

При наличии нескольких водоносных горизонтов установка фильтров производится в каждом водоносном горизонте с соединением их глухими трубами (перекрывающими раздельные водоупорные или слабопроницаемые слои).

В безнапорных водоносных пластах длина фильтра определяется с учетом понижения динамического уровня в скважине: в этом случае мощность $m \approx h_e - \frac{S_0}{2}$, где h_e — первоначальная мощность безнапорного пласта; S_0 — проектное понижение уровня в скважине.

5.13. Размер проходных отверстий фильтра назначают с учетом гранулометрического состава пород, слагающих водоносный горизонт, и соответствующего размера частиц гравийной обсыпки. Для подбора размера отверстий фильтров рекомендуются следующие эмпирические соотношения (см. табл. 9).

5.14. Размеры проходных отверстий фильтров при устройстве гравийной обсыпки должны приниматься равными среднему диаметру частиц слоя обсыпки d_{50}, примыкающего к стенкам фильтра.

Основным требованием к подбору гравийных обсыпок является обеспечение суффозионной устойчивости пород в прискважинной зоне при сохранении относительно небольших контактных потерь

Таблица 9

Размеры отверстий фильтров в зависимости от коэффициента неоднородности пород и их среднего диаметра

Тип фильтра	Рекомендуемые размеры отверстий фильтров	
	в однородных породах $k_н \leqslant 2$	неоднородных породах $k_н > 2$
С круглой перфорацией	2,5—3 d_{50}	3—4 d_{50}
Сетчатый	1,5—2 d_{50}	2—2,5 d_{50}
С щелевой перфорацией	1,25—1 d_{50}	1,5—2 d_{50}
Проволочный	1,25 d_{50}	1,5 d_{50}

где $k_н = \frac{d_{60}}{d_{10}}$; d_{50}, d_{60}, d_{10} — размеры частиц, меньше которых в водоносном пласте содержится соответственно 10, 50 и 60% (определяются по графику гранулометрического состава).

Примечание. Меньшие значения численных коэффициентов при d_{50} относятся к мелкозернистым породам, большие — к крупнозернистым.

напора. При подборе гравийного фильтра в относительно однородных грунтах ($k_н < 5$) должно выдерживаться соотношение

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} \approx 8 - 12,$$

где d_{50} и D_{50} — средний диаметр соответственно водоносных пород и материала обсыпки.

Для подбора размера частиц обсыпки в существенно суффозионных породах, при значительной их неоднородности ($k_н > 5$) можно пользоваться диаграммой на рис. 14. Расчетную величину среднего диаметра обсыпки получают умножением на 5 найденной по графику величины характерного диаметра (на пересечении с кривой зернового состава).

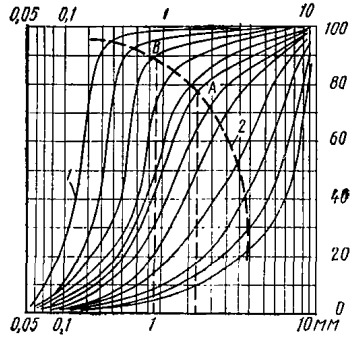


Рис. 14. График для определения состава гравийной обсыпки

1 — кривые зернового состава песков; *2* — кривая характерного диаметра

Например, точке A на рис. 14 на пересечении кривой гранулометрического состава водоносных пород с кривой характерного диаметра (пунктирная линия) соответствует расчетный диаметр 2,6 мм. Следовательно, D_{50} гравия обсыпки будет $2{,}6 \times 5 = 13$ мм.

Подбор механического состава материала при устройстве двух- и трехслойных гравийных обсыпок фильтров надлежит производить по соотношению $\frac{D_{50}^1}{D_{50}^2} = 4-6$, где D_{50}^1 и D_{50}^2 — средние диаметры частиц материала соседних слоев обсыпки.

5.15. Материал обсыпки должен быть однородным. Во всех случаях количество частиц максимального и минимального диаметра в составе обсыпки не должно превышать 10%.

Оптимальная толщина обсыпки должна составлять 150—200 мм. Минимальную ее величину следует выбирать в зависимости от размера зерен гравия и песка:

Размер зерен, 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 прифильтровой толщины (опорного) слоя грунта. Применение для гравийных фильтров гравия неоднородного состава нецелесообразно из-за существенного расслоения его в процессе засыпки.

Примечание. Материал, используемый для гравийных фильтров, должен быть незагрязненным и надежным в санитарном отношении.

6. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН И ШАХТНЫХ КОЛОДЦЕВ [2, 11, 15—17, 19, 35, 40, 49, 50]

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

6.1. Основными задачами гидрогеологических расчетов водозаборных скважин и шахтных колодцев являются:

а) определение дебита скважин и колодцев и понижения уровня в процессе эксплуатации водозаборного сооружения;

б) оценка возможного влияния данного водозабора на существующие или намечаемые к строительству водозаборы на других участках водоносного пласта.

Одновременно с решением этих задач на основе гидрогеологических расчетов уточняют схему расположения водозаборных скважин и колодцев, их количество и размеры (глубина, диаметр).

6.2. При гидрогеологических расчетах водозаборов обычно в качестве исходной величины принимается дебит Q, соответствующий проектируемому водопотреблению. Но нередко приходится определять максимальный дебит $Q_{макс}$, который может быть получен на рассматриваемом участке водоносного пласта или на всей площади его распространения. В обоих случаях расчетами устанавливаются размеры водозаборного сооружения, количество, расположение и дебиты скважин и колодцев при заданном времени эксплуатации (обычно 25 лет) и максимально допустимых понижениях уровня $S_{доп}$.

Гидрогеологические расчеты выполняются обычно для нескольких вариантов расположения водозаборов, по которым производятся технико-экономическое сопоставление и выбор оптимальной схемы водозабора.

Во всех вариантах расчетные понижения уровня сопоставляются с допустимыми понижениями.

При $S_{\text{расч}} > S_{\text{доп}}$ проектируемый дебит водозабора не может считаться обеспеченным. В этом случае необходимо увеличить число скважин (колодцев) либо распределить их на большей площади.

При $S_{\text{расч}} < S_{\text{доп}}$ дебит водозабора может быть увеличен или при сохранении дебита должно быть сокращено количество скважин или колодцев и уменьшено расстояние между ними.

Приближенно величина допустимого понижения уровня может быть определена следующим образом:

для безнапорных вод

$$S_{\text{доп}} \approx (0{,}5 - 0{,}7)\ h_e - \Delta h_{\text{нас}} - \Delta h_{\text{ф}}; \qquad (1)$$

для напорных вод

$$S_{\text{доп}} \approx H_e - [(0{,}3 - 0{,}5)\ m + \Delta H_{\text{нас}} + \Delta H_{\text{ф}}], \qquad (2)$$

где h_e и H_e — соответственно первоначальная глубина воды до водоупора (в безнапорных горизонтах) и напор над подошвой горизонта (в напорных пластах); $\Delta h_{\text{нас}}$ и $\Delta H_{\text{нас}}$ — максимальная глубина погружения насоса (нижней его кромки) под динамический уровень в скважине; $\Delta h_{\text{ф}}$ и $\Delta H_{\text{ф}}$ — потери напора на входе в скважину; m — мощность напорного пласта.

Гидрогеологические расчеты водозаборных сооружений могут быть сделаны при той или иной степени схематизации гидрогеологической обстановки. Выделяются следующие схемы водоносных пластов:

а) долины рек — полуограниченные пласты (с одним прямолинейным контуром питания) и пласты-полосы;

б) артезианские бассейны — неограниченные по площади распространения изолированные и слоистые водоносные горизонты;

в) ограниченные по площади распространения пласты (полузакрытые и закрытые водоносные структуры).

Ниже приводятся основные расчетные зависимости для оценки производительности водозаборов в указанных условиях. В более сложных гидрогеологических условиях могут быть использованы другие методы расчета: гидравлический, моделирование и другие.

6.3. Общая расчетная зависимость для определения понижений уровней подземных вод в любой точке пласта может быть представлена следующим образом:

— для напорных пластов

$$S = \frac{Q}{2\pi km} R; \qquad (3)$$

— для безнапорных пластов

$$S = h_e - \sqrt{h_e^2 - \frac{Q}{\pi k}\ R}. \qquad (4)$$

Здесь Q — суммарный дебит водозабора; km — величина водопроводимости эксплуатируемого пласта (k — коэффициент фильтрации;

m — мощность); h_e — естественная мощность грунтового потока; R — гидравлическое сопротивление, зависящее от гидрогеологических условий и типа водозаборного сооружения.

При определении понижения уровня подземных вод непосредственно в скважине или шахтном колодце в формулах (3) и (4) следует принимать:

$$R = R_0 + \beta \zeta, \tag{5}$$

где R_0 — значение гидравлического сопротивления R в точке расположения скважины (колодца); ζ — дополнительное сопротивление, учитывающее фильтрационное несовершенство скважины или колодца; $\beta = \frac{Q_0}{Q}$ — отношение расхода рассматриваемой скважины Q_0 к общему расходу водозабора Q.

Расход водозаборного сооружения может быть найден по следующей зависимости:
для напорных пластов

$$Q = \frac{2\pi k m S_{доп}}{R_0 + \beta \zeta}; \tag{6}$$

для безнапорных пластов

$$Q = \frac{\pi k S_{доп} (2h_e - S_{доп})}{R_0 + \beta \zeta}. \tag{7}$$

Здесь $S_{доп}$ — максимально допустимое понижение уровня подземных вод.

Ниже приводятся указания по методике определения величин R, R_0 и ζ. Следует иметь в виду, что величины R_0, β и ζ в формулах (6) и (7) должны определяться для скважин (колодцев), работающих на наиболее нагруженном участке водозабора, где ожидается наибольшее понижение уровня подземных вод.

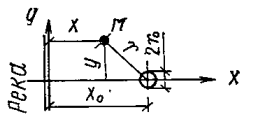
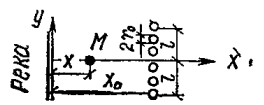
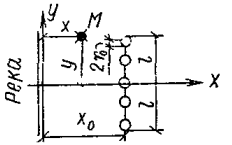
РАСЧЕТЫ БЕРЕГОВЫХ ВОДОЗАБОРОВ (В ДОЛИНАХ РЕК)

6.4. Важнейшим фактором, определяющим условия эксплуатации береговых водозаборов, является наличие постоянных поверхностных водотоков, с которыми гидравлически связаны водоносные горизонты. Благодаря этому производительность береговых водозаборов обеспечивается в основном за счет фильтрации речных вод. Привлечение поверхностного стока приводит к быстрой стабилизации уровней подземных вод в скважинах береговых водозаборов.

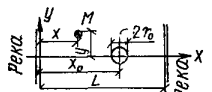
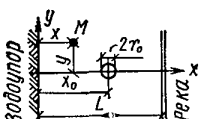
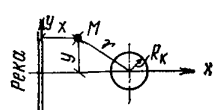
В табл. 10 приведены расчетные зависимости для определения гидравлических сопротивлений R и R_0 при работе водозаборов различного типа вблизи совершенных рек в условиях установившейся фильтрации. Под совершенными в фильтрационном отношении реками понимаются такие, в которых фильтрация поверхностных вод в водоносный пласт через русловые отложения происходит без существенных потерь напора и деформации потока в подрусловой зоне, в связи с чем уровни подземных и поверхностных вод на урезе реки практически совпадают. К совершенным рекам можно отнести реки значительной ширины (ширина больше мощности водоносного горизонта под руслом реки) без большого слоя донного

Таблица 10

Зависимости для расчета водозаборов в долинах рек

Тип водозабора	Схема пласта	Сопротивление	№ формулы	Сопротивление	№ формулы	Примечания
Скважина		$R = \ln \frac{\rho}{r}$	(1)	$R_0 = \ln \frac{2x_0}{r_0}$	(2)	$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + y^2}$ $\rho = \sqrt{(x + x_0)^2 + y^2}$
Линейный ряд		$R = \begin{cases} \pi \frac{x}{l} & x < x_0 \\ \pi \frac{x_0}{l} & x > x_0 \end{cases}$	(3)	$R_0 = \pi \frac{x_0}{l} + \frac{1}{n} \ln \frac{l}{\pi r_0 n}$	(4)	$l > (3-4)\, x_0$ n — количество скважин
		$R = \ln \frac{\rho_{пр}}{r_{пр}} + f(\bar{x}, \bar{y}) - f(\bar{x}', \bar{y})$	(5)	$R_0 = \frac{1}{2} \ln \frac{4x_0^2 + l^2}{l^2} + \frac{2x_0}{l} \operatorname{arctg} \frac{l}{2x_0} + \frac{1}{n} \ln \frac{l}{\pi r_0 n}$	(6)	$l < (3-4)\, x_0$ $r_{пр} = \sqrt{(x_0 - x)^2 + y^2 + l^2}$ $\rho_{пр} = \sqrt{(x + x_0)^2 + y^2 + l^2}$ $\bar{x} = \frac{\lvert x_0 - x \rvert}{l}$; $\bar{y} = \frac{\lvert y \rvert}{l}$; $\bar{x}' = \frac{x_0 + x}{l}$ n — количество скважин

Продолжение табл. 10

Тип водозабора	Схема пласта	Сопротивление	№ формулы	Сопротивление	№ формулы	Примечания
Скважина		$R=\frac{1}{2}\ln\left[\frac{\operatorname{ch}2\xi-\cos 2(\eta+\lambda)}{\operatorname{ch}2\xi-\cos 2(\eta-\lambda)}\right]$	(7)	$R_0=\ln\frac{0{,}64\,L\sin 2\lambda}{r_0}$	(8)	$\xi=\frac{\pi y}{2L};\ \eta=\frac{\pi x}{2L}$ $\lambda=\frac{\pi x_0}{2L}$
		$R=\frac{1}{2}\ln\left\{\frac{[\operatorname{ch}\xi+\cos(\eta+\lambda)]}{[\operatorname{ch}\xi-\cos(\eta+\lambda)]}\times\frac{[\operatorname{ch}\xi+\cos(\eta-\lambda)]}{[\operatorname{ch}\xi-\cos(\eta-\lambda)]}\right\}$	(9)	$R_0=\ln\frac{1{,}27\,L\operatorname{ctg}\lambda}{r_0}$	(10)	
Колодец		$R=\ln\frac{\rho}{r}$	(11)	$R_0=\ln\frac{3{,}3\,x_0}{R_к}$	(12)	$r=\sqrt{(x-x_0)^2+y^2}$ $\rho=\sqrt{(x+x_0)^2+y^2}$

илистого или кольматированного материала, препятствующего фильтрации речных вод в водоносные пласты.

Условные обозначения к формулам, приведенным в табл. 10, даны в примечаниях и на соответствующих схемах. Численные значения функции $f(\bar{x}, \bar{y})$, используемой в формуле (5) табл. 10, даны в табл. 11.

Таблица 11

Значения функции $f(\bar{x}, \bar{y})$

x	$f(\bar{x}, \bar{y})$ при $\bar{y}$, равном					
	0	1	1,2	1,5	2	2,5
0	1	0,65	0,42	0,23	0,16	0,1
0,5	0,45	0,35	0,3	0,22	0,14	0,09
1	0,21	0,19	0,18	0,15	0,11	0,08
1,5	0,12	0,11	0,11	0,1	0,08	0,06
2	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05
2,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04

Приведенные в табл. 10 зависимости можно использовать также для расчета нескольких взаимодействующих водозаборов при различном их расположении. В этом случае суммарное понижение уровня $S_{сум}$ можно найти по формулам:
для напорных потоков

$$S_{сум} = \sum_{i=1}^{n} S_i ; \qquad (8)$$

для безнапорных потоков

$$S_{сум} = h_e - \sqrt{h_e^2 - \sum_{i=1}^{n} (2h_e - S_i)\, S_i} , \qquad (9)$$

где S_i — понижение, обусловленное действием отдельного i-го водозабора ($i=1, 2, ..., n$); n — общее количество водозаборов.

Пример расчета. Пусть водозабор состоит из трех скважин, расположение которых указано на рис. 15. Требуется найти понижение в скв. 2. Дебиты скважин одинаковы и равны $Q=2$ тыс. м^3/сут. Величина водопроводимости напорного пласта равна $km=500$ м^2/сут. Радиус скв. 2 $r_0=0{,}2$ м, скважина совершенная.

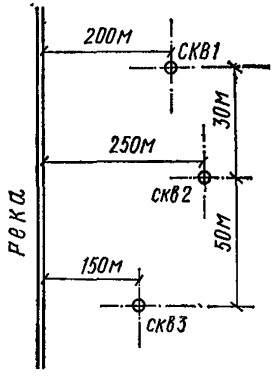


Рис. 15. Схема к примеру расчета

Общее понижение уровня в скв. 2 найдем по формуле (8), которая в данном случае будет иметь вид:

$$S_{\text{сум}} = S_1 + S_2 + S_3,$$

где S_1 и S_3 — срезка уровня на скв. 2 соответственно от скв. 1 и 3., S_2 — понижение уровня, обусловленное действием скв. 2.

Находим соответствующие гидравлические сопротивления (табл. 10):

для скв. 1 и для скв. 3 } [формула (1)], табл. 10

$$R_1 = \ln \frac{\sqrt{(250+200)^2+30^2}}{\sqrt{(250-200)^2+30^2}} = 2{,}05;$$

$$R_3 = \ln \frac{\sqrt{(250+150)^2+50^2}}{\sqrt{(250-150)^2+50^2}} = 1{,}28;$$

для скв. 2 [формула (2)], табл. 10

$$R_2 = \ln \frac{2 \cdot 250}{0{,}2} = 7{,}82.$$

Отсюда по формуле (3):

$$S_1 = \frac{2000}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 500} 2{,}05 = 1{,}3 \text{ м};$$

$$S_2 = \frac{2000}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 500} 7{,}82 = 4{,}6 \text{ м};$$

$$S_3 = \frac{2000}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 500} 1{,}28 = 0{,}8 \text{ м}.$$

Следовательно,

$$S_{\text{сум}} = 1{,}3 + 4{,}6 + 0{,}8 = 6{,}7 \text{ м}.$$

РАСЧЕТЫ ВОДОЗАБОРОВ В АРТЕЗИАНСКИХ БАССЕЙНАХ (НЕОГРАНИЧЕННЫЕ ПЛАСТЫ)

6.5. Для артезианских бассейнов характерно этажное строение водоносной толщи. Хорошо проницаемые водоносные отложения чередуются здесь с водоупорными или слабопроницаемыми разделными слоями. В соответствии с этим можно выделить следующие расчетные схемы:

1) изолированные не ограниченные по площади водоносные горизонты;

2) слоистые водоносные горизонты.

6.6. Изолированные неограниченные пласты характеризуются отсутствием внешних источников питания подземных вод. Дебиты водозаборов обеспечиваются притоком воды за счет осушения водоносных пород (статические запасы) и сработки напоров подземных вод (упругие запасы). В связи с этим при эксплуатации водозаборных сооружений даже в течение весьма длительного време-

ни имеет место неустановившаяся фильтрация, т. е. уровни подземных вод при работе водозаборов непрерывно снижаются.

Эксплуатация водозаборов в изолированных неограниченных пластах сопровождается обычно образованием обширных воронок депрессии, захватывающих площади в десятки и даже сотни квадратных километров. При проектировании водозаборов здесь необходимо учитывать возможное влияние намечаемого водоотбора на существующие водозаборные сооружения.

Основные расчетные зависимости для определения гидравлических сопротивлений R и R_0 при работе водозаборов в изолированных неограниченных пластах приведены в табл. 12.

Обозначения, используемые в таблице, даны в примечаниях и на соответствующих схемах. Кроме того, используются следующие обозначения: t — время, на которое рассчитывается понижение уровня подземных вод; a — коэффициент пьезопроводности пласта; $a = \frac{km}{\mu}$; μ — водоотдача пород; $r_{вл} = 1{,}5\sqrt{at}$; $f(\bar{x}, \bar{y})$ — функция, численные значения которой даны в табл. 11.

6.7. Все приведенные в таблице расчетные зависимости справедливы при постоянном расходе водозаборных сооружений. В случае, если дебит водозабора изменяется во времени, следует представить действительный график изменения расхода водозабора ступенчатой линией. Тогда понижения уровня подземных вод находятся по формулам, указанным в таблицах, в которых величина Q принимается равной начальному значению дебита водозабора Q_1, а вместо гидравлического сопротивления подставляется величина $\overline{R}$, равная:

$$\overline{R} = \sum_{j=1}^{k} \beta_j R\ (t - t_j), \qquad (10)$$

где $R(t-t_j)$ — гидравлическое сопротивление при постоянном расходе (см. табл. 12), которое определяется на момент времени $(t-t_j)$; t_j — время начала действия j-й ступени; j — номер ступени с постоянным средним значением расхода водозабора;

$$\beta_j = \frac{Q_j - Q_{j-1}}{Q_1}; \quad \beta_1 = 1;$$

k — количество выделенных ступеней изменения дебита водозабора.

6.8. Расчет понижений уровня при заданном постоянном уровне на водозаборе при достаточно большом времени $\left(\frac{at}{r_0^2} > 500;\ r_0 —\right.$ размеры водозабора в плане) приближенно может быть проведен по следующим формулам:

$$S = \frac{Q\ (t)}{4\pi\, km}\ R; \quad Q\ (t) = \frac{4\pi\, km\, S_0}{R_0}. \qquad (11)$$

Здесь R — по-прежнему гидравлическое сопротивление водозабора при постоянном расходе; R_0 — значение этого сопротивления в точке расположения водозабора; $Q(t)$ — изменяющийся во времени расход водозабора, S_0 — заданное понижение уровня на водозаборе.

Таблица 12

Зависимости для расчета водозаборов в изолированных неограниченных пластах

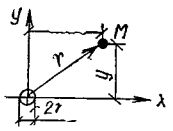
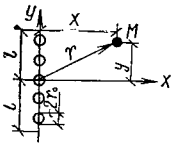
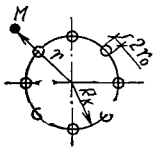
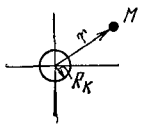
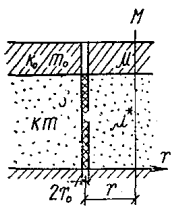
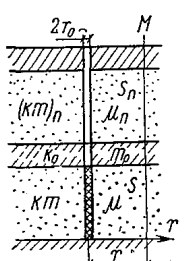
Тип водозабора	Схема водозабора	Сопротивление	№ формулы	Сопротивление	№ формулы	Примечания
Скважина		$R = \ln \frac{r_{вл}}{r}$	(1)	$R_0 = \ln \frac{r_{вл}}{r_0}$	(2)	$\frac{r^2}{4at} < 0{,}1$ $r = \sqrt{x^2 + y^2}$
Линейный ряд		$R = \ln \frac{r_{вл}}{r_{пр}} + f(\bar{x}, \bar{y})$	(3)	$R_0 = \ln \frac{2{,}7\, r_{вл}}{l} + \frac{1}{n} \ln \frac{l}{\pi r_0 n}$	(4)	$\frac{(x+l)^2 + y^2}{4at} < 0{,}1$ $r_{пр} = \sqrt{x^2 + y^2 + l^2}$ $\bar{x} = \frac{x}{l}$; $\bar{y} = \frac{y}{l}$ n — количество скважин
Кольцевая система		$R = \ln \frac{r_{вл}}{r}$	(5)	$R_0 = \ln \frac{r_{вл}}{R_к} + \frac{1}{n} \ln \frac{R_к}{n r_0}$	(6)	$\frac{r^2}{4at} < 0{,}1$ n — количество скважин
Колодец		$R = \ln \frac{r_{вл}}{r}$	(7)	$R_0 = \ln \frac{1{,}65\, r_{вл}}{R_к}$	(8)	$\frac{r^2}{4at} < 0{,}1$

Таблица 13

Зависимости для расчета водозаборов в слоистых пластах

Тип пласта	Схема пласта	Сопротивление	№ формулы	Сопротивление	№ формулы	Примечания
Двухслойный		$R = \ln \frac{r_{вл}}{r}$	(1)	$R_0 = \ln \frac{r_{вл}}{r_0}$	(2)	$\frac{r^2}{4at} < 0{,}1$ $\frac{k_0 t}{m_0 \mu} > 3-5$ $r_{вл} = 1{,}5\sqrt{a^* t}$ $a^* = \frac{km}{\mu + \mu^*}$
Трехслойный		а) $S_п > 0$ $R = \frac{1}{1+\nu}\left[\nu \ln \frac{r_{вл}}{r} + K_0\left(\frac{r}{B}\right)\right]$ (3) б) $S_п \approx 0$ $R = K_0\left(\frac{r}{B}\right)$ (4)	а) $S_п > 0$ $R_0 = \ln \frac{r_{вл}}{r_0} + \frac{1}{1+\nu} \ln \frac{1{,}12\,B}{r_{вл}}$ (5) б) $S_п \approx 0$ $R_0 = \ln \frac{1{,}12\,B}{r_0}$ (6)		$\frac{km\,t}{B^2 \mu} > \lvert 1-\theta \rvert \frac{\nu}{(1+\nu)^2} > 1-2$ $r_{вл} = 1{,}5\sqrt{a^* t}$ $a^* = \frac{km + (km)_п}{\mu + \mu_п}$ $\frac{1}{B^2} = \frac{k_0}{m_0}\left[\frac{1}{km} + \frac{1}{(km)_п}\right]$ $\nu = \frac{km}{(km)_п}$; $\theta = \frac{km\,\mu_п}{(km)_п \mu}$

Понижения уровня при действии нескольких водозаборов находятся по рекомендациям, изложенным в п. 6.4 [формулы (8) и (9)].

6.9. В слоистых водоносных пластах формирование запасов подземных вод происходит под влиянием перетекания подземных вод в эксплуатируемый горизонт из соседних питающих пластов через слабопроницаемые раздельные слои в кровле или подошве горизонта. Режим работы водозабора в общем случае — неустановившийся, но при больших запасах воды в питающих пластах и интенсивном перетекании понижения уровней на водозаборе могут стабилизироваться.

Основные расчетные зависимости для определения гидравлических сопротивлений R и R_0 приведены в табл. 13. Формулы (1) и (2) табл. 13 относятся к случаю, когда верхний слой имеет весьма слабую проницаемость ($k_0 \ll k$), содержит воды со свободной поверхностью и обладает значительной водоотдачей ($\mu \gg \mu^*$). Нижний — эксплуатируемый пласт сложен хорошо проницаемыми породами. Такая схема характерна для неглубоко залегающих артезианских водоносных пластов.

В схеме трехслойной толщи эксплуатируемый пласт гидравлически связан с соседним питающим водоносным горизонтом с параметрами $(km)_п$ и $\mu_п$. Эта связь осуществляется путем перетекания подземных вод из питающего пласта в эксплуатируемый через раздельный слой с параметрами k_0, m_0. Если при этом понижения уровня воды в питающем водоносном горизонте невелики ($S_п \approx 0$), то по истечении некоторого времени фильтрация подземных вод к водозабору приобретает установившийся характер [формулы (4) и (6) табл. 13]. Численные значения функции $K_0(z)$ даны в табл. 14.

Расчетные зависимости, приведенные в табл. 13, характеризуют работу одиночной скважины. При расчете системы взаимодействующих скважин следует использовать рекомендации, данные в п. 6.4 [формулы (8) и (9)].

Таблица 14

Значения функций $K_0(z)$, $erfc(z)$ и $ierfc(z)$

z	$K_0(z)$	$erfc(z)$	$ierfc(z)$	z	$K_0(z)$	$erfc(z)$	$ierfc(z)$
0		1	0,56	0,6	0,78	0,40	0,16
0,02	4,03	0,98	0,54	0,7	0,66	0,34	0,12
0,04	3,34	0,95	0,53	0,8	0,57	0,26	0,09
0,06	2,93	0,93	0,51	0,9	0,49	0,20	0,07
0,08	2,65	0,91	0,49	1	0,42	0,16	0,05
0,1	2,43	0,89	0,47	1,1	0,37	0,12	0,04
0,15	2,03	0,83	0,43	1,2	0,32	0,09	0,03
0,2	1,75	0,78	0,39	1,3	0,28	0,07	0,02
0,25	1,54	0,73	0,35	1,4	0,24	0,05	0,01
0,3	1,37	0,67	0,31	1,5	0,21	0,03	0,01
0,35	1,23	0,62	0,28	1,6	0,19	0,02	0,01
0,4	1,11	0,57	0,25	1,7	0,17	0,02	0
0,45	1,01	0,52	0,22	1,8	0,15	0,01	
0,5	0,92	0,48	0,20	2	0,11	0	

Пример расчета. Напорный водоносный горизонт (коэффициент фильтрации $k=20$ м/сут, мощность $m=50$ м, упругая водоотдача $\mu^*=10^{-4}$) перекрыт сверху слоем суглинка мощностью $m_0=10$ м с коэффициентом фильтрации $k_0=0{,}1$ м/сут и водоотдачей $\mu=0{,}08$. В суглинках развит безнапорный поток, гидравлически связанный с нижележащим напорным пластом. Требуется найти понижение уровня в совершенной скважине ($r_0=0{,}2$ м) при отборе $Q=$ $=4$ тыс. м³/сут в течение 25 лет $\approx 10^4$ сут.

Для расчета используем формулу (2) табл. 13.

Обобщенный коэффициент пьезопроводности в данном случае равен

$$a^* = \frac{20 \cdot 50}{0{,}08 + 10^{-4}} = 1{,}25 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{сут}.$$

Следовательно,

$$r_{вл} = 1{,}5 \sqrt{1{,}25 \cdot 10^4 \cdot 10^4} = 1{,}68 \cdot 10^4 \text{ м}.$$

Тогда

$$R_0 = \ln \frac{1{,}68 \cdot 10^4}{0{,}2} = 11{,}3,$$

а понижение уровня по формуле (3)

$$S = \frac{4000}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 20 \cdot 50} 11{,}3 = 7{,}2 \text{ м}.$$

РАСЧЕТЫ ВОДОЗАБОРОВ В ОГРАНИЧЕННЫХ (ЗАКРЫТЫХ, ПОЛУЗАКРЫТЫХ) ВОДОНОСНЫХ ПЛАСТАХ

6.10. Под закрытыми пластами понимаются структуры, ограниченные со всех сторон непроницаемыми контурами, через которые приток воды практически можно считать равным нулю. В полузакрытых структурах непроницаемые границы лишь частично закрывают пласт.

Основными источниками питания водозаборов здесь являются упругая и гравитационная водоотдача пород, слагающих пласт, а также статические запасы воды в краевых частях структуры, где водоносные горизонты выходят на поверхность. При эксплуатации водозаборов в закрытых и полузакрытых структурах обычно имеет место неустановившийся режим фильтрации.

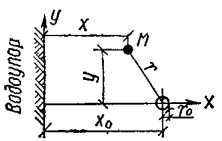
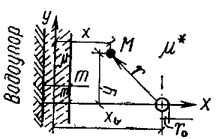
В табл. 15 приведены формулы для определения гидравлических сопротивлений R и R_0. Обозначения к ним даны в примечаниях. Рассмотрены ограниченные пласты с 1—2 непроницаемыми границами и полностью закрытые водоносные горизонты.

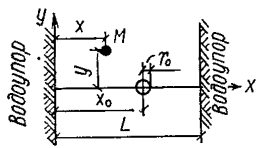
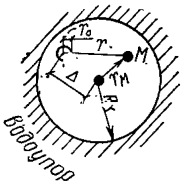
В табл. 15 дан также случай, когда при работе водозабора, располагающегося в области напорных вод (водоотдача μ^*), происходит осушение пласта на участке выхода его на поверхность (водоотдача μ) [формула (3) и (4)]. Численные значения специальных функций *erfc* и *ierfc*, входящих в некоторые формулы табл. 15, даны в табл. 14.

Расчет взаимодействующих скважин в ограниченных пластах может быть выполнен по формулам (8) и (9) п. 6.4.

Таблица 15

Зависимости для расчета водозаборов в ограниченных пластах

Тип пласта	Схема водозабора	Сопротивление	№ формулы	Сопротивление	№ формулы	Примечания
Полуограниченный		$R = 2 \ln \frac{r_{вл}}{\sqrt{r\rho}}$	(1)	$R_0 = 2 \ln \frac{r_{вл}}{\sqrt{2 x_0 r_0}}$	(2)	$\frac{\rho^2}{4at} < 0{,}1$ $r = \sqrt{(x-x_0)^2 + y^2}$ $\rho = \sqrt{(x+x_0)^2 + y^2}$ $r_{вл} = 1{,}5\sqrt{at}$
Полуограниченный с осушением		$R = 2 \ln \frac{r_{вл}}{\sqrt{r\rho}} - \mu \sqrt{\frac{\pi m}{k\mu^* t}} \times \times e^{-\frac{y^2}{4a^* t}} erfc \frac{x+x_0}{2\sqrt{a^* t}}$	(3)	$R_0 = 2 \ln \frac{r_{вл}}{\sqrt{2 x_0 r_0}} - \mu \sqrt{\frac{\pi m}{k\mu^* t}} \times \times erfc \frac{x_0}{2\sqrt{a^* t}}$	(4)	$\frac{\sqrt{a^* t}}{x_0} > 2 \frac{\mu m}{\mu^* x_0}$; $\frac{\sqrt{a^* t}}{x_0} > 3$ $r = \sqrt{(x-x_0)^2 + y^2}$; $r_{вл} = 1{,}5\sqrt{a^* t}$, $\rho = \sqrt{(x+x_0)^2 + y^2}$; $a^* = \frac{km}{\mu^*}$

Тип пласта	Схема водозабора	Сопротивление	№ формулы	Сопротивление	№ формулы	Примечания
Пласт-полоса		$R = 2\pi \frac{\sqrt{at}}{L}\, ierfc \frac{y}{2\sqrt{at}} + \xi - \frac{1}{2} \ln 4 \times [\mathrm{ch}\,\xi - \cos(\eta + \lambda)] \times [\mathrm{ch}\,\xi - \cos(\eta - \lambda)]$	(5)	$R_0 = 3{,}55 \frac{\sqrt{at}}{L} + \ln \frac{0{,}16\,L}{r_0 \sin\lambda}$	(6)	$\frac{at}{L^2} > 1$ $\xi = \frac{\pi y}{L};\ \eta = \frac{\pi x}{L}$ $\lambda = \frac{\pi x_0}{L}$
Пласт-круг		$R = 2 \frac{at}{R_к^2} + \ln \frac{R_к}{r^*}$	(7)	$R_0 = 2 \frac{at}{R_к^2} + \ln \frac{R_к}{r_0^*}$	(8)	$\frac{at}{R_к^2} > 1 - 1{,}5;\ r^* = \psi r;$ $\psi = \frac{e^{\nu}}{R_к^2} \times \frac{\sqrt{(R_к^2 - \Delta^2)(R_к^2 - r_м^2) + R_к^2 r^2}}{}$ $\nu = \frac{3}{4} - \frac{1}{2} \frac{r_м^2 - \Delta^2}{R_к^2}$ $r^0 = 2{,}1\, r_0 \frac{R_к^2 - \Delta^2}{R_к^2}$

ПЕРИОДИЧЕСКИ ДЕЙСТВУЮЩИЕ ВОДОЗАБОРЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

6.11. Водозаборы при таком режиме устраиваются в случае периодически изменяющегося водопотребления. В частности, это имеет место при использовании подземных вод для орошения, когда водозаборы включаются в эксплуатацию только в вегетационный период. График водоотбора при этом имеет циклический характер и повторяется из года в год (рис. 16). Аналогично и уровни подземных вод на водозаборе испытывают периодические колебания. Понижения уровня могут быть найдены по формуле

$$S = S_{ср} + \Delta S, \qquad (12)$$

где $S_{ср}$ — среднее понижение уровня, обусловленное постоянным во времени средним водоотбором $Q_{ср}$, причем

$$Q_{ср} = \frac{Q t_0}{T}, \qquad (13)$$

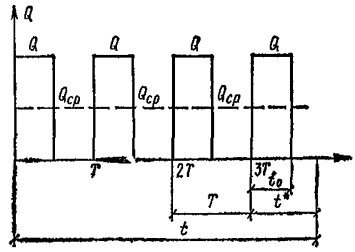


Рис. 16. График периодического водоотбора

где $Q_{ср}$ — средний расход водозабора в период его эксплуатации; t_0 — длительность периода работы водозабора (при орошении — продолжительность поливного периода); T — длительность полного цикла работы водозабора (обычно год).

Понижение $S_{ср}$ находится по соотношениям (3) и (4), в которых $Q = Q_{ср}$. Гидравлические сопротивления R или R_0 в зависимости от строения водоносного пласта рассчитываются на момент времени t от начала первого включения водозабора.

Величина ΔS в формуле (12) представляет собой дополнительные колебания уровня относительно среднего положения. Приближенно она может быть оценена по следующей формуле:

$$\Delta S = \frac{Q}{2\pi km}\left[\left(1 - \frac{t_0}{T}\right) R\,(t^*) - R\,(t^* - t_0)\right]. \qquad (14)$$

Здесь $R(t^*)$ — гидравлическое сопротивление R (или R_0) при $t = t^*$; t^* — время от начала последнего включения водозабора; $R(t^* - t_0)$ — гидравлическое сопротивление R при $t = t^* - t_0$.

Максимальное понижение уровня будет при $t^* = t_0$. Тогда второй член в квадратных скобках в формуле (14) равен нулю.

Таким образом, при периодической эксплуатации водозабора темп сработки уровня и использование запасов подземных вод определяются в значительной мере средним расходом водозабора за все время эксплуатации.

Пример расчета. В напорном водоносном горизонте с параметрами $km = 300$ м²/сут, $a = 10^5$ м²/сут работает водозаборная скважина ($r_0 = 0{,}2$ м). Отбираемая вода используется для орошения, в связи с чем скважина эксплуатируется лишь 4 месяца в году с расходом $Q = 3$ тыс. м³/сут. Требуется определить максимальное понижение уровня на скважине при эксплуатации ее в течение 25 лет $= 10^4$ сут.

Так как скважина работает в изолированном неограниченном пласте, для расчетов используем формулу (2) табл. 12.

Прежде всего найдем среднее понижение уровня $S_{ср}$. Для этого по формуле (13) определяем среднюю величину водоотбора $Q_{ср}$. В данном случае $t_0=4$ мес≈ 120 сут, $T=365$ сут, следовательно:

$$Q_{ср} = 3000\ \frac{120}{365} = 986\ \text{м}^3/\text{сут}.$$

Радиус влияния равен $r_{вл}=1{,}5\sqrt{10^5\cdot 10^4}=4{,}5\cdot 10^4$ м.

При этом по формуле (2) табл. 12 находим

$$R_0 = \ln \frac{4{,}5\cdot 10^4}{0{,}2} = 12{,}3.$$

Следовательно, по формуле (3)

$$S_{ср} = \frac{986}{2\cdot 3{,}14\cdot 300}\ 12{,}3 = 6{,}4\ \text{м}.$$

Дополнительное колебание уровня ΔS будет наибольшим в конце периода эксплуатации скважины, т. е. при $t^*=t_0=120$ сут, поэтому гидравлическое сопротивление $R(t^*)$ в формуле (14) определяем именно на этот момент времени. Радиус влияния, соответствующий $t=t_0$, равен

$$r_{вл} = 1{,}5\ \sqrt{10^5\cdot 120} = 5{,}2\cdot 10^3\ \text{м}$$

и по формуле (2) табл. 13 получаем

$$R_0\ (t^*) = \ln \frac{5{,}2\cdot 10^3}{0{,}2} = 10{,}2$$

и, следовательно, [формула (14)]

$$\Delta S = \frac{3000}{2\cdot 3{,}14\cdot 300}\left(1 - \frac{120}{365}\right) 10{,}2 = 10{,}9\ \text{м}.$$

Таким образом, максимальное понижение уровня в водозаборной скважине составит:

$$S = 6{,}4 + 10{,}9 = 17{,}3\ \text{м}.$$

ОЦЕНКА «ПЛАНОВОЙ (ПО ПЛОЩАДИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ) ФИЛЬТРАЦИОННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ВОДОНОСНЫХ ПЛАСТОВ

6.12. Плановая неоднородность водоносных пластов обусловлена изменением фильтрационных параметров (водопроводимости и коэффициента пьезопроводности) по простиранию водоносных горизонтов. Выделяются следующие типовые схемы неоднородного в плане пласта:

1) неоднородный пласт, состоящий из двух зон с прямолинейной границей раздела;

2) неоднородный пласт, состоящий из двух зон с круговой границей раздела.

Понижения уровня в случае неоднородного строения водоносного пласта находятся по формулам (3) и (4), в которых $km=(km)_1$, а гидравлическое сопротивление $R=R_1$, если понижение уровня находится в зоне *I*, где располагается скважина, и $R=R_2$, если исследуемая точка находится в соседней зоне *II* (см. схемы в табл. 16).

Расчетные зависимости для определения сопротивлений R_1 и R_2, а также R_0, характеризующего уровни на скважине, приведены в табл. 16. Численные значения функции Δ, используемой в формулах (1)—(3) табл. 16, даны в табл. 17 в зависимости от параметров

$$\nu=\frac{(km)_1}{(km)_2} \quad \text{и} \quad \theta=\frac{a_1}{a_2}.$$

Взаимодействующие скважины в неоднородном пласте могут быть рассчитаны по формулам (8) и (9) п. 6.4.

6.13. Реальные водоносные горизонты обычно имеют более сложное строение, чем в представленных в табл. 16 схемах неоднородного пласта. Это относится прежде всего к величине водопроводимости пласта, которая подвержена гораздо большим изменениям, чем коэффициент пьезопроводности.

Для приближенной оценки производительности водозаборов в сложных условиях можно использовать следующие практические приемы.

Вся исследуемая область в пределах зоны влияния водозабора схематично представляется в виде двух областей. В первой, в которой располагается водозабор, сохраняется присущее этой области значение водопроводимости; во второй, соседней области, величина водопроводимости осредняется

$$(km)_{ср}=\frac{(km)_1 F_1+(km)_2 F_2+\ldots+(km)_n F_n}{F_1+F_2+\ldots+F_n}, \qquad (15)$$

где $(km)_1$, $(km)_2$, ..., km_n — водопроводимости пласта в различных зонах; F_1, F_2, ... F_n — площади этих зон в области влияния водозабора.

Дальнейший расчет водозаборного сооружения проводится в зависимости от вида полученной таким образом схематизированной области по формулам (1)—(3) или (4)—(6) табл. 16.

При этом, если водоносный пласт в пределах области влияния водозаборного сооружения всюду имеет напорный характер или всюду является безнапорным, то коэффициент пьезопроводности пласта можно принять одинаковым (средним) для всей области. Тогда функция Δ в формулах (2)—(3) будет равна нулю. Если же в пределах исследуемой области имеет место напорно-безнапорная фильтрация, величина поправки Δ может быть оценена по табл. 17.

Таблица 16

Зависимости для расчета водозаборов в неоднородных пластах

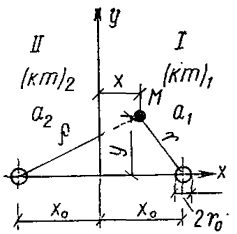
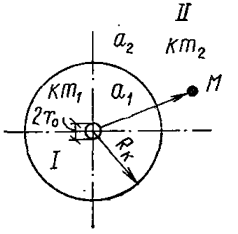
Граница раздела	Схема пласта	Сопротивление	№ формулы	Сопротивление	№ формулы	Примечания
Прямолинейная		$R_1 = \ln \frac{r_{вл}}{r} +$ $+ \lambda \ln \frac{r_{вл}}{\rho} + \frac{1}{2} \Delta$ $R_2 = \frac{2\nu}{1+\nu} \ln \frac{r_{вл}}{r} +$ $+ \frac{1}{2} \Delta$	(1) (2)	$R_0 = \ln \frac{r_{вл}}{r_0} +$ $+ \lambda \ln \frac{r_{вл}}{2x_0} + \frac{1}{2} \Delta$	(3)	$\frac{a_1 t}{\rho^2} > 100$ $r_{вл} = 1{,}5 \sqrt{a_1 t}$ $r = \sqrt{(x-x_0)^2 + y^2}$ $\rho = \sqrt{(x+x_0)^2 + y^2}$ $\nu = \frac{(k\,m)_1}{(k\,m)_2}$ $\lambda = \frac{\nu - 1}{\nu + 1}$
Круговая		$R_1 = \ln \frac{R_к}{r} +$ $+ \nu \ln \frac{r_{вл}}{R_к}$ $R_2 = \nu \ln \frac{r_{вл}}{r}$	(4) (5)	$R_0 = \ln \frac{R_к}{r_0} +$ $+ \nu \ln \frac{r_{вл}}{R_к}$	(6)	$\frac{a_2 t}{R_к^2} > 1$ $r_{вл} = 1{,}5 \sqrt{a_2 t}$ $\nu = \frac{(k\,m)_1}{(k\,m)_2}$

Таблица 17

Значения функции Δ

$\theta=\frac{a_1}{a_2}$	Δ при $\nu=\frac{(km)_1}{(km)_2}$, равном								
	0,01	0,03	0,1	0,3	1	3	10	30	100
10^{-3}	0,12	0,30	0,65	0,99	0,90	0,60	0,24	0,09	0,03
10^{-2}	0,09	0,23	0,56	0,92	0,95	0,58	0,23	0,09	0,03
10^{-1}	0,04	0,12	0,34	0,64	0,74	0,48	0,20	0,07	0,02
10	0,05	0,13	0,39	0,91	1,53	1,42	0,75	0,31	0,10
10^2	0,09	0,26	0,79	1,90	3,55	3,96	2,65	1,27	0,45
10^3	0,13	0,37	1,15	2,84	5,60	6,98	5,77	3,46	1,45

Примечание. При $\theta<1$ $\Delta>0$; при $\theta=1$ $\Delta=0$; при $\theta>1$ $\Delta<0$.

УЧЕТ ФИЛЬТРАЦИОННОГО НЕСОВЕРШЕНСТВА ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН И КОЛОДЦЕВ

6.14. При расчете понижения уровня на водозаборах следует учитывать дополнительное фильтрационное сопротивление, обусловленное неполнотой вскрытия скважиной (колодцем) водоносного пласта ζ. Численные значения коэффициента ζ в зависимости от параметров $\frac{m}{r_0}$ и $\frac{l_ф}{m}$ (m — мощность водоносного горизонта; r_0 — радиус скважины или колодца; $l_ф$ — длина фильтра или вскрытая колодцем мощность водоносного пласта) приведены в табл. 18. Для безнапорных потоков следует принимать $m \approx h_e - \frac{S_0}{2}$; $l_ф = l_{ф.н} - \frac{S_0}{2}$ (где h_e — бытовая мощность грунтового потока; S_0 — понижение уровня в скважине; $l_{ф.н}$ — общая длина незатопленного фильтра). Табл. 18 отвечает наиболее распространенному случаю, когда фильтр скважины примыкает к кровле или к подошве водоносного пласта. При расположении фильтра в средней части пласта приведенные в таблице величины ζ должны быть уменьшены примерно в 1,8—2 раза.

Таблица 18

Значения сопротивления ζ

$\frac{l_ф}{m}$	ζ при $\frac{m}{r_0}$, равном							
	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	2,3	2,6
0,9	0,01	0,06	0,15	0,27	0,34	0,43	0,5	0,58

УЧЕТ ФИЛЬТРАЦИОННОГО НЕСОВЕРШЕНСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОТОКОВ

6.15. Под фильтрационным несовершенством рек понимается неполная врезка русел в водоносный пласт, а также заиленность русловых отложений и наличие в них слабопроницаемых глинистых прослоев и линз, затрудняющих фильтрацию воды из реки в водоносный пласт.

При значительной протяженности береговых водозаборов ($l > 2x_0$; l — половина длины водозабора; x_0 — расстояние от реки до водозабора), а также при относительно невысокой степени кольматированности русловых отложений несовершенство русла реки может быть учтено с помощью метода «дополнительного слоя». При этом в расчеты вместо истинного расстояния от реки до водозабора

x_0 или другой какой-либо точки пласта x вводятся соответственно величины $x_0+\Delta L$ и $x+\Delta L$, где ΔL — сдвижка уреза реки. Указанный метод применим при $b>0{,}1\,\Delta L$ (b — половина ширины реки).

При весьма значительной кольматированности речного русла и малой его ширине ($b<0{,}1\,\Delta L$) метод «дополнительного слоя» может дать значительную ошибку. В этом случае к определяемому по расчетным зависимостям для совершенной реки (см. табл. 10) понижению следует добавить величину $\Delta S_р$, которая находится по следующему соотношению:

$$\Delta S_р = \frac{Q}{2\pi k m} \ln [1{,}78\ (x + x_0)\ \alpha^2 b], \qquad (16)$$

где Q — суммарный расход скважин водозабора ($l<2x_0$);

$$\alpha = \sqrt{\frac{k_0}{k m m_0}}, \qquad (17)$$

k_0 — проницаемость илистых отложений в русле и слабопроницаемых отложений под руслом реки; m_0 — мощность этих слоев.

Параметры ΔL и α определяются по данным опытных и режимных наблюдений.

7. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ВОДОЗАБОРЫ [7, 27, 52, 59, 60]

ВИДЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВОДОЗАБОРОВ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

7.1. Горизонтальные водозаборы, как уже отмечалось в гл. 2, целесообразно применять для эксплуатации водоносных горизонтов небольшой мощности, подошва которых расположена на глубине до 8 м от поверхности земли. При необходимости использования водоносных горизонтов, залегающих на большей глубине, возможно с соответствующим обоснованием применение горизонтальных водозаборов бестраншейного типа, в частности водосборных штолен. В скальных породах горизонтальные водозаборы в виде водосборных штолен могут применяться на любой глубине залегания водоносных пород.

7.2. При питании водоносного горизонта из открытого водотока горизонтальный водозабор следует располагать параллельно урезу воды в водотоке. При направлении движения подземных вод со склонов долины водозабор должен располагаться вдоль ее тальвега. При направлении движения подземных вод вдоль оврага (балки) водозабор следует располагать поперек оврага (балки).

Для обеспечения подачи большего расхода воды целесообразно устройство горизонтального подруслового водозабора, расположенного под дном водотока.

7.3. В состав горизонтального водозабора входят (рис. 17):

а) водозахватное устройство, с помощью которого происходит отбор воды из водоносного горизонта;

б) водопроводящая (коллекторная) часть, служащая для отвода воды в водосборный колодец;

в) водосборный колодец (камера);

г) смотровые колодцы;

д) насосная станция (целесообразно ее совмещение с водосборным колодцем).

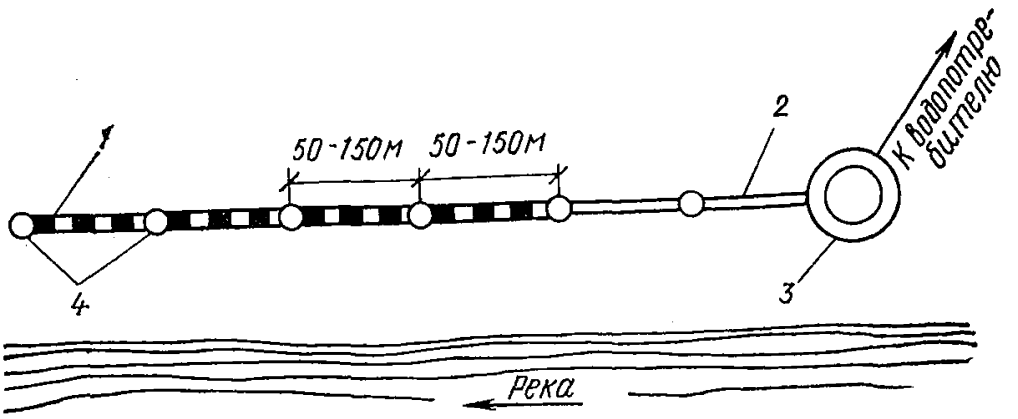


Рис. 17. Схема горизонтального водозабора

1 — водозахватная часть водозабора; *2* — водопроводящая (коллекторная) часть водозабора; *3* — водосборный колодец (камера); *4* — смотровые колодцы

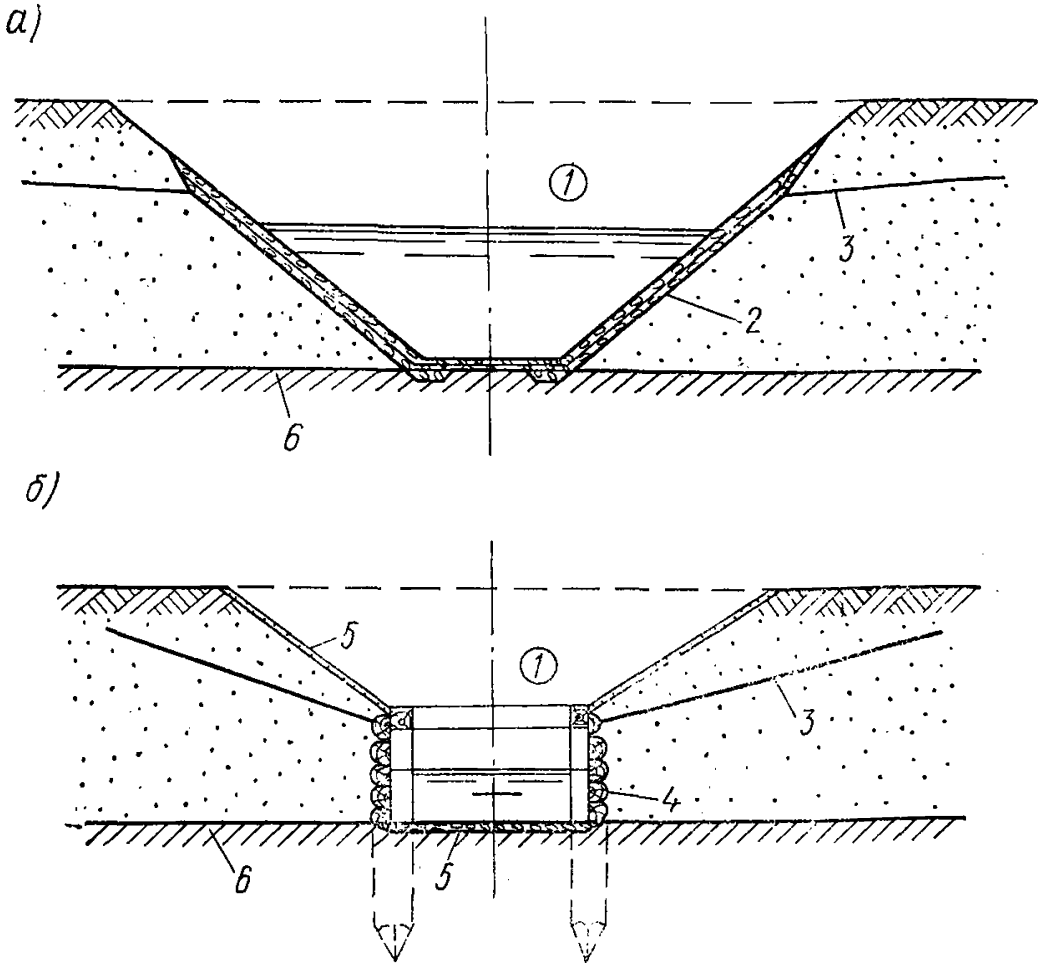


Рис. 18. Открытый дренажный канал-водосборник

а — водосборная часть трапецеидальной формы в траншее с откосами; *б* — водосборная часть прямоугольной формы с креплением траншеи; *1* — открытая земляная выемка; *2* — песчано-гравийный обратный фильтр; *3* — депрессионная кривая грунтовых вод; *4* — подпорная деревянная стенка; *5* — гравийная подсыпка; *6* — водонепроницаемые грунты

КОНСТРУКЦИИ И СПОСОБЫ УСТРОЙСТВА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВОДОЗАБОРОВ

7.4. В зависимости от тех или иных гидрогеологических и инженерных условий могут применяться следующие виды водозахватных устройств:

1) открытый дренажный канал-водосборник;
2) каменно-щебеночный водозабор;
3) трубчатый водозабор;
4) водосборная галерея;
5) водосборная штольня;
6) свайно-стоечный водозабор;
7) комбинированный горизонтальный водозабор со скважинами-усилителями.

7.5. Открытый дренажный канал (рис. 18) может применяться в разнообразных геолого-литологических и гидрогеологических условиях при использовании подземных вод для промышленного водоснабжения (для водопотребителей, допускающих II категорию надежности подачи воды; см. гл. 2 настоящего Руководства и п. 1.3 СНиП II-31-74).

В водоносных породах, склонных к суффозии или оплыванию, открытый канал осуществляется с откосами, принимаемыми в соответствии с физическими свойствами водовмещающих пород и условиями выхода воды, с покрытием нижней части откосов и дна канала фильтром. Крепление откосов может осуществляться укладкой гравийно-песчаного (каменнонабросного или щебеночного) обратного фильтра (рис. 18,*а*). Возможно устройство водоприемной части открытого водозабора, например, в виде деревянных подпорных стенок (рис. 18,*б*).

Водозабор строится в виде открытой траншейной выработки с экскавацией и удалением грунта. Крепление откосов и устройство обратного фильтра может выполняться насухо, например под защитой водоотлива (водопонижения), или подводным способом.

7.6. Каменно-щебеночные водозаборы (рис. 19) целесообразно применять для мелких водопотребителей (в сельскохозяйственном, пастбищном, жилищно-коммунальном водоснабжении), а также для систем временного водоснабжения (водопотребители III категории надежности).

Каменно-щебеночная дрена выполняется путем устройства траншеи, на дно которой по подготовке в виде обратного фильтра укладывается каменно-щебеночная призма. Эта призма окружается обсыпкой в виде обратного фильтра. В питьевых водозаборах фильтрующая обсыпка сверху закрывается экранирующим слоем глинистого грунта. Высота каменно-щебеночной дрены принимается равной 0,3—0,4 вскрытой мощности водоносного слоя. Дрена поверху засыпается грунтом выемки. Каменно-щебеночная дрена укладывается с уклоном 0,01—0,05 в сторону водосборного колодца (камеры) или бассейна, из которого производится водоотбор.

Обратная засыпка траншеи горизонтального водозабора после укладки фильтра в пределах водоносной толщи производится вынутым ранее, но незагрязненным грунтом. Поверхность земли на участке расположения горизонтального водозабора планируется с обеспечением стока воды за его пределы.

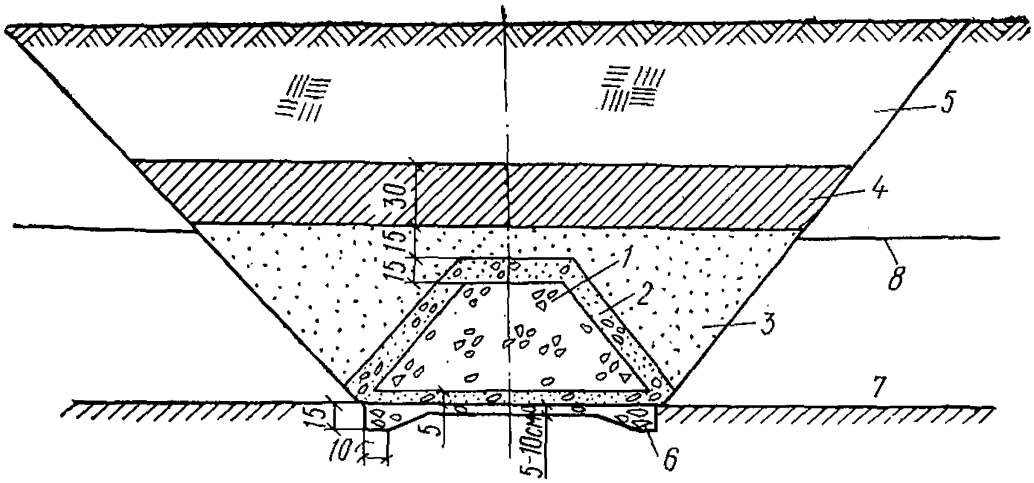


Рис. 19. Каменно-щебеночный водозабор

1 — каменно - щебеночная призма; *2* — гравийная засыпка средней крупности; *3* — засыпка крупнозернистым песком; *4* — экран из утрамбованной глины; *5* — обратная засыпка местным грунтом; *6* — бетонная подготовка; *7* — водонепроницаемые слои; *8* — депрессионная кривая грунтовых вод

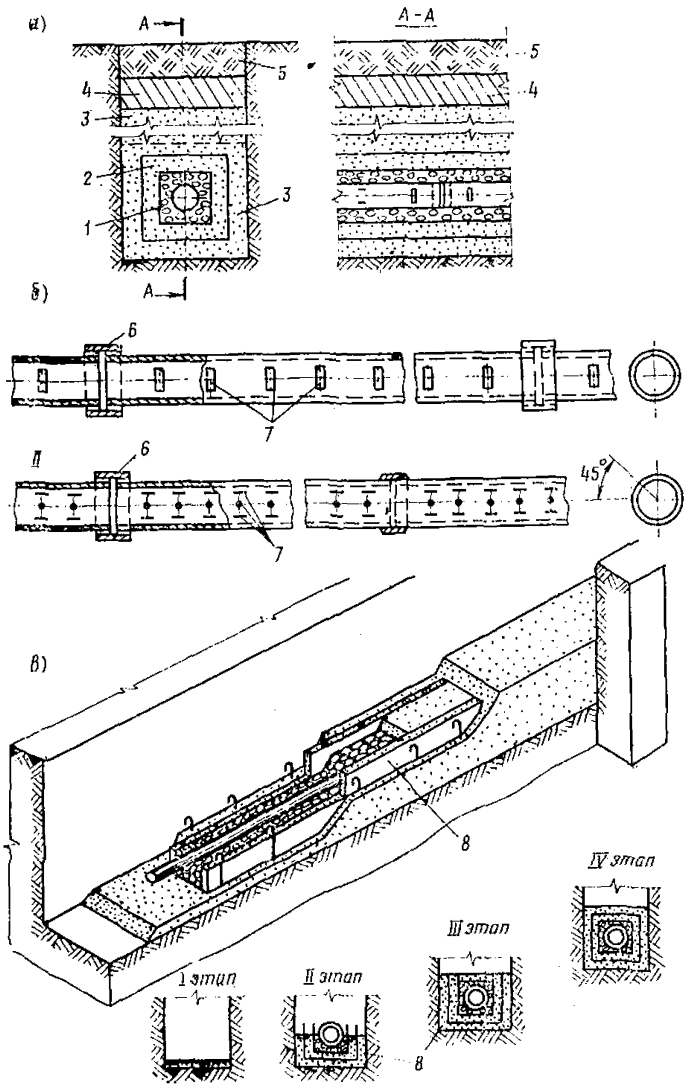


Рис. 20. Трубчатый водозабор

а — поперечный и продольный разрез по оси водозабора; *б* — схема стыковки *водосборных асбестоцементных* труб (*I* — с щелевыми отверстиями; *II* — с круглой или продольной перфорацией); *в* — устройство трубчатого водозабора в траншее с креплением; *1* — водосборная труба; *2* — песчано-гравийный фильтр; *3* — засыпка песчаная; *4* — глинистый экран; *5* — обратная засыпка местным грунтом; *6* — стыкование труб муфтами; *7* — водоприемные отверстия; *8* — крепление траншеи и засыпки инвентарными щитами

7.7. Трубчатые горизонтальные водозаборы (рис. 20) применяются в любых геолого-литологических и гидрогеологических условиях для водообеспечения мелких и средних водопотребителей II—III категории надежности в жилищно-коммунальном, сельскохозяйственном и пастбищном водоснабжении, а также для орошения дождеванием.

Водоприемная часть трубчатых водозаборов выполняется из керамических, асбестоцементных, железобетонных, чугунных, пластмассовых или стальных труб.

Водоприемные трубы обсыпаются фильтрующим песчано-гравийным материалом, который располагают в несколько слоев по принципу обратного фильтра с постепенным переходом от зернового состава водовмещающей породы к зерновому составу слоя фильтра, примыкающего к водоприемной части водозабора (рис. 20,*а*).

Механический состав отдельных слоев фильтра и соотношения между средними диаметрами зерен смежных слоев фильтра устанавливаются так же, как для гравийно-песчаных фильтров буровых скважин (см. гл. 5).

Толщина отдельных слоев фильтра должна быть не менее 150 мм. Высота водозахватной части трубчатых водозаборов, так же как и каменно-щебеночных дрен, устраиваемых в траншеях, принимается равной 0,3—0,4 вскрытой мощности водоносного горизонта.

Водоприемные трубы снабжаются круглыми или щелевидными отверстиями (рис. 20,*б*), предпочтительно расширяющимися внутрь трубы, а при больших размерах труб — специальными окнами-нишами. Отверстия делаются с боков и в верхней части трубы. При расположении дрены на водоупоре нижняя часть трубы (не более $^1/_3$ по высоте), по которой стекает вода, остается без отверстий.

Минимальный диаметр труб принимается 150 мм.

Уклоны водоприемных труб водозабора должны быть не менее:

при	диаметре	200 мм	0,005
»	»	250 »	0,004
»	»	300 »	0,003
»	»	350 »	0,002
»	»	500 »	0,001

Скорость течения воды в трубах должна обеспечивать перемещение водой в водосборный колодец частиц водовмещающих пород, вымытых в водоприемные трубы.

Водоприемные трубы укладываются в траншеи по песчано-гравийной подготовке и лишь при слабых грунтах основания — на специальном основании, принимаемом в соответствии с нагрузкой от трубы.

Типовой проект подруслового трубчатого водозабора производительностью от 5 до 50 м³/ч показан на рис. 21.

7.8. Водозаборные галереи применяются в любых геолого-литологических и гидрогеологических условиях для крупных водопотребителей I—II категории надежности подачи воды в ответственных системах водоснабжения, а также когда по гидрогеологическим или другим условиям необходимо обеспечить проходимость водоприемной части для наблюдения в период эксплуатации.

Водоприемная часть галереи (рис. 22) выполняется из сборных железобетонных звеньев оваловидной (*а*) или прямоугольной (*б*) формы. Габаритные размеры (ширина 0,8—1 м, высота 1,2—2 м) принимаются с учетом условий эксплуатации (в большинстве слу-

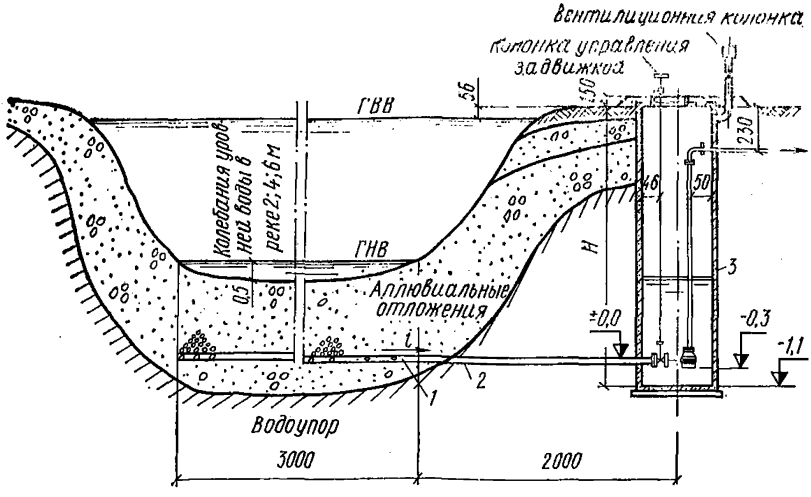


Рис. 21. Горизонтальный трубчатый подрусловый водозабор (типовой проект Гипроводхоза, 1975)

1 — полиэтиленовые водоприемные трубы; *2* — стальные водоотводные трубы; *3* — водосборный колодец

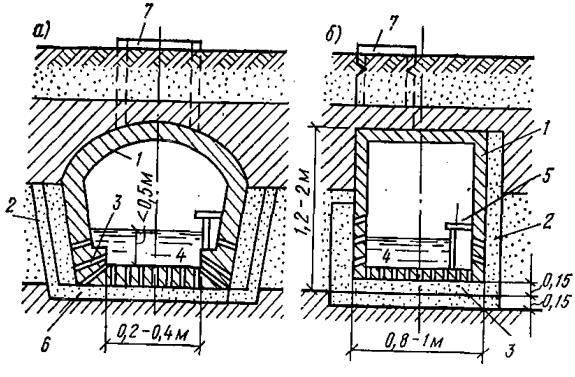


Рис. 22. Водозаборная галерея

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

чаев с учетом возможности прохода по галерее). В нижней части галереи устраивается лоток, обеспечивающий сток воды к сборному колодцу с незаиляющей скоростью. Глубина лотка, как правило, должна быть не более 0,5 м, ширина 0,2—0,4 м. Для прохода эксплуатационного персонала в галереях предусматривается устройство мостика или полки. В стенках нижней части галереи размещаются водоприемные щелевые (круглые) отверстия или окна-ниши с филь-

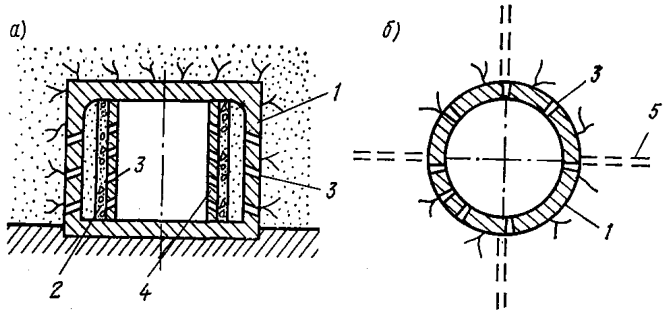


Рис. 23. Водосборная штольня

а — прямоугольной формы с внутренним песчано-гравийным обратным фильтром; *б* — круглой (овальовидной) формы с радиальными скважинами-усилителями; *1* — железобетонная обделка штольни; *2* — песчано-гравийный обратный фильтр; *3* — водоприемные окна; *4* — удерживающая стенка (решетка) с сеткой; *5* — шпуры или скважины с фильтром

тровыми вставками (например, из пористого бетона). Окна-ниши могут быть оборудованы колокольчатыми козырьками. В пределах водоприемной части галерея обсыпается песчано-гравийным обратным фильтром.

Звенья галереи устанавливаются на специально подготовленное основание, исключающее осадку их относительно друг друга. Галерея строится путем открытой траншейной выработки с экскавацией грунта и обратной его засыпкой поверх глинистого экрана и верха галереи. Установка и стыковка звеньев галереи выполняется под защитой водопонижения или водоотлива (при малой водоотдаче грунтов).

7.9. При залегании водоносных пластов на глубине более 8 м для крупных водопотребителей II—III категорий надежности в ответственных системах водоснабжения и при соответствующем технико-экономическом обосновании возможно применение горизонтального водозабора в виде водосборной штольни (рис. 23). Штольня выполняется прямоугольной (*а*), овальовидной или круглой (*б*) конфигурации. Водоприемные отверстия в обделке, так же как и в водосборной галерее, могут иметь щелевую или круглую форму или представлять собой окна с фильтровыми вставками.

В мелкозернистых грунтах может устанавливаться внутренний гравийно-песчаный обратный фильтр (*а*) с щелевыми плитами. В устойчивых скальных трещиноватых породах штольня может осуществляться без обделки. В случае необходимости увеличить водоприток из штольни бурятся радиальные шпуры или скважины с фильтрами (*б*). Для устройства водозабора применяется бестраншейный подземный (тоннельный) способ проходки, в частности с применением щитов, в том числе механизированных. Проходка ведется под защитой водопонижения, замораживания грунтов, с применением сжатого воздуха (кессона), временной гидроизоляции или других способов.

7.10. При необходимости более полного захвата грунтового потока целесообразно устройство водосборных подземных плотин с доведением их до водоупора. Одним из типов такого рода водозаборов может служить стоечный или свайный водозабор,

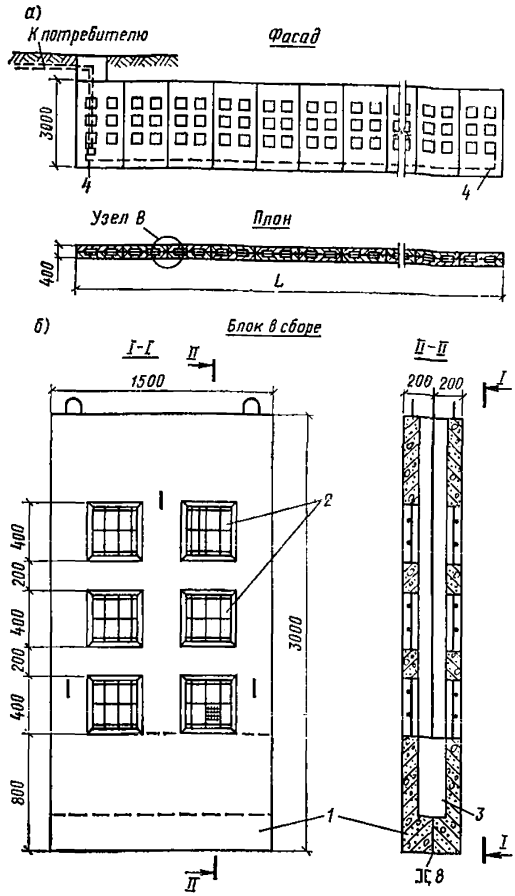


Рис. 24. Стоечный водозабор

а — схема соединения водозаборных звеньев; *б* — водозаборное звено; *в* — узел соединения звеньев; *1* — сборные железобетонные блоки; *2* — водоприемные окна (сетка, пористые блоки); *3* — лотковая часть водозабора; *4* — концевое звено

состоящий из линейного ряда стыкующихся друг с другом свай или стоек (рис. 24). Грунтовая вода через водоприемные окна профильтровывает внутрь водозабора. Поступив в лотковую часть водозабора, собранная вода стекает в водосборный колодец, где установлен насос, производится откачка воды и подача ее водопотребителям. Основная часть водозабора выполняется из сборных железобетонных полых стоек или свай высотой до 6 м, шириной 0,5—1,5 м. Верхняя часть водозаборной стенки имеет щелевые (круглые) водоприемные отверстия или окна с фильтровыми вставками (например, из пористого бетона или фильтровой сетки на стержневом проволочном каркасе). Нижняя часть представляет собой водосборно-отводной лоток. Соединение стоек или свай между собой осуществляется с помощью закладных металлических уголков. Типовой блок водозабора стоечного типа монтируется из двух ребристых плит размером 300×150×40 см; бетон марки 300; вес 1,4 т; расход арматуры 138,2 кг на 1 м³ бетона.

Водозабор свайного типа сооружается бестраншейным способом с применением различного сваебойного оборудования, методом гидровибропогружения, задавливания и т. д. Для водозабора стоечного типа

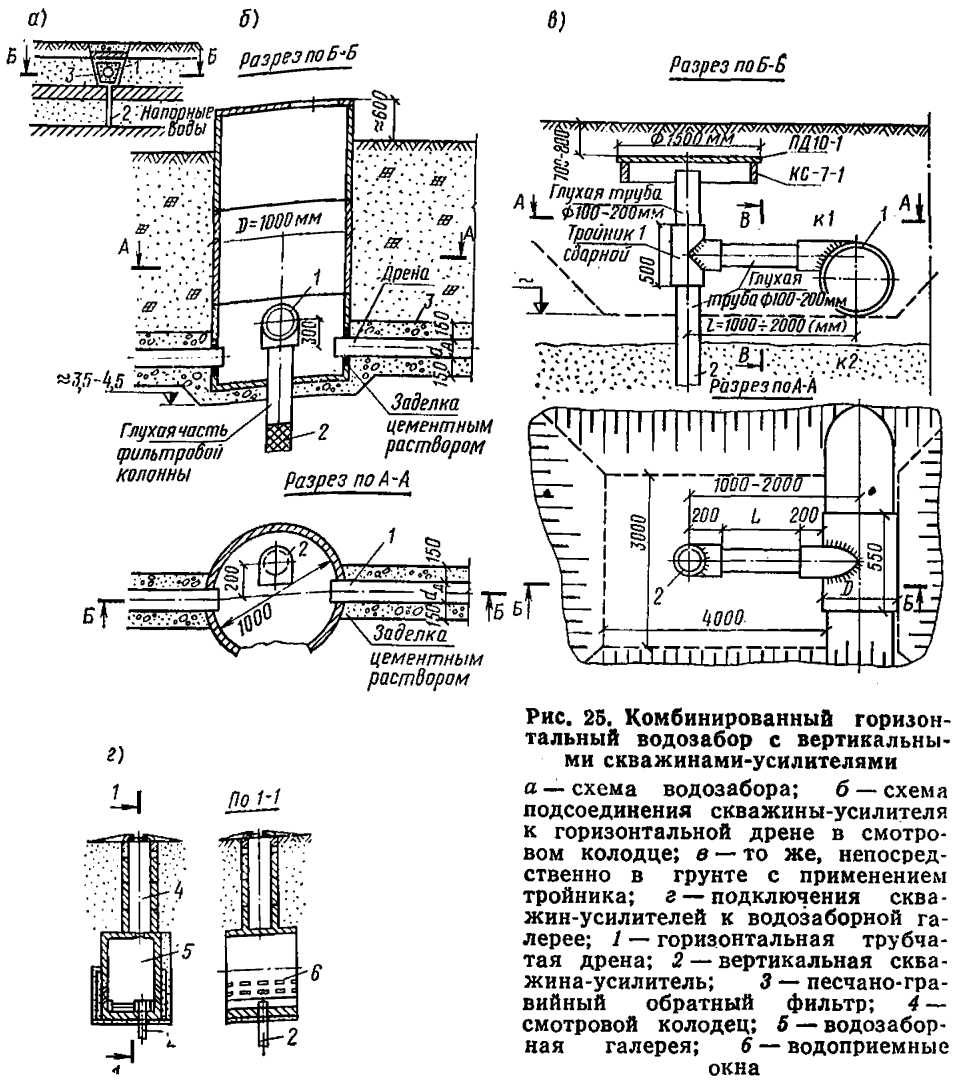


Рис. 25. Комбинированный горизонтальный водозабор с вертикальными скважинами-усилителями

а — схема водозабора; *б* — схема подсоединения скважины-усилителя к горизонтальной дрене в смотровом колодце; *в* — то же, непосредственно в грунте с применением тройника; *г* — подключения скважин-усилителей к водозаборной галерее; *1* — горизонтальная трубчатая дрена; *2* — вертикальная скважина-усилитель; *3* — песчано-гравийный обратный фильтр; *4* — смотровой колодец; *5* — водозаборная галерея; *6* — водоприемные окна

производится траншейная выработка с экскавацией грунта и обратной его засыпкой после установки стоечного ряда.

7.11. Для двухпластовых гидрогеологических систем с верхним безнапорным и нижним напорным водоносными горизонтами подземных вод целесообразно применение комбинированного горизонтального водозабора с вертикальными скважинами-усилителями, заложенными в нижнем пласте (рис. 25). При этом горизонтальная дрена по отношению к скважинам-усилителям играет роль водосборного и водоотводного коллектора.

Комбинированный водозабор представляет горизонтальную трубчатую (предпочтительнее стальную) дрену, к которой снизу или сбоку подключены патрубки фильтровых колонн скважин-усилителей. Устья скважин целесообразно совмещать со смотровыми колодцами и оборудовать задвижками. Горизонтальная дрена каптирует верхний безнапорный водоносный пласт, скважины-усилители разгружают нижележащий напорный горизонт подземных вод.

Водозабор сооружается с предварительным бурением скважин на нижний водоносный слой, установкой задвижек на устьях скважин. После прокладки в траншеях трубчатых горизонтальных дрен осуществляется врезка в них (снизу или сбоку) патрубков эксплуатационных колонн скважин. В случае устройства скважин-усилителей в эксплуатационный период бурение производится через смотровые колодцы или специально вскрытые шурфы с последующим подключением скважин к дрене.

7.12. Для наблюдения за работой горизонтальных водозаборов, их вентиляции и ремонта устраиваются смотровые колодцы. Один из типов таких колодцев, выполненных из сборных железобетонных колец, показан на рис. 26.

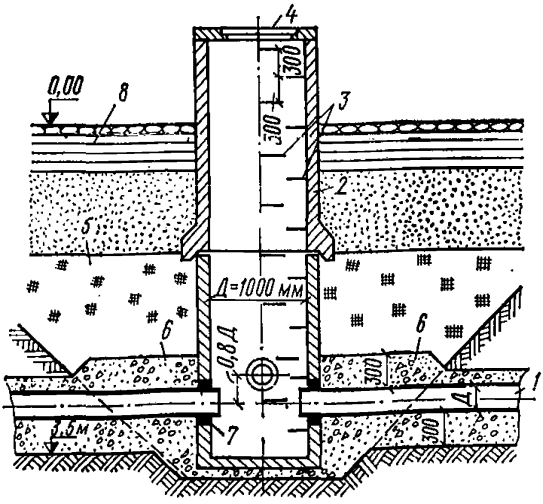


Рис. 26. Смотровой колодец (типовой проект Гипроводхоза)

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 отмосткой

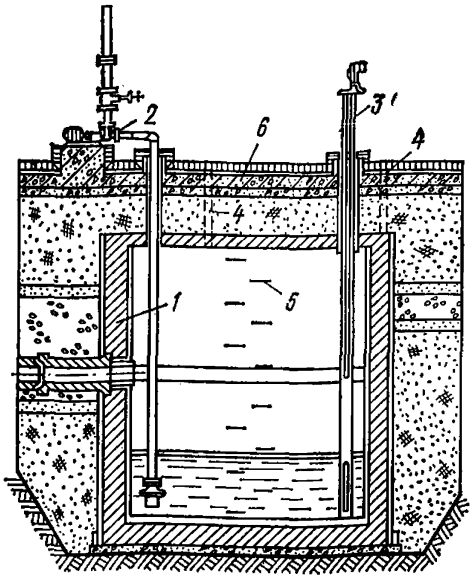


Рис. 27. Водосборная камера

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

Расстояния между смотровыми колодцами принимаются:

50 м — для трубчатых водозаборов диаметром от 150 до 500 мм;

75 м — то же, диаметром более 500 м;

100—150 м — для галерейных водозаборов.

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

Смотровые колодцы устраиваются круглого сечения из сборного железобетона. Внутренний диаметр смотровых колодцев принимается 0,75—1 м.

Верх колодцев должен возвышаться не менее чем на 0,25 м над поверхностью земли, и вокруг колодцев должна быть сделана водонепроницаемая отмостка шириной и глубиной не менее 1 м.

Смотровые колодцы должны быть снабжены крышками и вентиляционными трубами, возвышающимися на 2,5—3 м над поверхностью земли с устройствами, предохраняющими попадание через них загрязнений в водозабор.

Трубы и галереи в пределах колодцев сопрягаются при помощи бетонных лотков в днище колодцев.

Водосборный колодец в зависимости от условий залегания водоносного пласта располагается в конце или на линии горизонтального водозабора. В отдельных случаях в нем может собираться вода и из нескольких ветвей горизонтального водозабора.

Размеры водосборного колодца определяются из условий:

а) обеспечения благоприятного режима работы насосной установки, требующегося размера емкости колодца не менее 100 секционных расходов максимального водоотбора — при малых значениях последнего и не менее 200 секционных расходов — при больших водоотборах;

б) размещения в нем оборудования и устройства для наблюдения за количеством и качеством воды, поступающей из отдельных ветвей водозабора, оборудования для отбора воды потребителю и обслуживания.

Строительство водосборных колодцев, как правило, осуществляется методом опускного колодца монолитными железобетонными, а при малых его размерах — в открытом котловане из сборного железобетона.

Водосборные колодцы крупных водозаборов следует секционировать соответственно числу ветвей водозабора.

Конструкция водосборной камеры небольшого горизонтального водозабора приведена на рис. 27.

Насосные станции горизонтальных водозаборов в зависимости от их производительности и типа насосного оборудования устраиваются совмещенными с водосборным колодцем или как отдельное сооружение.

8. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВОДОЗАБОРОВ

[7, 22, 27, 50, 68]

8.1. Общий вид расчетных зависимостей для оценки дебита горизонтальных водозаборов, располагающихся параллельно руслу реки (рис. 28), следующий:

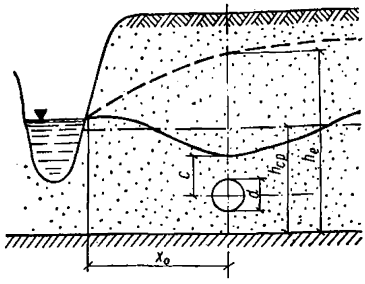


Рис. 28. Схема к расчету горизонтального водозабора

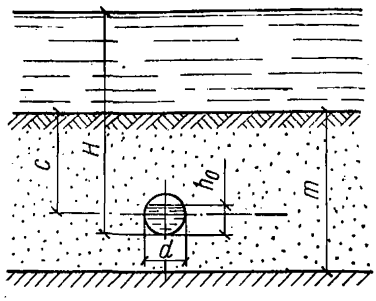


Рис. 29. Схема к расчету подруслового водозабора

в напорном потоке

$$Q = \frac{4\pi k m S_0}{R + \zeta}; \qquad (18)$$

в безнапорном потоке

$$Q = \frac{2\pi k (2h_e - S_0) S_0}{R + \zeta}. \qquad (19)$$

Здесь Q — расход горизонтального водозабора; k — коэффициент фильтрации водоносных пород; m — мощность напорного пласта; h_e — первоначальная глубина грунтового потока; S_0 — понижение уровня подземных вод на водозаборе; R — гидравлическое сопротивление водозабора; ζ — показатель фильтрационного несовершенства горизонтального водозабора.

8.2. Величина гидравлического сопротивления R находится по формуле

$$R = \ln (1 + \bar{x}_0^2) - \bar{x}_0^2 \ln \left(1 + \frac{1}{\bar{x}_0^2}\right) + 4\bar{x}_0 \operatorname{arcctg} \bar{x}_0, \qquad (20)$$

где $\bar{x}_0 = \frac{x_0}{l}$; x_0 — расстояние от реки до водозабора; l — половина длины водозабора.

При $\bar{x}_0 < 0{,}2$—$0{,}3$ сопротивление R, как следует из (20), может быть представлено следующим образом:

$$R = 2\pi \bar{x}_0. \qquad (21)$$

Дополнительное сопротивление ζ может быть найдено по формуле

$$\zeta = \frac{m}{l} \ln \frac{0{,}16\, m}{r_0 \sin \frac{\pi C}{m}}, \qquad (22)$$

где C — заглубление дрены под уровень подземных вод; r_0 — радиус дрены.

Для безнапорных потоков следует принимать $m \approx h_{cp}$, где h_{cp} — средняя мощность грунтового потока при работе водозабора ($h_{cp} \approx 0{,}7$—$0{,}8 h_e$).

Для прямоугольных дрен и каналов $r_0=0{,}5(b_1+0{,}5b_2)$, где b_1 — заглубление дрены под уровень подземных вод; b_2 — ширина дрены.

8.3. Фильтрационное несовершенство реки при расчетах горизонтальных водозаборов может быть учтено с помощью метода «дополнительного слоя» (см. гл. 6). При этом вместо действительного расстояния от реки до водозабора x_0 в формулы (20) и (21) подставляется величина $x_0+\Delta L$, где ΔL — дополнительное расстояние, определяемое в зависимости от степени кольматированности и заиленности речного русла. При наличии в дне слабопроницаемого суглинистого покрова с коэффициентом фильтрации k_0 и мощностью m_0

$$\Delta L=\sqrt{\frac{k m m_0}{k_0}}. \qquad (23)$$

Величина ΔL наиболее надежно определяется по данным опытных откачек и эксплуатации водозаборов.

Дебит подруслового горизонтального водозабора (рис. 29) может быть определен по формуле

$$Q=\frac{4\pi k l (H-h_0)}{R}, \qquad (24)$$

где k — коэффициент фильтрации водоносных пород под руслом реки; l — половина длины подруслового водозабора; H — превышение горизонта воды в реке или водоеме над дном водозабора; h_0 — глубина воды в водозаборе (или высота напора в случае полного его заполнения, а также при работе под напором), считая от его дна; R — гидравлическое сопротивление подруслового водозабора.

8.4. Гидравлическое сопротивление R в случае совершенной в фильтрационном отношении реки определяется следующим образом:

$$R=\ln\left[\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{8}\,\frac{4C-d}{m}\right)\operatorname{ctg}\frac{\pi}{8}\,\frac{d}{m}\right], \qquad (25)$$

где m — мощность водоносного горизонта от дна водоема до водоупора; d — диамер водозабора; C — глубина заложения подруслового водозабора, считая от дна водоема.

При глубоком залегании водоупора

$$m>3C$$

величина гидравлического сопротивления равна

$$R=\ln\left(\frac{4C}{d}-1\right). \qquad (26)$$

В случае совершенного подруслового водозабора, т. е. если он располагается на водоупоре ($C=m$)

$$R=2\ln\operatorname{tg}\frac{\pi}{8}\,\frac{d}{m}. \qquad (27)$$

При значительной кольматированности и заиленности русла реки его фильтрационное несовершенство можно учесть, вводя в приведенные расчетные зависимости вместо C величину $C+\Delta L$, где ΔL — по-прежнему дополнительное расстояние от реки, эквивалентное сопротивлению ее дна и подрусловых отложений.

Пример расчета. Трубчатый горизонтальный водозабор в виде дрены радиусом $r_0=2{,}25$ м и длиной $2l=400$ м располагается параллельно реке на расстоянии $x_0=50$ м от нее. Мощность безнапорного водоносного горизонта равна $h_e=10$ м, коэффициент фильтрации водоносных пород составляет 50 м/сут. Дрена заглубляется на 4 м от первоначального уровня подземных вод. Найти расход водозабора при условии, что уровень подземных вод на линии водозабора будет снижен до дрены (т. е. $C\approx r_0$).

По формуле (20) находим гидравлическое сопротивление:

$$R=\ln\left[1+\left(\frac{50}{200}\right)^2\right]-\left(\frac{50}{200}\right)^2\ln\left[1+\left(\frac{200}{50}\right)^2\right]+$$

$$+4\,\frac{50}{200}\,\operatorname{arcctg}\frac{50}{200}=1{,}2.$$

Определяем дополнительное сопротивление ζ [формула (22)], принимая $m\approx h_{ср}\approx 0{,}8\,h_e$:

$$\zeta=\frac{0{,}8\cdot 10}{200}\ln\frac{0{,}16\cdot 0{,}8\cdot 10}{2{,}25\cdot\sin\dfrac{3{,}14\cdot 0{,}25}{0{,}8\cdot 10}}=0{,}2.$$

Общий расход водозабора составит [формула (19)]:

$$Q=\frac{2\cdot 3{,}14\cdot 50\ (2\cdot 10-4)\ 4}{1{,}2+0{,}2}=14{,}4\ \text{тыс. м}^3/\text{сут}.$$

9. ЛУЧЕВЫЕ ВОДОЗАБОРЫ [7, 48, 51—55]

ВИДЫ ЛУЧЕВЫХ ВОДОЗАБОРОВ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

9.1. Лучевые водозаборы целесообразно применять:

а) в водоносных пластах, кровля которых расположена от дневной поверхности земли на глубине не более 15—20 м, а мощность водоносного пласта не превышает 20 м;

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

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

Не рекомендуется применять лучевые водозаборы:

а) в галечниковых грунтах при крупности фракций $D_{60}\geqslant 70$ 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 технико-экономическими преимуществами.

9.2. В состав лучевых водозаборов входят водосборный колодец, водоприемные лучи-фильтры (горизонтальные скважины), насосная установка (размещаемая обычно в водосборном колодце).

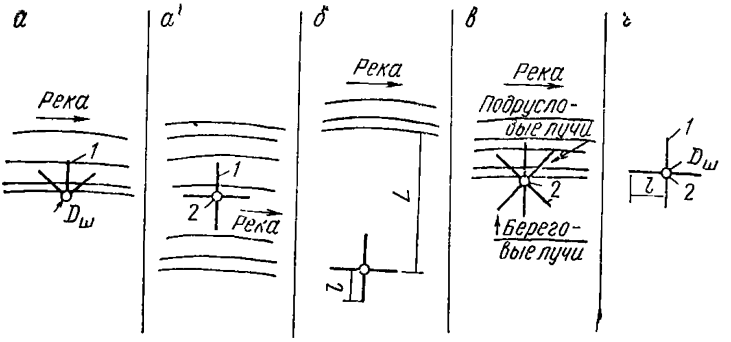


Рис. 30. Схемы лучевых водозаборов в плане

а — подрусловый, с водосборной шахтой на берегу; *а'* — то же, с водосборной шахтой в русле реки; *б* — береговой; *в* — комбинированный; *г* — водораздельный; *1* — горизонтальные радиальные скважины; *2* — водосборный колодец (шахта)

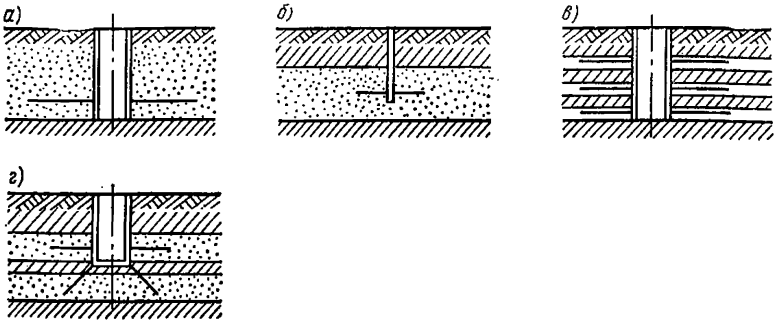


Рис. 31. Схемы лучевых водозаборов в разрезе

а — лучевой водозабор обычного типа; *б* — малый лучевой водозабор с центральной водосборной буровой скважиной; *в* — многоярусный водозабор; *г* — комбинированный лучевой водозабор с вертикальными и наклонными скважинами-усилителями

9.3. Лучевые водозаборы в зависимости от расположения относительно источников питания подразделяются на следующие типы (рис. 30):

а) подрусловый — под дном реки (с шахтой на берегу или в русле);

б) береговой — при расположении лучевого водозабора на берегу вблизи реки;

в) комбинированный — когда водозабор находится на берегу реки, а лучевые фильтры размещаются в береговой зоне и под руслом;

г) водораздельный — при расположении лучевого водозабора на значительном удалении от источников питания.

9.4. В разных гидрогеологических и инженерных условиях могут применяться следующие схемы лучевых водозаборов (рис. 31):

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

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

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

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

Многоярусные водозаборы устраиваются в неоднородных в вертикальном разрезе водоносных пластах для более полного использования водообильных слоев.

Устройство многоярусных водозаборов целесообразно также в мощных однородных пластах, когда один ярус лучевых фильтров не обеспечивает необходимой производительности, а увеличение числа, длины, диаметра и глубины их заложения не дает эффекта или невозможно по производственным соображениям.

Для увеличения водозахватной поверхности возможно устройство в стенках и днище водосборной шахты (колодца) водоприемных окон с фильтровыми вставками (например, из пористых материалов).

КОНСТРУКЦИИ И СПОСОБЫ УСТРОЙСТВА ЛУЧЕВЫХ ВОДОЗАБОРОВ

ВОДОСБОРНЫЕ КОЛОДЦЫ

Водосборный шахтный колодец служит для сбора воды, забираемой из каптируемого водоносного пласта через лучевые горизонтальные фильтры-скважины. В колодце устанавливается насос для откачки воды, а в процессе строительства — оборудование для проходки горизонтальных скважин (рис. 32).

Внутренний диаметр водосборного колодца принимается в пределах 1,2—2 до 4—6 м в зависимости от метода устройства горизонтальных скважин и габаритов строительного и эксплуатационного оборудования.

Отметка дна водосборного колодца (скважины) назначается на 0,5—1,5 м ниже уровня заложения горизонтальных скважин в зависимости от размещения водоподъемного оборудования и контрольно-измерительных приборов.

Водосборные колодцы сооружаются из железобетона (бетона) — сборного или монолитного. В случае малого диаметра возможно применение стальных или (при специальном обосновании) полимерных труб.

Строительство водосборного шахтного колодца может осуществляться способом опускного колодца, методом секущихся свай (траншейных стенок), кессонным способом и т. д.

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

Число отверстий в стенке колодца должно быть в 1,5—2 раза больше расчетного числа лучей (на случай замены или устройства дополнительных горизонтальных скважин в целях увеличения производительности водозабора).

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ЛУЧЕВЫЕ СКВАЖИНЫ

9.6. При плановой фильтрационной неоднородности водоносного пласта направление, число и длина отдельных лучей должны соответствовать расположению наиболее проницаемых слоев. При этом возможно наклонное размещение лучевых скважин (восходящих или нисходящих).

Число, направление, глубина расположения и длина лучевых дренажных скважин принимаются в зависимости от конкретных гидрогеологических, строительных, инженерно-производственных и эксплуатационных условий.

При длине лучей водозабора меньше 20 м в однородных пластах угол между лучами по фильтрационным условиям принимать менее 20° не рекомендуется.

Проходка горизонтальных лучевых скважин в большинстве случаев осуществляется путем продавливания (возможно с вращением) отрезков (звеньев) фильтровых или обсадных труб и чаще всего с выбором грунта из забойной части скважины. Грунт в виде шлама поступает в отверстия буровой головки, которой оборудуется первое звено труб.

Существующие способы проходки горизонтальных скважин в большинстве случаев предусматривают применение домкратных толкающих устройств (рис. 33).

Помимо этого могут применяться вращательные, виброударные, гидропогружные и другие виды горизонтального бурения.

9.7. Буровая головка вдавливаемой в грунт колонны труб имеет форму цилиндра, переходящего в передней части в конус или параболоид. Шламозаборные отверстия в буровой головке выполняются в ее лобовой или боковой части и имеют прямоугольную, круглую, оваловидную или кольцевую форму.

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

Затвор, устанавливаемый в буровой головке, предотвращает поступление в скважину грунта при подготовке к вдавливанию очередного звена труб, пропускает шлам во время проходки, а в ее конце освобождает вспомогательные трубы от самой буровой головки, которая остается в пласте.

Звенья вдавливаемых в грунт горизонтальных труб соединяются друг с другом посредством сварки, резьбы или захватов (щеколд). Длина звеньев может колебаться от 1 до 2,5 м, диаметр вдавливаемых в грунт труб — от 50 до 300 мм. Щелевым или круглым перфорационным отверстиям фильтровых труб должны придаваться конусность с расширением внутрь трубы.

9.8. Для вдавливания горизонтальных труб в грунт применяются домкратные агрегаты (чаще всего два спаренных гидродомкрата) на специальной направляющей раме, передающие усилия через на-

Б-Б
А-А
В
В
Г
Г
В-В
Г-Г
Б
А
А
Б
3
Луч №1
Луч №2
Луч №3
Луч №4

ф60/68
ф48/58
ф30/36
УГВ
ф364

в)
УГВ
5,3
0,4

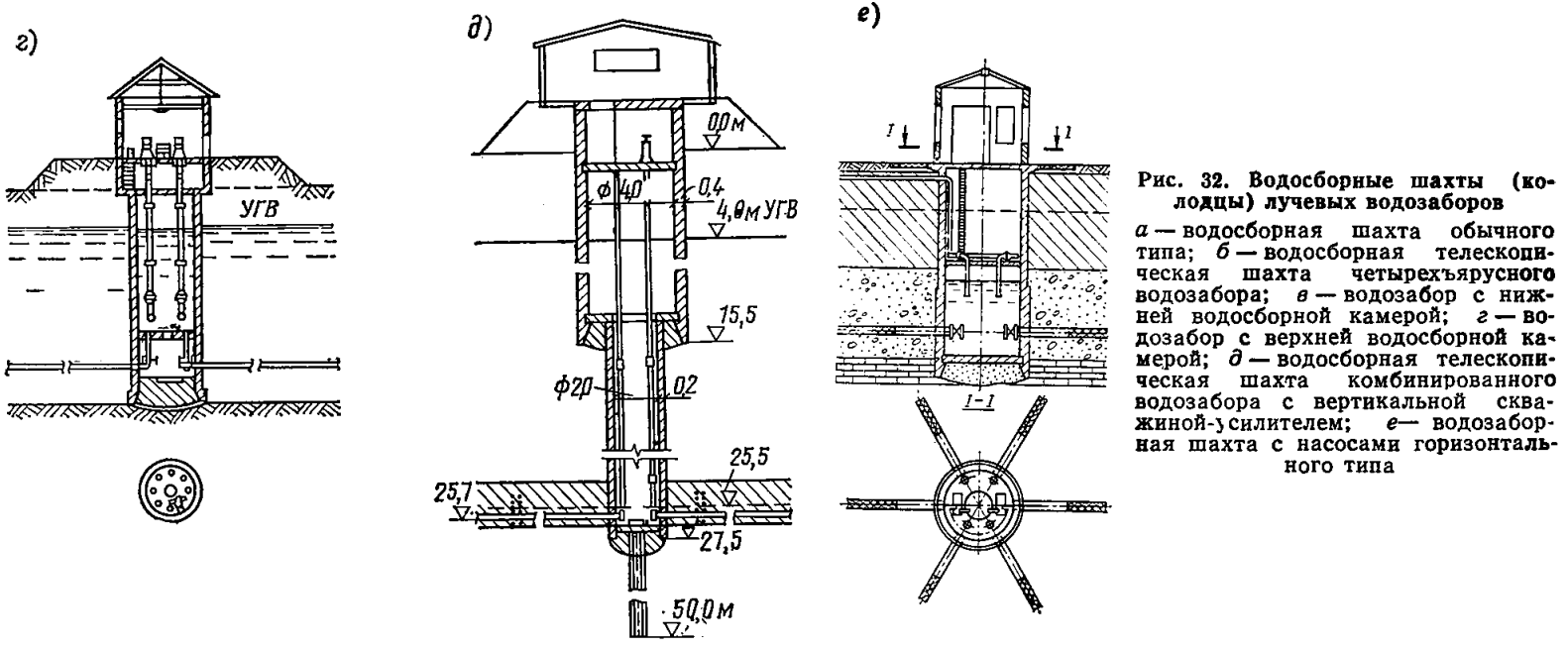


Рис. 32. Водосборные шахты (колодцы) лучевых водозаборов

а — водосборная шахта обычного типа; *б* — водосборная телескопическая шахта четырехъярусного водозабора; *в* — водозабор с нижней водосборной камерой; *г* — водозабор с верхней водосборной камерой; *д* — водосборная телескопическая шахта комбинированного водозабора с вертикальной скважиной-усилителем; *е* — водозаборная шахта с насосами горизонтального типа

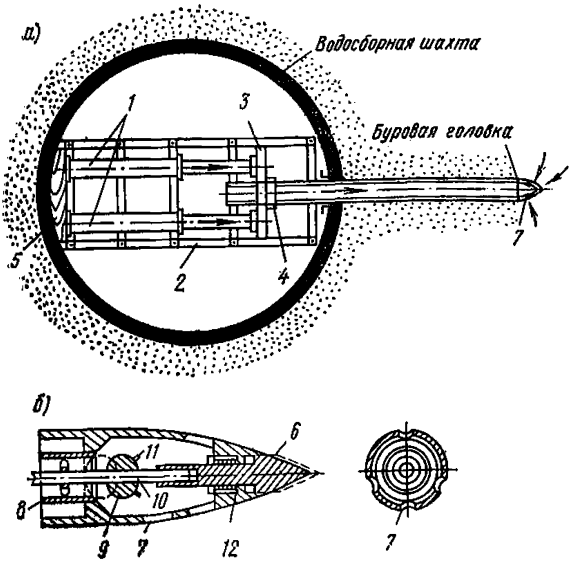


Рис. 33. Схема устройства горизонтальных скважин лучевого водозабора

а — домкратная установка для вдавливания труб; *б* — буровая головка; *1* — гидравлические домкраты; *2* — опорная рама; *3* — нажимная балка; *4* — цанговый захват; *5* — упорный брус; *6* — ударно-рыхлительный наконечник; *7* — шламозаборные отверстия; *8* — шламовая труба для отвода шлама; *9* — запорный шаровой клапан; *10* — буровая штанга (управление затвором и передача удара рыхлительному наконечнику); *11* — рыхлительные рожки; *12* — пружина (работает на сжатие)

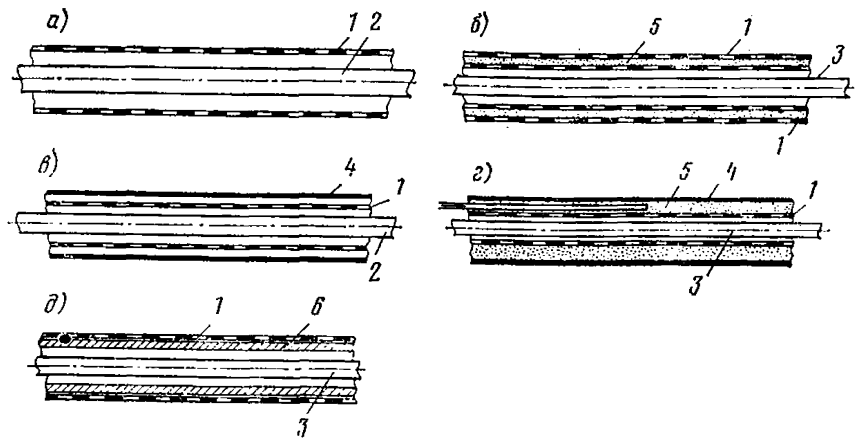


Рис. 34. Схемы основных способов устройства горизонтальных скважин

а — вдавливание фильтровых труб; *б* — вдавливание фильтровых труб с кольцевым мелкозернистым заполнителем; *в* — проходка скважин с обсадкой; *г* — то же, с устройством песчано-гравийного фильтра, методом намыва; *д* — проходка с предварительным вдавливанием толстостенной сплошной трубы; *1* — фильтровые трубы; *2* — шламовая труба; *3* — гидромониторная труба; *4* — обсадная труба; *5* — песчано-гравийный фильтр (или связный пористый материал); *6* — толстостенная сплошная труба

жимную балку и захват, установленный на трубе. Реакция вдавливания передается противоположной стороне шахтного колодца через упорный брус. Вдавливающее устройство может дополняться (или даже заменяться) вращателем, гидромониторным приспособлением, виброударным или вибрационным устройством и т. д.

9.9. Проходка горизонтальных скважин выполняется двумя основными способами: путем вдавливания в грунт самих фильтровых труб или их установки в предварительно вдавленные в грунт обсадные трубы.

Проходка горизонтальных скважин вдавливанием в грунт фильтров (рис. 34,*а*) применяется преимущественно в разнозернистых песчано-галечных грунтах крупностью $0{,}5 \leqslant D_{60} \leqslant 50$ мм. При этом фильтровые трубы подбираются с учетом их прочности, которая должна быть достаточной для восприятия усилий от домкратов. В связи с этим скважность фильтра должна быть возможно меньшей (не более 20%). В случае возможности подбора фильтров достаточной прочности (например, по схеме рис. 34,*б*, где малопрочный пористый материал заключен в кольцевом пространстве перфорированных труб) данный метод может применяться и в однородных песчаных грунтах, в том числе мелкозернистых и маловодообильных; пористый материал может применяться и многослойным.

Проходка горизонтальных скважин с использованием обсадных труб (рис. 34,*в*, *г*) применяется в мелкозернистых песчаных, супесчаных и суглинистых грунтах. После обсадки скважины и установки фильтров обсадные трубы извлекаются. Этот способ дает возможность в зависимости от состава грунта использовать разнообразные фильтры: тонкостенные стальные, в том числе с противокоррозионным покрытием, пластмассовые, асбестоцементные, гончарные, песчано-гравийные, из пористых материалов и т. д.

Одной из модификаций метода является устройство песчано-гравийного фильтра путем намыва песчано-гравийной массы в кольцевое пространство между обсадной и фильтровой трубой (рис. 34,*г*). Недостатком данного метода является бо́льшая, чем в первом методе, сложность работ, связанная с возможным возникновением трудностей по извлечению обсадных труб.

Для отвода грунта от забоя горизонтальной скважины одновременно с фильтровыми и обсадными трубами на период проходки устанавливается шламовая труба, по которой разжиженный грунт стекает в шахтный колодец, откуда в последующем удаляется. Возможен вариант вдавливания в грунт толстостенной сплошной трубы, установленной внутри фильтровой (рис. 34,*д*), при этом внутренняя полость скважины используется для отвода грунта.

Для интенсификации проходки скважин может быть использован гидроподмыв, осуществляемый путем подачи в забой по специальной трубе струи воды под напором. Гидропогружение может применяться и как самостоятельный метод устройства горизонтальных скважин.

При подборе фильтров горизонтальных лучевых скважин следует руководствоваться указаниями, относящимися к фильтрам вертикальных скважин (см. гл. 5), и дополнительно учитывать особенности применяемого способа проходки.

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

Для подъема воды из водосборного колодца могут применяться горизонтальные или вертикальные насосы (см. рис. 32).

Поверхностные горизонтальные насосы (центробежные, вихревые и др.) устанавливаются на специальном перекрытии, расположенном внутри водосборной шахты, или на плавучем устройстве (например, понтоне). При использовании низко опущенных в шахтный колодец насосов может быть достигнуто дополнительное увеличение производительности водозабора путем подключения устьевых участков лучевых скважин к всасывающим патрубкам насосов.

Глубинные насосы (в том числе погружные) применяются при подъеме воды с глубины более 7—10 м. Наибольшее применение имеют центробежные глубинные насосы с погружным электродвигателем марок ЭЦВ, ЭПН и др. (см. далее гл. 13). Эти насосы, в отличие от горизонтальных насосов, требуют меньшую площадь для их установки, могут работать при изменении динамического уровня воды в шахте в широком диапазоне, но имеют меньший КПД, чем горизонтальные насосы.

Лучевые водозаборы позволяют использовать вакуумные системы с подключением вакуум-насосов к устьям горизонтальных скважин. Это особенно важно при работе водозаборов в маловодообильных пластах, в грунтах с низкой водоотдачей. Простейшей схемой повышения водоотбора из горизонтальной скважины служит сифонное погружение ее устья под уровень воды, который расположен ниже оси скважины.

Для регулирования забора воды отдельными лучевыми скважинами и для возможности проведения ремонтных работ устья скважин снабжаются задвижками.

Для наблюдения за расходом и напором воды устьевые части скважин оборудуются водомерными и пьезометрическими приборами. Помимо этого в шахтном колодце водозабора устанавливается уровнемер, а на напорной трубе насоса — водомер для систематического наблюдения за положением уровня воды и производительностью всего водозабора.

10. РАСЧЕТЫ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЛУЧЕВЫХ ВОДОЗАБОРОВ [7, 50, 51—55]

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

При выборе основных параметров лучевых водозаборов нужно учитывать следующее:

1. По фильтрационным соображениям, оптимальное число лучей N, равномерно расположенных по периметру водосборного колодца, находится в пределах $3 \leqslant N \leqslant 7$.

2. Производительность лучевого водозабора непропорциональна увеличению длины лучей, которое приводит к росту гидравлических сопротивлений, уменьшающих производительность, хотя взаимовлияние лучей при этом уменьшается.

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

10.2. Дебит лучевого водозабора определяется по следующей общей зависимости:

$$Q = 2\pi k m S \left(\frac{1}{R_б} + \frac{1}{R_п} \right). \qquad (28)$$

Здесь $R_б$, $R_п$ — фильтрационные сопротивления радиальной системы соответственно береговых и подрусловых горизонтальных сква-

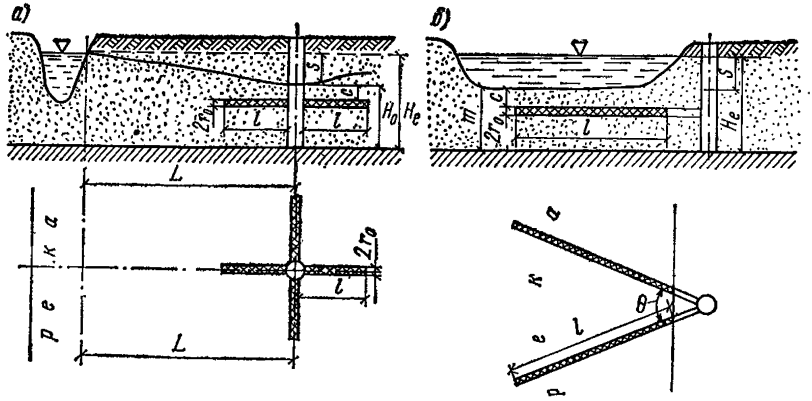


Рис. 35. **Схемы к расчету производительности лучевых водозаборов**
а — береговой; *б* — подрусловый

жин; S — понижение уровня воды в водосборном колодце лучевого водозабора при откачке:

$$S = H_e - H_0, \tag{29}$$

где H_e и H_0 — напор воды соответственно в водоносном пласте до начала откачки и в водосборном колодце при эксплуатации лучевого водозабора (статический и динамический уровни воды);
k — коэффициент фильтрации;
m — мощность пласта (для безнапорных пластов $m = h_{ср} \approx 0{,}8h_e$).

10.3. Дебит берегового лучевого водозабора, размещаемого у реки (рис. 35*а*), можно определять по формуле (28) при $R_п = \infty \left(\frac{1}{R_п} = 0\right)$. В этом случае

$$R_б = (\ln V_r + 2\eta \ln V_т)\ \frac{m}{l\, k_и\, N_б}\ ; \tag{30}$$

$$V_r = \frac{l\,V}{1{,}36\, r_0}\ ;\quad V'_т = \frac{l + \sqrt{l^2 + 4m^2}}{2m}\ V\ ; \tag{31}$$

$$V = \sqrt{\frac{4L - l}{4L + l}}\ . \tag{32}$$

Здесь $N_б$ — число лучей водозабора, расположенных равномерно по всему кругу, с равными углами между лучами; r_0 — радиус горизонтальной лучевой скважины; L — расстояние от вертикальной оси водосборного колодца до уреза воды в водоеме (водотоке); l — длина лучей.

10.4. Коэффициент взаимодействия (интерференции) $k_и$ лучевых дрен и коэффициент η берутся по табл. 19.

Таблица 19

$N_б$	l/m				
	2	4	6	8	10
	Коэффициент $k_и$				
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

10.5. Дебит подруслового водозабора с водосборным колодцем, расположенным на берегу (рис. 35,*б*), определяется по формуле (28) при $R_б = \infty \left(\frac{1}{R_б} = 0\right)$. В этом случае фильтрационное сопротивление $R_п$ находится по формуле

$$R_п = (U_0 + U_п)\frac{m}{l N_п}. \qquad (33)$$

Здесь

$$U_0 = \ln \frac{3Cml\,[l + \sqrt{l^2 + 16\,(m-C)^2}]}{r_0\,(m-C)\,(l + \sqrt{l^2 + 16\,m^2})\,(l + \sqrt{l^2 + 16\,C^2})}; \qquad (34)$$

$N_п$ — число лучей под руслом реки; C — заглубление лучей под русло реки.

Функция $U_п$ для случаев, когда $\frac{l}{m} \geqslant 3$, выражается так:

$$U_п = \frac{N_п + 2}{3} \ln \left\{1 + \left[\frac{4m}{(l - 0{,}5\,m)\sin\theta}\right]^2\right\}. \qquad (35)$$

θ — угол между лучами.

Для двухлучевого водозабора ($N_п = 2$)

$$U_п = \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{16\,m^2}{l^2 \sin^2\theta}\right). \qquad (36)$$

10.6. Дебит комбинированного лучевого водозабора, имеющего $N_б$ береговых и $N_п$ подрусловых лучей, определяется по формуле (28), в которой фильтрационные сопротивления $R_б$ и $R_п$ в свою очередь находятся по соотношениям (30) и (33).

При определении дебита комбинированного водозабора с береговыми и подрусловыми скважинами коэффициент $k_и$ также берется по табл. 19 как для системы с двойным числом лучей $2N_б$, т. е. неполная схема береговых лучей приводится к условной полной системе лучей, расположенных равномерно по всему кругу.

10.7. Если лучи имеют неодинаковую длину, в расчет вводится средняя величина:

$$l = \sum_{i=1}^{N} l_i / N,$$

где N — число лучевых скважин.

10.8. Общий способ фильтрационного расчета систем взаимодействующих лучевых водозаборов, расположенных на расстояниях друг от друга $r > 5\,m$ при $\frac{l}{m} = 1—3$ и $r > 10\,m$ при $\frac{l}{m} = 5—9$, сводится к использованию формул для систем вертикальных скважин.

При этом общая формула для расчета будет иметь вид:

$$Q_{\text{сум}} = \frac{2\pi k m S}{\alpha_0 R_0 + \sum_{i=1}^{n} \alpha_i R_i}, \qquad (37)$$

где $Q_{\text{сум}}$ — суммарный расход всех взаимодействующих лучевых водозаборов; S — понижение уровня в водозаборе (под влиянием данного водозабора и взаимодействующих с ним водозаборов); $\alpha_0 = \frac{Q_0}{Q_{\text{сум}}}$; $\alpha_i = \frac{Q_i}{Q_{\text{сум}}}$ — отношение расходов данного и взаимодействующих водозаборов к суммарному расходу; R_0 и R_i — безразмерные гидравлические сопротивления. При этом $R_0 = \frac{R_б R_п}{R_б + R_п}$ — сопротивление данного водозабора, определяемое по вышеприведенным формулам (28)—(33), а R_i — находится по соотношению

$$R_i = \ln \frac{\rho_i}{r_i}, \qquad (38)$$

r_i — расстояние от данного водозабора до взаимодействующих; ρ_i — расстояние от исследуемого водозабора до зеркального отображения соседних с ним взаимодействующих водозаборов относительно реки; n — количество водозаборов, взаимодействующих с данным.

10.9. Фильтрационное несовершенство реки при расчетах лучевых водозаборов может быть учтено с помощью метода «дополнительного слоя» (см. гл. 6). При этом вместо действительного расстояния от реки до водозабора L в формуле (32) или C в формуле (34) подставляются величины:

$$L_н = L + \Delta L; \quad C_н = C + \Delta L,$$

где ΔL — дополнительное расстояние, определяемое в зависимости от степени кольматации и заиленности речного русла.

10.10. При проектировании горизонтальных скважин-лучей дополнительные потери напора, связанные с гидравлическим сопротивлением в них, должны быть минимальными (существенно меньшими общего расчетного понижения уровня подземных вод S в водозаборе). Обеспечение достаточно высокой пропускной способности горизонтальных скважин может быть достигнуто увеличением их диаметра. Если по техническим и производственным условиям это сде-

лать невозможно, следует выполнять гидравлический расчет. Он включает в себя корректировку производительности Q водозабора, которая должна быть уточнена в соответствии с величиной гидравлических потерь напора на трение по длине лучевых скважин. Потери напора определяются по формуле

$$h_w = \left(1 + \frac{\lambda l}{6 r_0}\right) \frac{v^2}{2g}\ ;\quad v = \frac{Q}{2\pi r_0^2 N}\ . \qquad (39)$$

Здесь v — скорость течения воды в горизонтальных лучевых скважинах, м/с; λ — гидравлический коэффициент трения (для труб диаметром 50—300 мм можно принимать λ=0,08—0,1); g=9,81 м/с^2.

Скорректированная на величину гидравлических потерь напора производительность лучевого водозабора определяется по приведенным выше формулам дебита Q при действующем напоре, равном $S—h_w$.

11. КАПТАЖ ИСТОЧНИКОВ (РОДНИКОВ) [50, 60]

11.1. Каптаж источников (родников) представляет собой сооружение для захвата подземных вод, выходящих на дневную поверхность. Конструкция каптажных сооружений выбирается в зависимости от гидрогеологических условий выхода подземных вод на поверхность земли, морфологии места выхода источника, мощности отложений, покрывающих водоносный пласт, и расхода источника.

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

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

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

В природных условиях выходы подземных вод на дневную поверхность проявляются в виде нисходящих и восходящих источников.

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

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

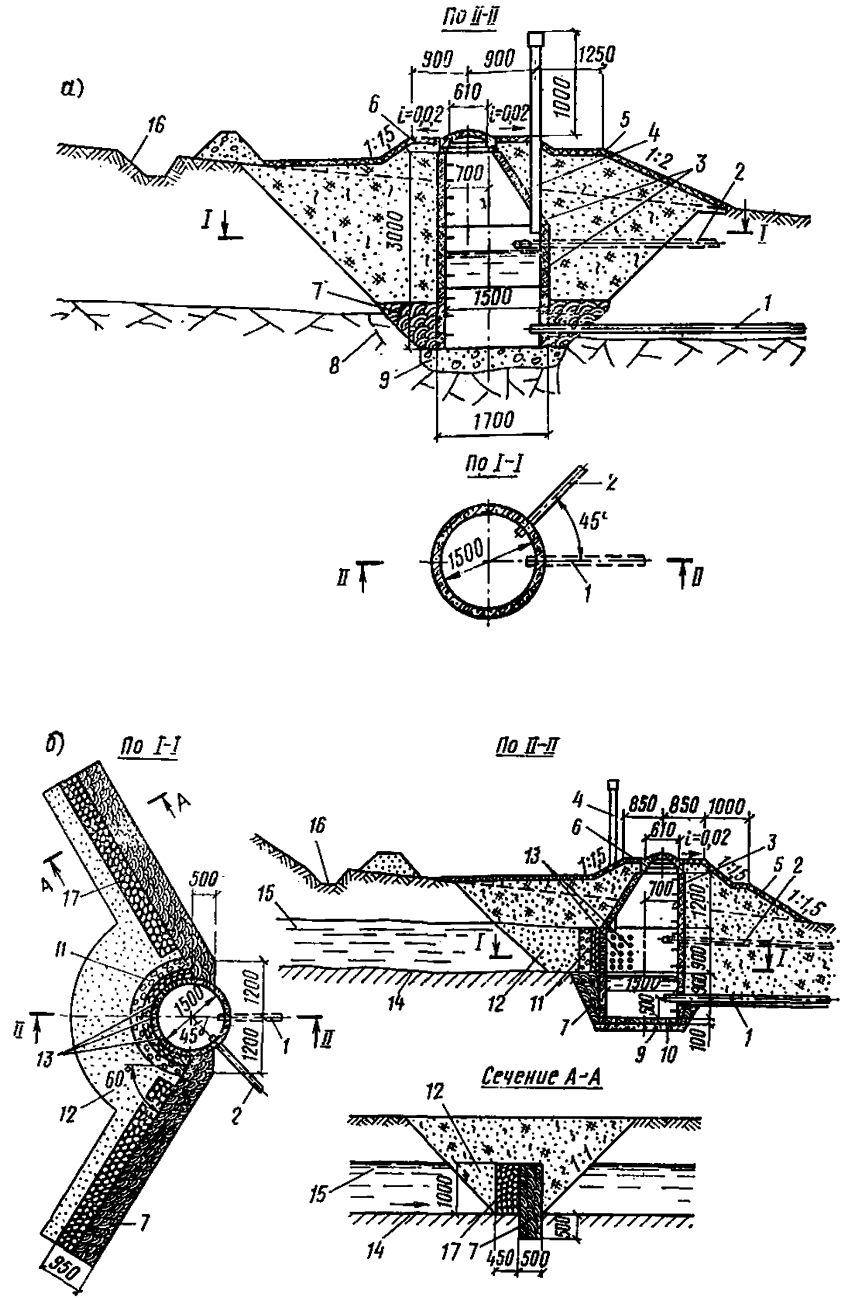


Рис. 36. Железобетонная каптажная камера

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

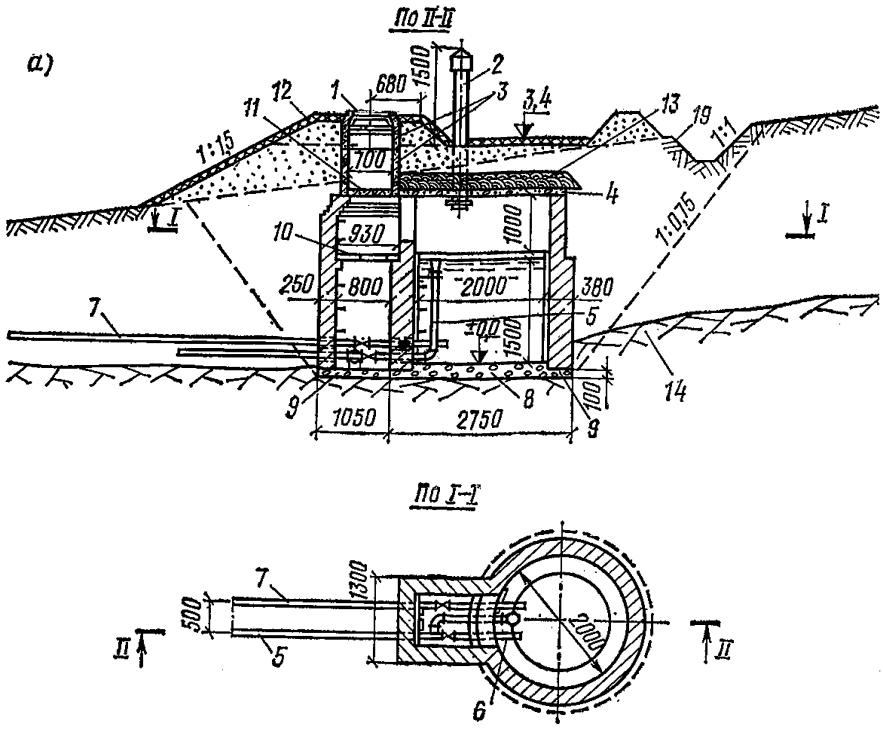
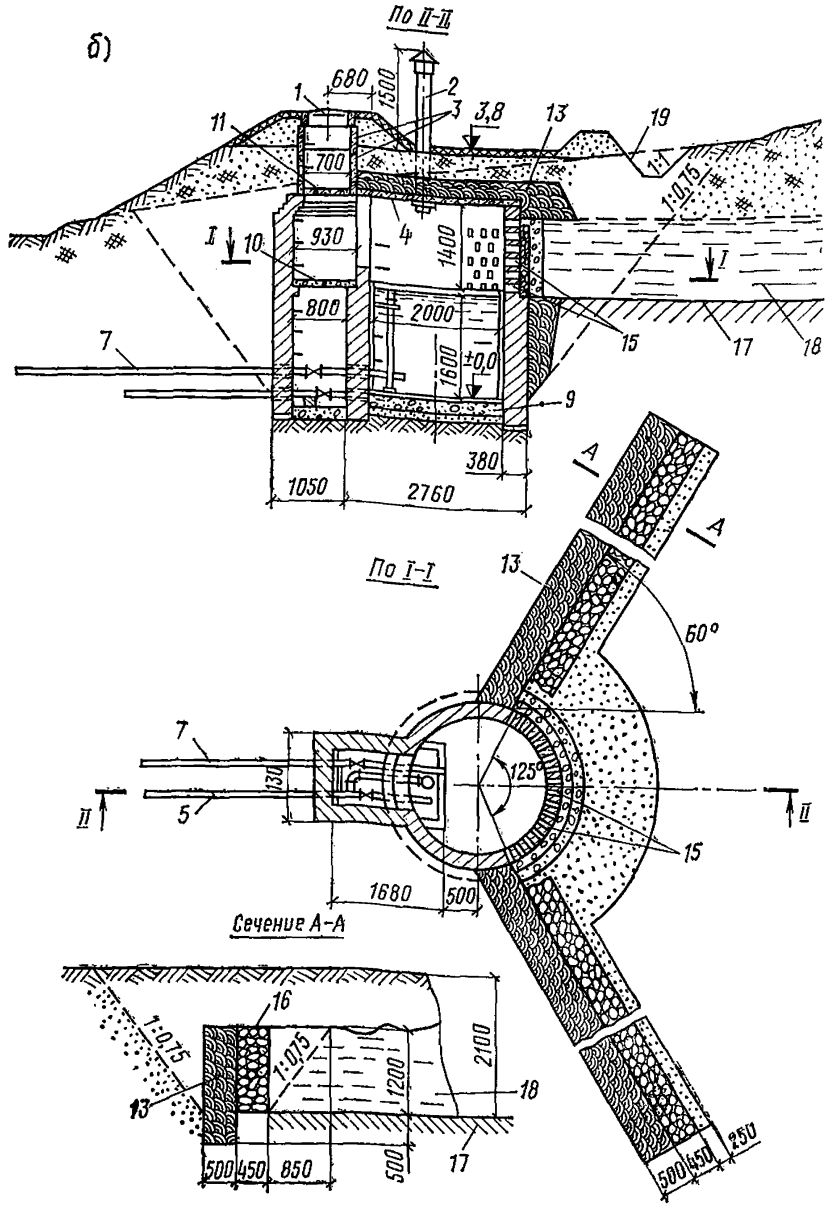


Рис. 37,а, б. Кирпичная каптажная камера

а — для восходящего источника; *б* — для нисходящего источника; *1* — люк чугунный; *2* — вентиляционная труба асбестоцементная; *3* — железобетонные кольца; *4* — железобетонные плиты; *5* — переливная труба; *6* — грязевая труба; *7* — расходная труба; *8* — гравийная подушка; *9* — бетон М 50; *10* — железобетонная труба; *11* — крышка из досок; *12* — растительный грунт; *13* — плотно утрамбованный глинистый грунт; *14* — скальный грунт; *15* — водоприемные отверстия; *16* — гравийная дренажная отсыпка; *17* — водоупорный пласт; *18* — водоносный пласт; *19* — нагорная канава

При большой мощности водоносного пласта и глубоком залегании водоупора каптаж по глубине вскрытия пласта может быть несовершенным. Глубина заложения нижнего ряда водоприемных отверстий в стенке каптажа и заглубление его днища при этом определяются из условий требуемой производительности каптажа с учетом создания в нем условий для дальнейшего транспорта воды. Каптаж нисходящих источников сооружается при необходимости с водоулавливающими стенками-барражами, вдоль которых со стороны потока подземных вод выкладывается призма из фильтрующего материала, сопрягающаяся с обратным фильтром каптажа.

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



располагаемые под днищем каптажа, в расчете на исключение выноса из пласта мелких частиц породы. Каптажные камеры сооружаются из сборного железобетона в открытых котлованах или в восходящих источниках при глубоком залегании водоносного пласта опускным способом.

11.3. Для нормальной работы каптажа необходимо:

а) достаточно полно по площади и глубине вскрыть выход источника;

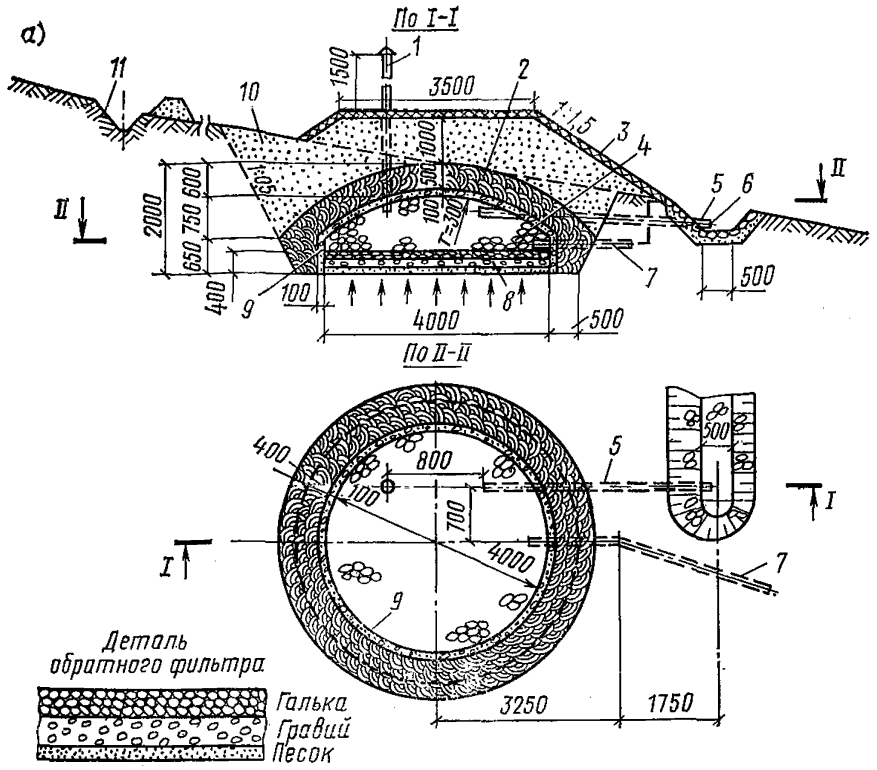


Рис. 38,*а*, *б*. Глиняно-каменная каптажная камера

а — для восходящего источника; *б* — для нисходящего источника; *1* — вентиляционная труба, d=150 мм; *2* — утрамбованный глинистый грунт; *3* — крепление растительным грунтом; *4* — каменная наброска; *5* — переливная труба, d=100 мм; *6* — латунная сетка; *7* — расходная труба; *8* — обратный фильтр (галька — d=15 ÷ 40 мм, гравий — d=3 ÷ 7 мм, песок — d=0,5÷1 мм); *9* — гравийный защитный слой; *10* — насыпной грунт; *11* — нагорная канава; *12* — водоупорный пласт

б) предохранить источник от промерзания и попадания в него поверхностных загрязнений, насекомых, пресмыкающихся, грызунов и других мелких животных;

в) принять меры по предотвращению образования оползней, размывов и обвалов в месте расположения каптажа;

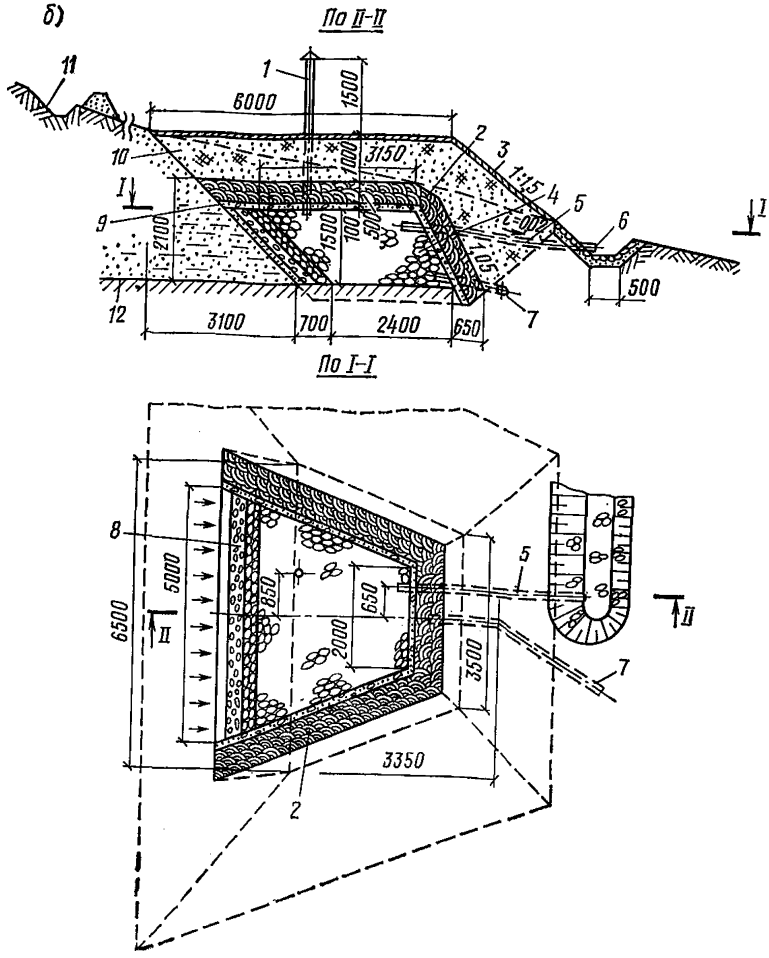
г) обеспечить надежную вентиляцию каптажа.

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

Вода из каптажей подается потребителю самотеком или с помощью насосов. Насосы могут быть установлены в каптажных камерах (на каптажах малой производительности), в отдельном здании у каптажа или у общей водосборной емкости, в которую стекает вода из ряда каптажей.

11.4. Конструкция железобетонных камер для каптажа восходящих и нисходящих источников показана на рис. 36.

Камеры монтируются из сборных железобетонных колец диаметром 1,5 м, горловины и люка. Между горловиной и камерой устанавливается железобетонный конус. Камера для каптажа нис-



ходящих источников снабжена водонепроницаемым днищем. Наружные стенки камер покрываются горячим битумом за два раза, причем до покрытия они огрунтовываются праймером (состав: битума 25%, бензина 75% по массе).

Поступление воды в камеры из восходящих источников осуществляется через днище (рис. 36а), а из нисходящих — через отверстия в стенках камер (рис. 36б). Для предотвращения выноса грунта из водоносного пласта перед входным отверстием укладывается обратный фильтр, каптажные камеры оборудуются расходной и переливной трубами.

С целью большего захвата воды нисходящих источников предусматривается устройство улавливающих стенок из глинистого грунта, вдоль которых для свободного стока воды в камеры укладывается фильтрующая призма.

11.5. Конструкции кирпичных камер для каптажа как восходящих, так и нисходящих источников показаны на рис. 37.

Поступление воды в камеру для восходящего источника осуществляется через днище. Поступление воды в камеру в нисходящем источнике осуществляется при помощи водоприемных отверстий, устраиваемых в боковой кирпичной стенке.

Для предохранения выноса грунта из водоносного пласта в камеру перед ними укладывается обратный фильтр.

11.6. На рис. 38 показана конструкция глиняно-каменной камеры для каптажа неглубоко залегающих источников. Она состоит из каменной наброски, закрытой сверху и с боков слоем плотно утрамбованной глины. Поверх каменной наброски укладывается гравийный или щебеночный слой для предохранения выноса грунта в каменную наброску.

В камеру восходящего источника вода поступает через днище, на дно камеры укладывается обратный фильтр. Глиняно-каменная камера для каптажа нисходящего источника имеет обратный фильтр со стороны водоносного пласта.

11.7. Дебит каптажных сооружений на источниках (родниках) в случае, когда используется только их естественный расход, устанавливается на основе наблюдений за режимом подземных вод.

В качестве расчетного принимается расход источника той или иной обеспеченности (повторяемости). Для источников, используемых для водоснабжения крупных населенных пунктов или производственных объектов, обеспеченность должна соответствовать категории надежности подачи воды, предусмотренной СНиП II-31-74, п. 1.3 (см. также гл. 2 настоящего Руководства).

Если захват источника осуществляется с принудительной откачкой, дебит которой превышает естественный расход источника, расчет производится по формулам, данным для соответствующих типов водозаборов — шахтных колодцев (см. гл. 6) или горизонтальных водозаборов (см. гл. 8).

12. ИСКУССТВЕННОЕ ПОПОЛНЕНИЕ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД (ИППВ) [4, 28, 38, 46, 56, 57, 63]

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

12.1. В качестве источника искусственного пополнения запасов подземных вод могут быть использованы поверхностные воды рек, водохранилищ, озер, каналов, а в отдельных случаях также шахтные и дренажные воды, «отработанные» воды на установках кондиционирования воздуха или на системах охлаждения производственного оборудования и аппаратуры и некоторые другие виды незагрязненных сточных вод.

12.2. Метод искусственного пополнения дает возможность увеличивать производительность водозаборов подземных вод и обеспечивать более равномерную их эксплуатацию.

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

Целесообразность применения метода искусственного пополнения подземных вод с учетом перечисленных факторов устанавливается на основании технико-экономических расчетов.

12.3. Для осуществления искусственного пополнения запасов подземных вод предусматриваются сооружения для забора воды из источника пополнения (так называемой сырой воды), предварительной ее подготовки и собственно инфильтрационные сооружения, через которые производится подача (инфильтрация) воды в водоносный пласт. Указанные сооружения вместе с водозаборными (каптажными) сооружениями, резервуарами чистой воды, насосными станциями второго подъема и т. д. составляют единую систему искусственного пополнения (СИП). Некоторые возможные схемы СИП показаны на рис. 39 и 40.

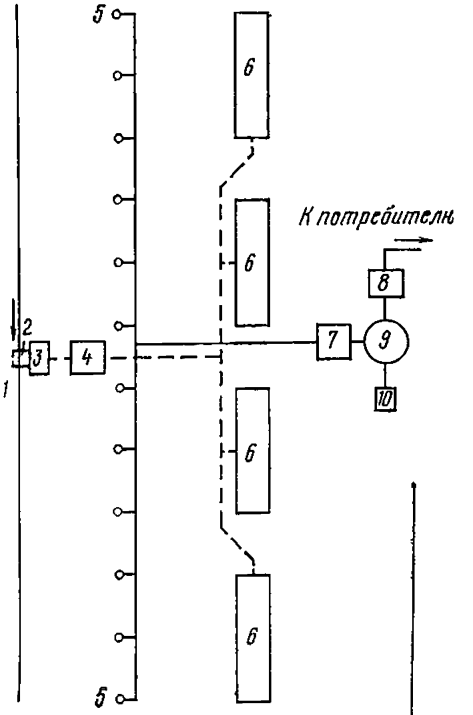


Рис. 39. Компоновочная схема СИП при однорядном расположении каптажных и инфильтрационных сооружений

1 — поверхностный источник; *2* — водозабор; *3* — насосная станция 1-го подъема; *4* — сооружения предварительной подготовки; *5* — скважины; *6* — инфильтрационные бассейны; *7* — сооружения последующей обработки воды; *8* — насосная станция 2-го подъема; *9* — резервуар чистой воды; *10* — установка для обеззараживания

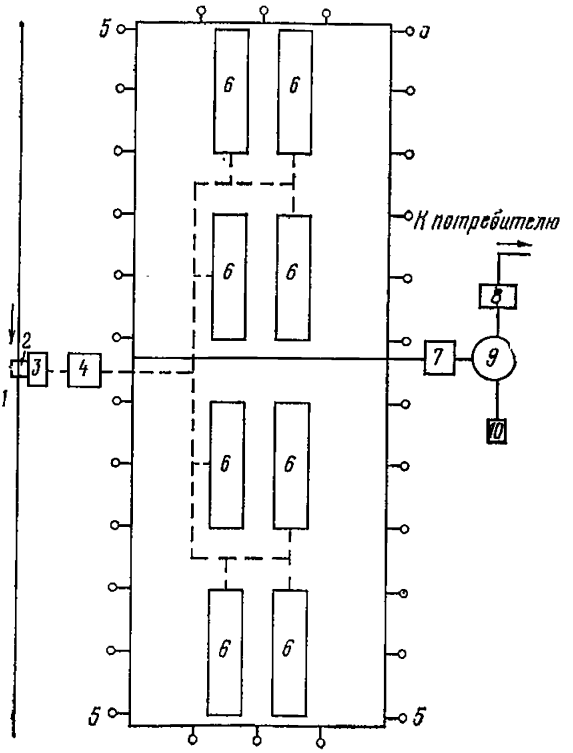


Рис. 40. Компоновочная схема СИП при двухрядном расположении бассейнов и контурном размещении скважин

1 — поверхностный источник; *2* — водозабор; *3* — насосная станция 1-го подъема; *4* — сооружения предварительной подготовки; *5* — скважины; *6* — инфильтрационные бассейны; *7* — сооружения последующей обработки; *8* — насосная станция 2-го подъема; *9* — резервуар чистой воды; *10* — установка для обеззараживания

12.4. Инфильтрационные сооружения систем искусственного пополнения разделяются на два основных типа: открытые (бассейны, каналы, площадки и др.) и закрытые (скважины, колодцы, галереи).

ОТКРЫТЫЕ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

12.5. Открытые инфильтрационные сооружения (бассейны, каналы, площадки, канавы, борозды и т. д.) применяются для пополнения запасов подземных вод первого от поверхности земли водоносного горизонта при отсутствии или малой мощности покровных слабопроницаемых отложений.

Открытые инфильтрационные сооружения являются наиболее подходящими для районов, характеризующихся короткими периодами отрицательных температур или их отсутствием.

В отдельных случаях может, однако, оказаться целесообразным использование открытых инфильтрационных сооружений и в районах с суровым климатом; особенно при наличии в водоносном пласте большой регулирующей емкости.

Наибольшее применение в СИП получили инфильтрационные бассейны, реже — каналы.

В качестве открытых инфильтрационных сооружений могут также использоваться естественные и искусственные понижения рельефа (овраги, балки, староречья, высохшие озера, карьеры, пруды), а также русла временных и постоянных водотоков, которые расчищаются и перегораживаются валами, земляными перемычками или каменными набросками.

12.6. При проектировании открытых инфильтрационных сооружений решаются следующие основные задачи:

а) выбор типа инфильтрационных сооружений;

б) назначение их габаритов и конструкций;

в) установление режима эксплуатации;

г) прогноз производительности отдельных инфильтрационных сооружений;

д) определение способа регенерации сооружений и соответствующих технических средств.

12.7. Инфильтрационные бассейны имеют, как правило, прямоугольную форму в плане и трапецеидальные (реже прямоугольное) поперечное и продольное сечения.

На крупных установках искусственного пополнения применяются бассейны шириной по дну 15—30 м и длиной 200—400 м. Глубина бассейна обычно не превышает 3—4 м (чаще 1,5—2 м). При наличии слабопроницаемых покровных отложений днища бассейнов должны врезаться в хорошо фильтрующие породы на глубину не менее 0,5 м. Общая глубина бассейна от днища до верха откоса должна превышать глубину его наполнения не менее чем на 0,5 м.

Заложение откосов бассейнов принимается в пределах от 1 : 1 до 1 : 3,5. Один из торцевых откосов бассейна может быть более пологим, чем остальные. Заложение его определяется возможностью съездов и въездов машин и механизмов, используемых для чистки бассейна. Иногда съезды и въезды предусматриваются на продольных откосах бассейна.

12.8. Инфильтрационные бассейны могут устраиваться:

а) без загрузки дна (рис. 41,*а*);

б) с песчаной загрузкой дна (рис. 41,*б*);

в) с гравийной загрузкой дна (рис. 41,*в*).

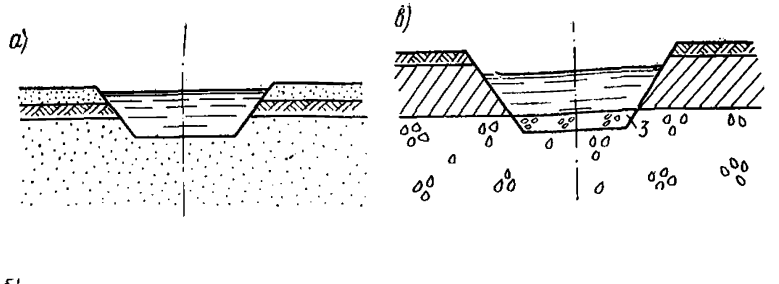


Рис. 41. Схемы инфильтрационных бассейнов

а — без загрузки дна; *б* — с песчаной загрузкой дна; *в* — с гравийной загрузкой; *1* — крепление; *2* — песчаная загрузка; *3* — гравийная загрузка

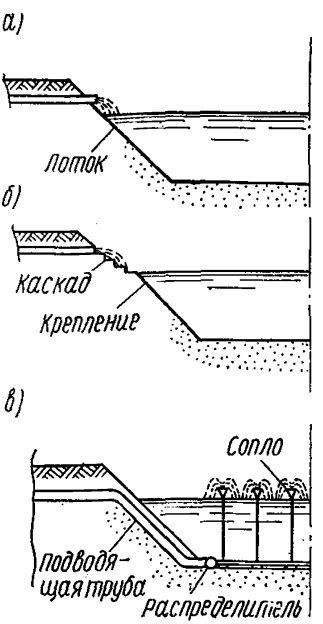


Рис. 42. Типовые схемы подачи воды на инфильтрацию

а — сосредоточенная подача; *б* — аэрационный каскад; *в* — равномерное распределение воды (разбрызгивающие сопла)

Песчаная и гравийная загрузка дна предусматривается при устройстве бассейнов в гравийно-галечниковых отложениях. Толщина загрузки составляет 0,5—0,8 м. Крупность зерен песчаной загрузки — 0,5—2 мм, гравийной — 3—8 мм.

Подача воды в инфильтрационные бассейны может производиться с помощью (рис. 42):

а) одного или двух водовыпусков, размещенных в середине продольного откоса бассейна или в его торцевых откосах (рис. 42,*а*);

б) аэрационных каскадов, устраиваемых на одном или обоих продольных откосах бассейна (рис. 42,*б*);

в) разбрызгивающих сопел (рис. 42,*в*).

Во втором и третьем случаях достигается хорошее насыщение воды, поступающей на инфильтрацию, воздухом.

12.9. На инфильтрационных бассейнах иногда устраиваются входные узлы для регулирования и измерения подаваемых в бас-

сейны расходов воды, предупреждения их переполнения, а при необходимости — для предотвращения размыва днищ бассейнов.

Рабочие чертежи типовых конструкций входных узлов разработаны Союзводоканалпроектом.

Во многих случаях, однако, специальных входных узлов на бассейнах можно не делать, подачу и уровень регулировать задвижками, а величину расхода определять по замерным трубкам диафрагм, установленных у концевого сечения трубопроводов, подводящих воду к бассейнам, или по сработке уровня воды в бассейнах в период их кратковременного отключения.

РЕЖИМ РАБОТЫ БАССЕЙНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

12.10. Инфильтрационные бассейны эксплуатируются обычно на режиме Q_0=const (постоянной подачи) или $H_м$=const (быстрого наполнения).

При первом режиме в бассейн в течение всего рабочего периода t_1 подается постоянный расход воды Q_0 (рис. 43*а*). Работа на таком режиме сопровождается медленным и равномерным подъемом уровня воды в бассейне. К концу рабочего периода этот уровень достигает допустимого для бассейна максимума $H_м$.

Второй режим (рис. 43*б*) характеризуется подачей в бассейн сразу после пуска его в работу повышенных расходов воды, что приводит к быстрому достижению предельно возможных уровней $H_м$.

Работа на режиме быстрого наполнения может оказаться целесообразной при наличии на дне бассейна мелкозернистых песков или супесей (грунтов, заведомо неспособных кольматироваться на значительную глубину), а также в тех случаях, когда пуск бассейна в работу приурочен ко времени наступления отрицательных температур.

По истечении рабочего периода длительностью t_1, когда при постоянной подаче уровень воды в бассейне достигнет максимально-возможной величины $H_м$ (первый режим) или фильтрационный расход из бассейна при постоянном уровне $H_м$ снижается до таких величин, при которых дальнейшая эксплуатация бассейна становится нецелесообразной (второй режим), подача воды в бассейн прекращается и за время t^* уровень в бассейне и расход из него па-

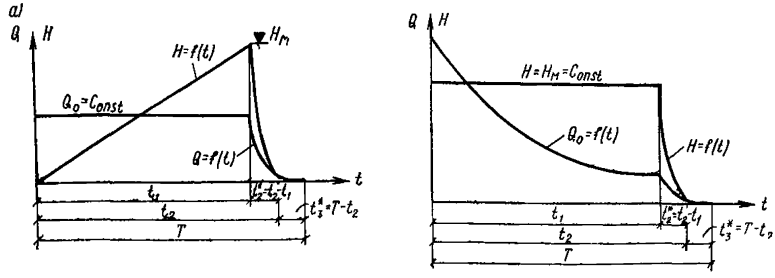


Рис. 43. Режимы работы инфильтрационных бассейнов
а — при Q_0=const; *б* — при H=const

дают практически до нуля; после этого производится чистка бассейна (длительность периода чистки — t_3^*).

В совокупности весь период работы бассейна $T=t_1+t_2^*+t_3^*$ называется рабочим фильтроциклом.

12.11. При проектировании прогноз производительности бассейнов может осуществляться следующими способами:

1) по аналогии с сооружениями уже действующих СИП;

2) путем расчетов.

Первый из названных способов требует использования данных по эксплуатируемым установкам, сходным по факторам, влияющим на величину производительности бассейна, с вновь проектируемой (по качеству воды источника пополнения, по общей схеме предварительной подготовки воды, по загрузке днища сооружения, свойствам подстилающего его грунта и т. д.).

Этот путь может оказаться наиболее рациональным в тех случаях, когда вновь проектируемая установка находится в районе действующей или проектируется расширение уже эксплуатируемой СИП.

Для применения расчетных методов необходимо иметь данные о свойствах намечаемой к использованию сырой воды (и, в частности, о ее мутности, гранулометрическом составе взвеси и т. д.), составе и проницаемости грунтов в основании инфильтрационных бассейнов, их конструктивных особенностях и заданном режиме эксплуатации.

12.12. Основной задачей расчета инфильтрационных бассейнов является определение скорости инфильтрации или, с учетом площади бассейнов, фильтрационного расхода, который будет поступать в водоносный пласт в каждый период их работы, длительности каждого периода и общего количества воды за фильтроцикл. При этом следует исходить из следующего соотношения для расхода воды, подаваемой в бассейн из источника пополнения, Q_0:

$$Q_0 = Q + Q_e, \qquad (40)$$

где Q — фильтрационный расход из бассейна; Q_e — расход на заполнение (опорожнение) емкости бассейна.

Все эти величины здесь и далее относятся к единице площади бассейна и имеют размерность скорости.

При расчетах производительности инфильтрационных бассейнов необходимо учитывать рост сопротивления грунтов вследствие выпадения из сырой воды содержащихся в ней взвешенных частиц минерального и органического происхождения.

В связи с тем, что грунты основания бассейнов в большинстве случаев представлены песками, а в гравийно-галечниковых отложениях устраивается песчаная загрузка, рост сопротивления грунтов основания обусловливается главным образом образованием на поверхности дна бассейна (или загрузки) слоя илистой пленки (осадка).

Процессы собственно кольматажа, т. е. отложения взвешенных частиц в порах грунта основания, обычно происходят в первый, сравнительно короткий период. Только в отдельных случаях (например, в разнородных гравелисто-галечных грунтах без песчаной загрузки) кольматаж может иметь преобладающее значение в течение более или менее длительного времени.

В соответствии со сказанным, расчеты фильтрации из бассейнов в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения, как правило, производятся по схеме пленочной фильтрации.

Динамику формирования илистой пленки на дне бассейна можно выразить следующей зависимостью:

$$d\,\delta = \frac{M Q_0\, d\,t}{\gamma_{ск}}, \qquad (41)$$

где δ — толщина пленки; M — содержание взвешенных частиц в сырой воде (ее мутность); $\gamma_{ск}$ — объемный вес скелета пленки; t — время.

С учетом соотношения (41), составляющие балансового уравнения (40) представляются в таком виде:

а) для периода постепенного наполнения бассейна при постоянной подаче воды:

$$Q_0 = \text{const}; \quad Q = k_п \frac{\partial H}{\partial \delta} = \frac{k_п \gamma_{ск}}{M Q_0} \cdot \frac{\partial H}{\partial t};$$

$$Q_e = \frac{\partial H}{\partial t};$$

б) для периода фильтрации при постоянном максимальном уровне в бассейне

$$Q_0 = f(t); \quad Q = Q_0 = k_п \frac{H_м}{\delta};$$

$$(H_м = \text{const}, \ \delta = f(t)); \quad Q_e = 0;$$

в) после прекращения подачи воды в бассейн (перед чисткой)

$$Q_0 = 0; \quad Q = k_п \frac{H}{\delta} \left(H = f(t); \quad \delta = \text{const}\right);$$

$$Q_e = -Q = -\frac{\partial H}{\partial t}.$$

В этих формулах $k_п$ — коэффициент фильтрации осадка-пленки; H — напор.

Поскольку коэффициент фильтрации естественного грунта основания k намного превосходит коэффициент фильтрации осадка-пленки ($k \gg k_п$), можно считать, что движение воды в грунте основания происходит с неполным насыщением пор. В этом случае напор H равен глубине воды в бассейне (от его дна).

В табл. 20 приведены основные зависимости для водоподачи Q_0, фильтрационного расхода Q, глубины воды H и объема фильтрующейся воды W, которые могут быть использованы для расчета бассейнов.

При режиме Q_0=const формулой (2) табл. 20 оценивается расход подачи воды в бассейн, который нужно поддерживать постоянным для того, чтобы к концу периода t_1 глубина воды в бассейне составила $H_м$ ($H_м$ — максимально-возможное наполнение бассейна).

Таблица 20

Зависимости для расчета инфильтрационных бассейнов

Период	Режим эксплуатации	Расчетные формулы	№ формулы	Обозначения
I $t_0 < t \leqslant t_1$	$Q_0 = \text{const}$ $H = f(t)$	$Q = \dfrac{Q_0}{1 + \dfrac{M Q_0}{A}} \approx Q_0$	(1)	$A = k_{\text{п}} \gamma_{\text{ск}}$
		$Q_0 = \sqrt{\dfrac{A H_{\text{м}}}{M t_1}}$	(2)	
		$W \approx F Q_0 t_1$	(3)	F — площадь дна бассейна
		$H = \dfrac{Q_0 t}{1 + \dfrac{A}{M Q_0}} \approx \dfrac{M Q_0^2 t}{A}$	(4)	
	$H = H_{\text{м}} = \text{const}$ $Q_0 = f(t)$	$Q = Q_0 = \sqrt{\dfrac{A H_{\text{м}}}{2M(t - t_0)}}$	(5)	$t_0 = \dfrac{A H_{\text{м}}}{2 M Q_0^{*2}} -$ некоторый начальный период, соответствующий начальному расходу Q_0^*
		$W = F \sqrt{\dfrac{2 A H_{\text{м}}}{M}(t_1 - t_0)} + Q_0^* F t_0$	(6)	
II $t_1 < t \leqslant t_2$	$Q_0 = 0$	$t_2 = -\dfrac{W M}{A F} \ln \varepsilon$	(7)	$\varepsilon = \dfrac{H_{\text{мин}}}{H_{\text{м}}}$
	$H = f(t)$	$Q = \dfrac{k_{\text{п}} H_{\text{м}}}{\delta} e^{-\frac{k_{\text{п}}}{\delta}(t - t_1)}$	(8)	
		$H = H_{\text{м}} e^{-\frac{k_{\text{п}}}{\delta}(t - t_1)}$	(9)	
		$W = H_{\text{м}} F$	(10)	

Примечание. Инфильтрация через откосы бассейна не учитывается, что дает определенный запас в результатах расчетов (несколько уменьшается эффективность пополнения).

12.13. Для бассейнов в среднезернистых и крупнозернистых песках, характеризующихся коэффициентами фильтрации от 10—20 до 60—80 м/сут, расходы Q_0 подачи воды колеблются обычно в пределах 1—3 м/сут. Для бассейнов в мелкозернистых песках и супесях величина этих расходов может быть уменьшена до $Q_0 \approx 0{,}3$—0,5 м/сут.

При эксплуатации бассейна на режиме $H_м = \text{const}$ величина первоначального расхода является максимальной: $Q_0 = Q_0^*$ и может достигать 3—5 м/сут и более.

Предельная глубина воды в бассейне $H_м$ определяется его конструкцией.

Расчетное значение мутности M устанавливается, по данным гидрологических ежегодников, как среднее за период, соответствующий фильтроциклу бассейна. При необходимости проводятся специальные исследования по определению мутности.

Если проектом предусматривается предварительная подготовка воды, подаваемой на инфильтрацию, то расчетная мутность назначается с учетом уменьшения мутности речной воды на очистных сооружениях.

12.14. Общая продолжительность фильтроцикла T назначается в зависимости от числа намечаемых чисток бассейна в году, которая в свою очередь определяется климатическими условиями района, качеством сырой воды, подаваемой на пополнение, режимом работы бассейна, требуемой средней за фильтроцикл скоростью инфильтрации и т. д. и может уточняться в процессе проведения расчетов.

Обычно для бассейнов в песчаных грунтах, а также в гравийно-галечниковых отложениях с песчаной загрузкой предусматриваются одна-две чистки в течение года; в соответствии с этим продолжительность фильтроцикла T составляет 180—365 сут.

Период опорожнения бассейна перед чисткой t_2, как правило, назначается равным 5—10 сут и уточняется расчетом по формуле (7) табл. 20.

Входящим в эту формулу коэффициентом ε оценивается необходимое минимальное расчетное понижение уровня в бассейне, при котором может осуществляться его чистка. Величина ε принимается от 0,01 до 0,05.

В случае, если расчетный период t_2 по формуле (7) табл. 20 превышает 5—10 сут, рекомендуется предусматривать принудительное опорожнение бассейна. Продолжительность периода чистки t_3 допустимо принимать: 15 сут при чистке вручную, и 5 сут — при чистке механизмами.

Восстановление фильтрующей способности инфильтрационных сооружений во многих случаях производится лишь раз в год в период весеннего паводка, во время которого подача воды на инфильтрацию прекращается из-за большого содержания в ней взвеси. Общая продолжительность периода, в течение которого вода на инфильтрацию не подается, должна определиться при этом продолжительностью паводка, устанавливаемой по данным гидрологических ежегодников. В большинстве случаев этот период значительно превышает продолжительность второго и третьего периодов $(t_2^* + t_3^*)$. Именно эта величина должна вводиться в расчетные формулы табл. 20 вместо $t_2^* + t_3^*$

12.15. Указанные режимы работы инфильтрационных бассейнов представлены в упрощенной схеме. В ней опускается самый началь-

ный период, когда происходит отложение взвешенных частиц в порах грунта основания бассейна, т. е. не учитывается процесс собственно кольматации грунта основания до начала образования осадка-пленки на поверхности дна бассейна.

Длительность этого начального периода t_0 определяется кольматационной емкостью грунта основания или так называемой «грязеемкостью».

Грязеемкость зависит от состава и свойств песка грунта основания и взвеси (в частности, от их механического состава), величины мутности воды, подаваемой на инфильтрацию, и скорости последней.

Величина грязеемкости N наиболее надежно устанавливается экспериментально. По имеющимся опытным данным, в грунтах, характеризующихся эффективным диаметром, $d_Ф=0{,}1—0{,}2$ мм; $N\approx$ $\approx 0{,}5—1$ кг/см². В этих условиях начальный период t_0, например, при начальной скорости инфильтрации $Q_0^*=1—3$ м/сут и мутности воды $M=20$ мг/л$=0{,}02$ кг/м³ составит

$$t_0=\frac{0{,}5-1}{(1-3)\ 0{,}02}=8-50 \text{ сут.}$$

В сильно проницаемых крупноскелетных грунтах процессы кольматации могут продолжаться значительно более длительное время.

12.16. Входящая в расчетные зависимости величина параметра $A=k_п\gamma_{ск}$ на стадии ТЭО может быть определена из табл. 21 в зависимости от процента содержания в воде, идущей на пополнение, глинистых и мелко-пылеватых фракций P (частиц $<0{,}01$)

Таблица 21

Значения параметра $A=k_п\gamma_{ск}$

P, %	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	≥70
A, кг/(м²× ×сут)	3,8—3	3—2,4	2,4—1,9	1,9—1,5	1,5—1,2	1

Восстановление производительности открытых инфильтрационных сооружений осуществляется обычно путем съема наиболее загрязненного слоя песка толщиной 1,5—3 см и пленки вручную или механизмами (бульдозеры, скреперы, экскаваторы). Значительно реже применяются гидравлические способы регенерации.

ЗАКРЫТЫЕ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

12.17. В зависимости от характера размещения в водоносном пласте закрытые инфильтрационные сооружения подразделяются на горизонтальные и вертикальные.

Горизонтальные закрытые инфильтрационные сооружения — трубчатые дрены, галереи и штольни — не нашли широкого применения в практике пополнения запасов подземных вод, что объясняется отсутствием эффективных методов восстановления их производительности и несовершенством самих конструкций.

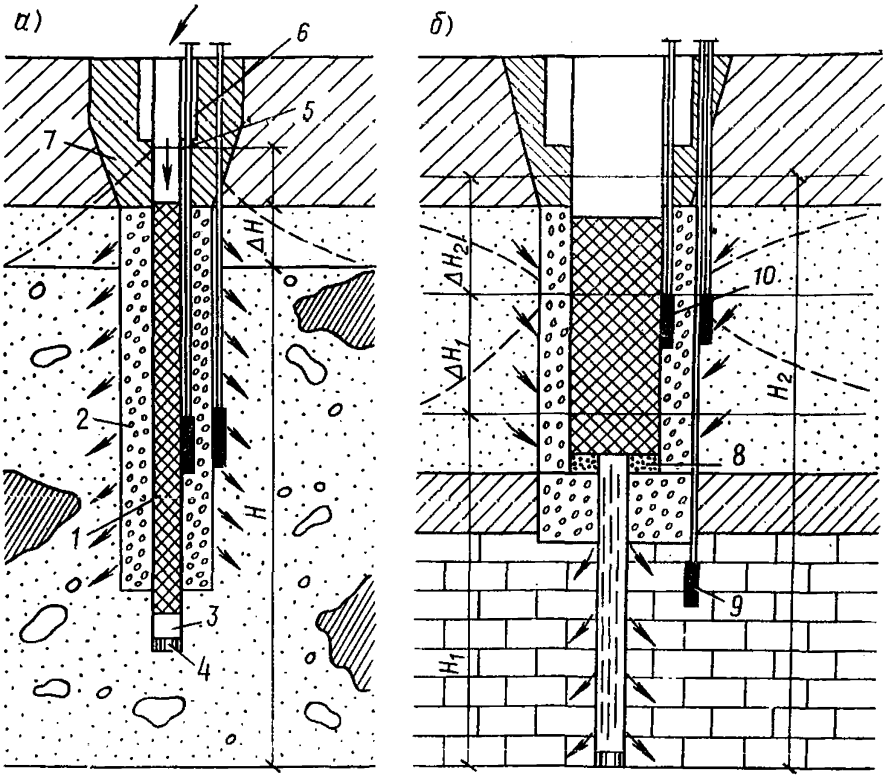


Рис. 44. Конструкции поглощающих и дренажно-поглощающих скважин

а — поглощающая скважина; *б* — дренажно-поглощающая скважина; *1* — фильтровый каркас; *2* — обсадка; *3* — отстойник; *4* — пробка; *5* — эксплуатационная колонна; *6* — кондуктор; *7* — затрубная цементировка; *8* — сальник; *9* — наблюдательная скважина; *10* — затрубный пьезометр

Наибольшее распространение получили вертикальные закрытые инфильтрационные сооружения — главным образом буровые скважины и сравнительно редко шурфы и шахтные колодцы.

12.18. Буровые скважины по назначению и условиям эксплуатации можно подразделить на следующие типы:

а) поглощающие скважины рис. 44,*а*);

б) дренажно-поглощающие скважины (рис. 44,*б*).

Поглощающие скважины подают воду непосредственно в эксплуатируемый пласт. Эти скважины могут эксплуатироваться как в режиме самопоглощения при самотечной подаче воды, так и в режиме принудительной закачки. Поглощающие скважины применяются не только для пополнения запасов подземных вод, но также для создания гидравлических барьеров, предотвращающих интрузию морских вод в эксплуатируемые водоносные горизонты, создания линз пресных вод в коллекторах с солеными, а также в системах оборотного водоснабжения и установках кондиционирования воздуха, когда водоносный пласт используется в качестве тепловой регулирующей емкости.

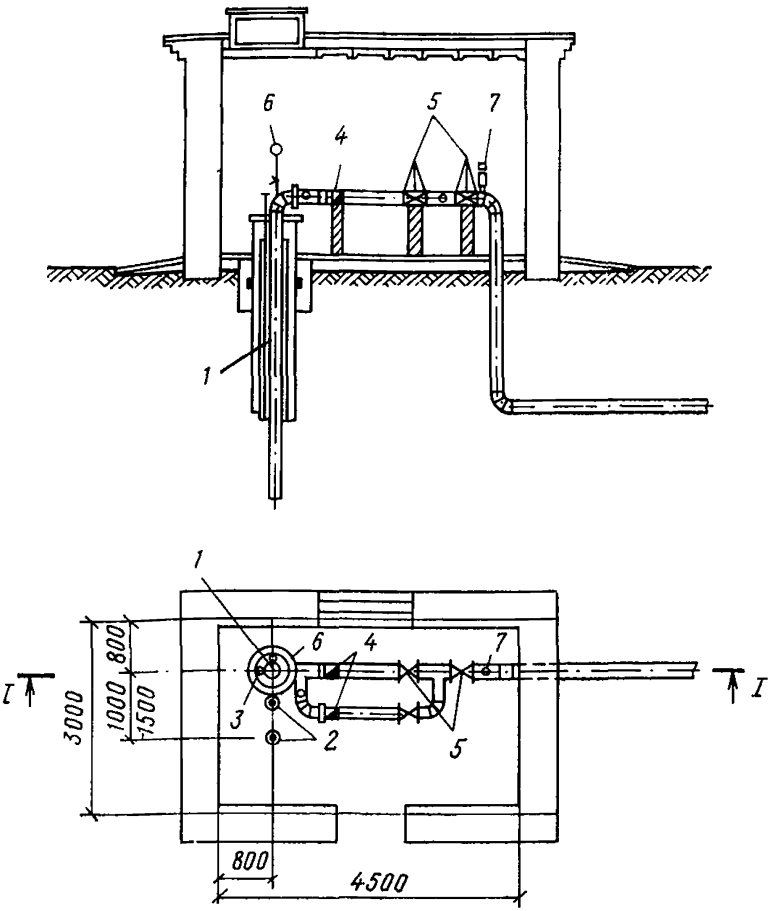


Рис. 45. Схема входного узла поглощающей скважины (план и разрез *I—I*)
1 — поглощающая скважина; *2* — наблюдательная скважина; *3* — пьезометр; *4* — водомер; *5* — задвижка; *6* — манометр; *7* — вантуз

Поглощающие скважины, как правило, сооружаются большим диаметром с установкой фильтров из антикоррозионных материалов и устройством гравийной обсыпки. Схема компоновки входного узла поглощающей скважины показана на рис. 45.

Дренажно-поглощающие скважины предназначены для дренирования верхнего водоносного горизонта с подачей воды в нижний напорный пласт. Эти скважины оборудуются фильтрами на оба горизонта. Для улучшения условий дренирования или перетока гравийная обсыпка может устраиваться не только в интервале установки фильтров, но и в пределах слабопроницаемой прослойки.

Помимо указанных выше типов имеются скважины двойного назначения, работающие попеременно как поглощающие, и как водозаборные. Такие скважины используются, например, для обогащения подмерзлотного водоносного горизонта в летний период

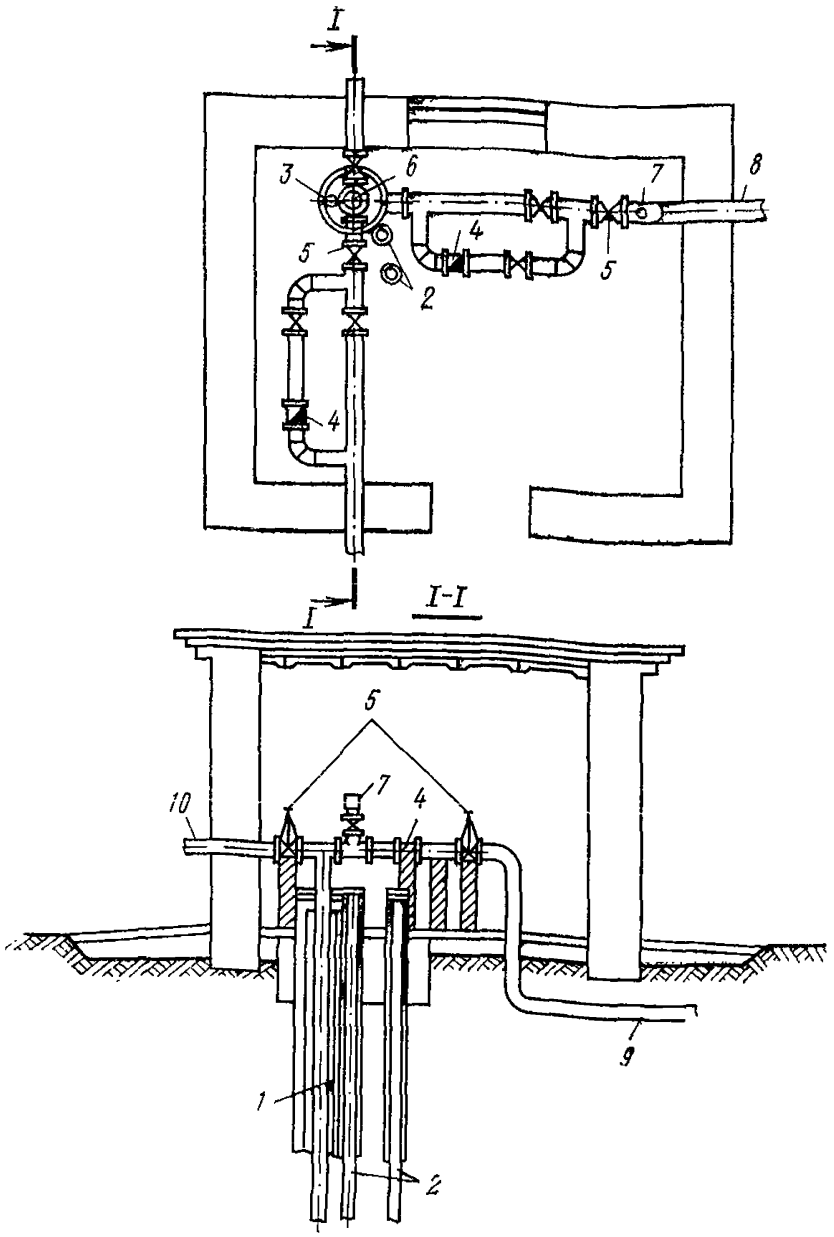


Рис. 46. Схема входного узла скважины двойного назначения (план и разрез I—I)

1 — скважина двойного назначения; *2* — наблюдательные скважины; *3* — затрубный пьезометр; *4* — водомер; *5* — задвижки; *6* — манометр; *7* — вантуз; *8* — подводящая линия; *9* — напорная линия; *10* — сбросная линия

с целью использования воды зимой или для создания запасов в зимний период с целью последующего ее отбора в летнее время года.

Конструкция водоприемной части скважины двойного назначения не отличается от конструкции поглощающей скважины.

Схема входного узла скважины двойного назначения показана на рис. 46.

12.19. Для контроля за работой скважин необходимо предусмотреть соответствующее оборудование для:

а) измерения расхода и количества воды, поступившего в пласт за время эксплуатации скважины;

б) регулирования подачи воды в скважину и полного отключения скважины от питающего водовода;

в) измерения динамических уровней воды в скважине, на контуре обсыпки и вблизи скважины.

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗАКРЫТЫХ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

12.20. На начальном этапе эксплуатация поглощающих скважин, как правило, осуществляется с постоянным расходом ($Q=$ $=\text{const}$). За счет кольматажа возрастает напор H на устье скважины, и к некоторому моменту времени t_1 он становится равным допустимому значению $H_{\text{доп}}$. В частном случае, если скважина работает в режиме самопоглощения (т. е. осуществляется свободный налив в нее воды), величина $H_{\text{доп}}$ принимается равной отметке устья. С момента времени t_1 скважина может эксплуатироваться как при $H=H_{\text{доп}}=\text{const}$, так и при $Q=\text{const}$. В последнем случае устье скважины герметизируется и подача воды производится насосом. На практике целесообразнее осуществлять эксплуатацию скважин в режиме $Q=\text{const}$.

12.21. Для поглощающих скважин, работающих в режиме $Q=$ $=\text{const}$, повышение напора составит

$$\Delta h = \Delta h_0 + \Delta h_{\text{скв}}, \tag{42}$$

где Δh_0 — повышение напора в пласте над первоначальным уровнем, обусловленное так называемым внешним сопротивлением; $\Delta h_{\text{скв}}$ — потери напора, связанные с внутренним сопротивлением в скважине и прискважинной зоне.

Первая из указанных составляющих формулы (42) (Δh_0) определяется по обычным формулам подземной гидравлики и может быть представлена в виде

$$\Delta h_0 = \frac{Q}{2\pi km} R, \tag{43}$$

где k и m — коэффициент фильтрации и мощность пласта (в безнапорных пластах $m \approx 0{,}8 h_e$, где h_e — первоначальная глубина воды до водоупора); R — функция внешнего гидравлического сопротивления, определяемая в зависимости от размеров и геометрической формы водоносного пласта, условий на его границах, а также размеров скважины.

Теоретически процесс закачки воды в скважину и откачки из нее описывается одними и теми же исходными уравнениями (изменяется лишь знак перед величиной дебита Q: при откачках $Q<0$, а при закачках и наливах $Q>0$). В связи с этим применительно к наиболее распространенным схемам фильтрации в системах искусственного пополнения запасов подземных вод величина R может рассчитываться по формулам, приведенным в гл. 6.

12.22. Вторая составляющая формулы (42) ($\Delta h_{\text{скв}}$) определяется следующим образом:

$$\Delta h_{\text{скв}} = \frac{Q}{2\pi km} \zeta; \quad \zeta = \zeta_{\text{но}} + \zeta_{\text{к}}, \tag{44}$$

где ζ — величина внутреннего сопротивления, а индексами «н.с» и «к» обозначены величины, обусловленные неполнотой вскрытия пласта и кольматажем.

По существу, в процессе эксплуатации поглощающих скважин необходимо прогнозировать изменение величины $\zeta_к$. Сопротивление же $\zeta_{н.с}$, как правило, во времени не изменяется; оно определяется на начальном периоде эксплуатации скважин по формулам, приведенным в гл. 6.

12.23. Закономерности роста дополнительного сопротивления $\zeta_к$ в значительной степени обусловливаются конструктивными особенностями водоприемной части скважин, литологическим строением водоносного пласта и качеством закачиваемой воды.

Можно предполагать, как это было сделано при рассмотрении фильтрации из открытых бассейнов, что в водоносных пластах, представленных мелкими или среднезернистыми более или менее однородными песками, дополнительное сопротивление скважин $\zeta_к$ обусловлено в основном образованием пленки на внутренней поверхности фильтра.

В водоносных пластах, представленных крупнозернистыми песками или гравийными отложениями, может происходить проникновение частиц взвеси в поры грунта, сопровождающееся кольматажем призабойной зоны скважин. В этом случае величина $\zeta_к$ определяется сопротивлением закольматированного слоя пород и фильтра.

12.24. Динамика роста пленки на стенке скважины определяется следующим выражением:

$$2\pi m r\, dr = \frac{Q M\, dt}{\gamma_{ск}}, \qquad (45)$$

где M — мутность закачиваемой воды; $\gamma_{ск}$ — объемный вес частиц взвеси; m — мощность пласта; r — радиальная координата; t — время.

Интегрируя (45) от 0, r_0 до t, $r_0 - \delta$ (где r_0 — радиус фильтра скважины; δ — толщина слоя образующегося осадка-пленки), получим:

$$\left.\begin{aligned} \delta &= r_0\,(1 - \sqrt{1 - \alpha_1}); \\ \alpha_1 &= \frac{Q M t}{\pi m \gamma_{ск} r_0^2}. \end{aligned}\right\} \qquad (46)$$

Фильтрационный эффект пленки, образующейся на внутренней поверхности фильтра, можно учесть, рассматривая пласт, состоящий в плане из двух концентрических зон с различной проницаемостью: первая зона водоносного пласта с коэффициентом фильтрации k; вторая зона, образуемая пленкой толщиной δ, — с коэффициентом фильтрации $k_п$. В этом случае дополнительное сопротивление, вызванное образованием пленки, определяется по следующей формуле:

$$\zeta_к = \frac{k}{k_п} \ln \frac{r_0}{r_0 - \delta} = -0{,}5 \frac{k}{k_п} \ln (1 - \alpha_1). \qquad (47)$$

Учитывая, что $\alpha_1 \ll 1$, для практических расчетов можно ограничиться разложением $\ln(1-\alpha_1) = -\alpha_1$ и последнюю формулу записать в виде

$$\zeta_к \approx \frac{kQMt}{2\pi m A r_0^2}, \qquad (48)$$

где по-прежнему $A = k_п \gamma_{ск}$.

12.25. При кольматации грунтов в прискважинной зоне наблюдается постепенное накопление осадка в породах и уменьшение во времени коэффициента фильтрации.

Исходя из предпосылки о равновесных условиях этого процесса можно, учитывая коэффициент распределения между взвешенными частицами, содержащимися в закачиваемой воде (ее мутностью) и отложившимися в порах грунта β, вместо выражения (45) написать:

$$2\pi m r\, dr = \frac{Q\, dt}{a}; \quad a = \frac{1+\beta}{\beta}. \qquad (49)$$

Интегрирование (49) в пределах от 0, r_0 до t, $r_0+\delta$ (в данном случае δ — толщина закольматированной зоны грунта) приводит к следующему выражению:

$$\delta = r_0 \left(\sqrt{1+\alpha_2} - 1\right); \quad \alpha_2 = \frac{Qt}{\pi m a r_0^2}. \qquad (50)$$

В соответствии с этим дополнительное сопротивление $\zeta_к$ составит

$$\zeta_к = 0{,}5 \left(\frac{k}{k_п} - 1\right) \ln(1+\alpha_2), \qquad (51)$$

где $k_п$ — коэффициент фильтрации закольматированного слоя грунта.

Поскольку $\alpha_2 \gg 1$, то для практических расчетов формулу (51) можно привести к виду

$$\zeta_к \approx 0{,}5 \left(\frac{k}{k_п} - 1\right) \ln \frac{Qt}{\pi m a r_0^2}. \qquad (52)$$

Графики роста дополнительного сопротивления, соответствующие рассмотренным выше закономерностям, приведены на рис. 47.

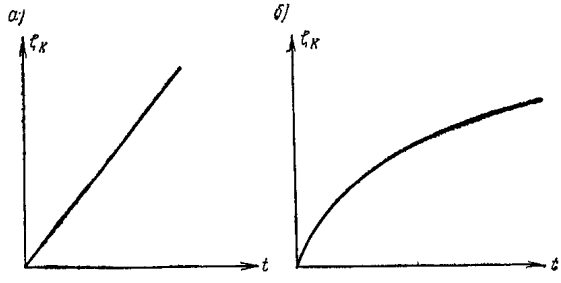


Рис. 47. Графики роста сопротивления скважин

а — в результате образования пленки; *б* — обусловленный кольматацией — накоплением взвеси в порах пород прискважинной зоны (в равновесных условиях)

Во всех случаях для прогноза величины $\zeta_к$ исходные параметры ($k_п$, $\gamma_{ск}$ и β) необходимо определять экспериментальным путем. Наиболее надежные данные при этом могут быть получены на основе наблюдений за работой поглощающих скважин на начальном этапе их эксплуатации.

По этим данным уточняются и корректируются намечаемые режимы эксплуатации скважин и сроки их регенерации.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВОДОЗАБОРОВ В СИСТЕМАХ ИСКУССТВЕННОГО ПОПОЛНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

12.26. Основными задачами проектирования водозаборов в системах ИППВ являются:

а) выбор рациональных типов, конструкций, схем размещения водозаборов с учетом гидрогеологических условий, а также намечаемых инфильтрационных сооружений и режима их работы;

б) оценка производительности водозаборов в условиях их взаимодействия с инфильтрационными сооружениями;

в) определение коэффициента полезного действия инфильтрационных сооружений и общей эффективности проектируемой системы ИППВ;

г) оценка возможного влияния проектируемых водозаборов на существующие в зоне их действия или намечаемые к сооружению новые водозаборы, а также на поверхностные водные источники.

12.27. Мероприятия по искусственному пополнению запасов подземных вод проектируются, исходя из необходимого дополнительного количества воды $Q_{бв}$, которое должно обеспечиваться фильтрацией $Q_б$ из искусственных сооружений (бассейнов, каналов и т. д.). При этом

$$Q_{бв} = \eta Q_б. \qquad (53)$$

Параметр η представляет собой к.п.д. инфильтрационных сооружений.

12.28. Наиболее часто применяемыми типами водозаборных или собственно каптажных сооружений в системах ИППВ являются различным образом расположенные взаимодействующие скважины.

В отдельных случаях, как правило, при малой мощности намечаемого к использованию водоносного горизонта, устраиваются шахтные колодцы, лучевые водозаборы или горизонтальные водозаборы (галереи). Конструкции скважин и других названных типов водозаборов в системах ИППВ не отличаются от таковых в обычных водозаборах подземных вод, эксплуатируемых без искусственного пополнения запасов.

12.29. Расположение водозаборов в плане принимается, исходя из условия обеспечения наиболее эффективного их взаимодействия с инфильтрационными бассейнами и каналами (или другими искусственными сооружениями для инфильтрационного питания водоносного горизонта), а в береговых водозаборах — и с поверхностными водотоками и водоемами.

Обычно водозаборы размещаются по линиям, параллельным инфильтрационным сооружениям и руслам поверхностных водотоков и водоемов.

Водозаборные сооружения могут располагаться как ниже инфильтрационных бассейнов по потоку подземных вод, так и выше

бассейнов. В первом случае водозабором наиболее полно используются инфильтрационные воды и лишь частично — естественный расход подземного потока. Во втором случае естественный расход потока перехватывается водозабором почти полностью, а инфильтрационные воды — частично.

Расстояния между водозаборными скважинами и инфильтрационными бассейнами устанавливаются по возможности минимальными, но так, чтобы длительность фильтрации сырой воды из бассейна до водозаборных скважин была достаточной для очистки воды от бактериального и других видов загрязнения и обеспечения требуемого качества воды в водозаборах с учетом возможного смешения инфильтрационной воды с природными водами эксплуатационного пласта. Обычно на практике указанные расстояния принимаются в пределах 50—200 м.

Часто в качестве инфильтрационных сооружений в долинах рек могут быть использованы высохшие озера, староречья, протоки и т. д. Местоположение водозаборных скважин в этом случае должно устанавливаться с учетом конфигурации указанных естественных понижений, а водозаборы подземных вод могут включать в себя, как и в системах с искусственными инфильтрационными сооружениями, группы взаимодействующих скважин, линейный ряд или систему рядов эксплуатационных скважин.

12.30. Величина понижения уровня подземных вод $S_в$ в водозаборах систем ИППВ, равно, как и в любом другом пункте водоносного пласта в зоне влияния водозаборов, в общем случае определяется по следующим зависимостям:

для безнапорного потока

$$S_в = h_e - \sqrt{h_e^2 - A};$$

$$A = (S - \Delta h_б)\ (2h_e - S - \Delta h_б); \qquad (54)$$

для напорного потока

$$S_в = S - \Delta h_б, \qquad (55)$$

где S — понижение уровня под влиянием работы водозабора; $\Delta h_б$ — повышение уровня в результате инфильтрации сырой воды из бассейнов, каналов и т. д.; h_e — первоначальная мощность безнапорного потока.

Методика расчета понижения уровня S под влиянием водозаборных (каптажных) сооружений изложена в гл. 6. Ниже приводятся указания по определению величины $\Delta h_б$.

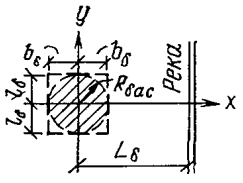
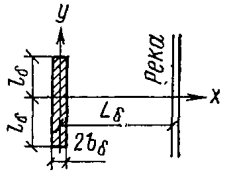
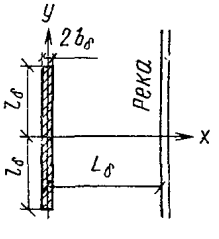
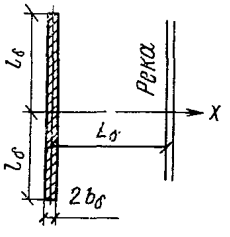
12.31. Как было показано в п. 12.10, при работе инфильтрационных бассейнов выделяется несколько стадий режима свободной инфильтрации, в совокупности составляющие один рабочий фильтроцикл. Указанные стадии систематически повторяются в течение всего периода эксплуатации водозабора, и таким образом работа бассейна носит периодический характер. Вследствие этого величину подъема уровня подземных вод при работе инфильтрационного бассейна можно представить в виде

$$\Delta h_б = \Delta h + \Delta \widetilde{h}. \qquad (56)$$

Первый член в формуле (56) характеризует основную часть общего повышения уровня и определяет среднее положение уровня подземных вод в результате пополнения. Относительно этого среднего положения в пределах каждого цикла T происходят колебания уровня $\Delta \widetilde{h}$, которые при достаточно большом количестве

Таблица 22

Зависимости для расчета гидравлических сопротивлений $R_б$ и $R_{б0}$

Тип сооружения		Схема расположения	Береговые сооружения	№ формулы	Водораздельные сооружения	№ формулы	Примечания
Бассейны	круговой		$R_б = \ln \frac{\rho}{r}$	(1)	$R_б = \ln \frac{r_{вл}}{r}$	(3)	$r = \sqrt{x^2 + y^2}$; $r_{вл} = 1{,}5\sqrt{at}$; $\rho = \sqrt{(2L_б - x)^2 + y^2}$; $R_{бас} = 2\sqrt{\frac{l_б b_б}{\pi}}$
			$R_{б0} = \ln \frac{3{,}3 L_б}{R_{бас}}$	(2)	$R_{б0} = \ln \frac{1{,}65 r_{вл}}{R_{бас}}$	(4)	
	полосообразный		$R_б = \pi \frac{L_б - x}{l_б}$	(5)	$R_б = \frac{\pi}{l_б} \times \left(\sqrt{\frac{at}{\pi}} - \frac{\lvert x\rvert}{2}\right)$	(7)	
			$R_{б0} = \pi \frac{\left(L_б - \frac{b_б}{4}\right)}{l_б}$	(6)	$R_{б0} = \frac{\sqrt{\pi a t}}{l_б} - \frac{\pi b_б}{l_б}$	(8)	
Каналы	ограниченной длины		$R_б = \left[\ln \frac{\rho_{пр}}{r_{пр}} + f(\bar{x}, \bar{y}) - f(\bar{x}', \bar{y})\right]$	(9)	$R_б = \ln \frac{r_{вл}}{r_{пр}} + f(\bar{x}, \bar{y})$	(11)	$r_{пр} = \sqrt{x^2 + y^2 + l_б^2}$; $\rho_{пр} = \sqrt{(2L_б - x)^2 + y^2 + l_б^2}$; $\bar{x} = \frac{\lvert x\rvert}{l_б}$; $\bar{x}' = \frac{2L_б - x}{l_б}$; $\bar{y} = \frac{\lvert y\rvert}{l_б}$; значения $f(\bar{x}, \bar{y})$ и $f(\bar{x}', \bar{y})$ см. в табл. 11
			$R_{б0} = \ln \frac{\sqrt{4L_б^2 + l_б^2}}{l_б} + \frac{2L_б}{l_б} \operatorname{arctg} \frac{l_б}{2L_б} + \frac{m}{l_б} \ln \frac{m}{\pi b_б}$	(10)	$R_{б0} = \ln \frac{2{,}7 r_{вл}}{l_б} + \frac{m}{l_б} \ln \frac{m}{\pi b_б}$	(12)	
	большой протяженности		$R_б = \begin{cases} \pi \frac{L_б - x}{l_б} & x > 0 \\ \pi \frac{L_б}{l_б} & x < 0 \end{cases}$	(13)	$R_б = \frac{\pi}{l_б} \times \left(\sqrt{\frac{at}{\pi}} - \frac{\lvert x\rvert}{2}\right)$	(15)	m — мощность пласта
			$R_{б0} = \pi \frac{L_б}{l_б} + \frac{m}{l_б} \ln \frac{m}{\pi b_б}$	(14)	$R_{б0} = \frac{\sqrt{\pi a t}}{l_б} + \frac{m}{l_б} \ln \frac{m}{\pi b_б}$	(16)	

фильтроциклов приобретают квазиустановившийся характер, т. е. повторяются на каждом цикле.

Среднее повышение уровня Δh находится по формуле

$$\Delta h = \frac{Q_б}{2\pi km} R_б, \qquad (57)$$

где $R_б$ — гидравлическое сопротивление, определяющее среднее повышение уровня.

Выражения для определения функции $R_б$, а также $R_{б0}$, характеризующей максимальное повышение уровня грунтовых вод под центром бассейна, приводятся в табл. 22. Все расчетные зависимости справедливы для относительно больших промежутков времени.

В табл. 22 рассматриваются инфильтрационные сооружения в виде бассейнов и каналов, а также круговые инфильтрационные площадки. Решения для круговых площадок могут быть использованы также для расчета инфильтрационных бассейнов, в плане имеющих вид прямоугольника.

При наличии нескольких бассейнов одного или различных типов общая величина гидравлического сопротивления $R_б$ находится суммированием сопротивлений каждого бассейна в отдельности. В этом случае

$$R_б = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i R_{б\,i}, \qquad (58)$$

$R_{бi}$ — гидравлические сопротивления, обусловленные фильтрацией из каждого i-го бассейна;

$$\alpha_i = \frac{Q_{б\,i}}{Q_б} = \frac{Q_{б\,1}}{Q_б}; \quad \frac{Q_{б\,2}}{Q_б}, \ldots, \frac{Q_{бн}}{Q_б}; \quad Q_б = \sum_{i=1}^{n} Q_{б\,i} -$$

суммарный расход из всех бассейнов; $i=1, 2, \ldots, n$; n — число бассейнов.

Поправка, учитывающая несовершенство водотоков, вблизи которых располагаются бассейны, каналы и водозаборы, определяется аналогично тому, как это рекомендовано для водозаборов (см. гл. 6).

12.32. Величину $\widehat{\Delta h}$, когда суммарная инфильтрация из бассейнов в системах ИППВ в процессе эксплуатации изменяется незначительно (благодаря разновременной остановке бассейнов на чистку), можно принимать равной нулю. При этом $\Delta h_б = \Delta h$, определяемому по формуле (57).

Если неравномерность инфильтрационного питания резко выражена (при малом числе бассейнов, длительной их остановке на чистку, небольших допустимых понижениях уровня), в расчетах необходимо учитывать величину $\Delta\widetilde{h}$, представляющую собой периодическое отклонение уровня подземных вод от среднего положения.

Приближенная оценка величины $\widehat{\Delta h}$ может быть сделана с учетом изменения величины инфильтрационного питания только на последних двух фильтроциклах, из общего количества учитываемых

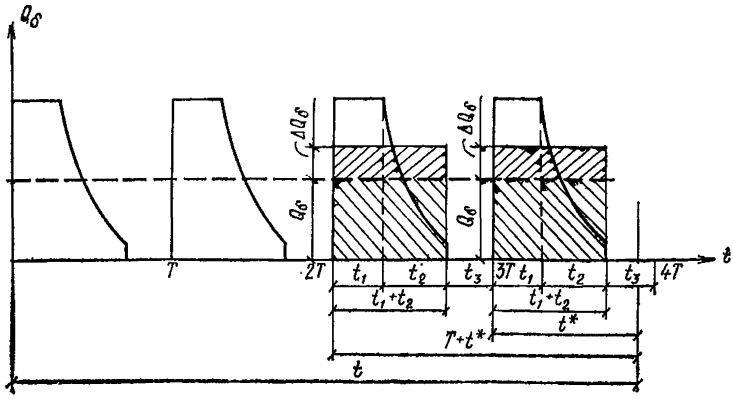


Рис. 48. Схема к расчету $\Delta\bar{h}$

расчетом. Эти циклы схематически представляются в виде двух прямоугольников (рис. 48) высотой

$$Q_б + \Delta Q_б = \frac{W}{t_1 + t_2}, \qquad (59)$$

где $\Delta Q_б$ — превышение инфильтрационного расхода в период t_1+t_2 работы бассейна (от начала фильтроцикла до начала чистки) над средним расходом $Q_б$; W — общий объем воды, фильтрующейся из бассейна за один фильтроцикл.

В этом случае изменение уровня $\Delta\bar{h}$ можно представить как результат двукратной закачки расхода $\Delta Q_б$ в течение времени t_1+t_2 и откачки расхода $Q_б$ за период $t_3=T-t_1-t_2$.

Общий вид расчетной формулы для определения $\Delta\bar{h}$ будет следующим:

$$\Delta\bar{h} = \frac{Q_б + \Delta Q_б}{2\pi k m}\,[\alpha R_б(T+t^*) - R_б(t_3+t^*) + R_б(t^*) - R_б(t^*-t_1-t_2)], \qquad (60)$$

где $\alpha = \dfrac{\Delta Q_б}{Q_б+\Delta Q_б}$.

В этом выражении $R_б$ — гидравлическое сопротивление бассейна, учитывающее неустановившийся характер фильтрации и определяемое по табл. 22 для водораздельных сооружений.

В круглых скобках в формуле (60) указаны промежутки времени t, которые следует принимать при определении функции $R_б$: для первого члена $R_б$ — $t=T+t^*$, для второго — $t=t_3+t^*$, третьего — $t=t^*$ и четвертого — $t=t^*-t_1-t_2$. Длительность периодов T, t_1, t_2, t_3 и t^* показана на рис. 48.

Формула (60) справедлива при $t^*>t_1+t_2$. Если $t^*\leqslant t_1+t_2$, в формуле (60) следует отбросить последний член в квадратных скобках.

В случае если размеры инфильтрационных сооружений малы, для приближенной оценки величины $\Delta\bar{h}$ инфильтрационные площад-

ки (каналы) следует заменять источниками — скважинами, располагаемыми в середине канала или в центре бассейна.

Изложенная методика расчета водозаборов в СИП с открытыми инфильтрационными сооружениями применима также для поглощающих и дренажно-поглощающих скважин. При определении величины Δh, которая обусловлена средним расходом $Q_б$ закрытых инфильтрационных сооружений, следует принимать значения $R_б$ и $R_{б0}$ как для водозаборов (см. гл. 6), поскольку в этом случае $R_б = R$ и $R_{б0} = R_0$.

12.33. Основными показателями, определяющими гидродинамическую эффективность работы водозаборных и инфильтрационных сооружений в системах ИППВ, являются: коэффициент полезного действия инфильтрационных сооружений η и коэффициент эффективности пополнения ξ.

12.34. Величина коэффициента η определяется не только параметрами и расположением инфильтрационных сооружений, но также типом и расположением водозаборных скважин.

Кроме того, эффективность инфильтрационных сооружений зависит также от режима их эксплуатации. Коэффициент полезного действия бассейнов оказывается наиболее высоким при равномерном поступлении инфильтрационной воды в водоносный пласт. Неравномерность инфильтрации из бассейнов приводит к снижению эффективности ИППВ (при постоянном расходе водозаборного сооружения). Чтобы избежать этого, при проектировании инфильтрационных сооружений следует предусматривать возможность разновременной чистки инфильтрационных сооружений. При этом, как уже указывалось, дополнительные колебания уровня будут малы по абсолютной величине, и коэффициент полезного действия достигает максимального для данной системы ИППВ значения, равного

$$\eta = \frac{R_б}{R_0}, \qquad (61)$$

где $R_б$ — по-прежнему гидравлическое сопротивление бассейна (см. табл. 22); R_0 — гидравлическое сопротивление водозабора (см. гл. 6).

Уменьшить влияние неравномерности работы инфильтрационных сооружений на величину коэффициента полезного действия η можно также, если продолжительность фильтроцикла, характер изменения инфильтрационного расхода при искусственном пополнении и периоды чистки бассейнов назначать таким образом, чтобы наименьшие повышения уровня при пополнении приходились на периоды высокого положения бытового уровня грунтовых вод (периоды паводков и интенсивных осадков).

Величина коэффициента η в соотношении (61) изменяется от нуля до единицы. При этом следует иметь в виду, что ввод в действие инфильтрационных сооружений приводит к перераспределению источников питания водозабора. Количество воды, поступающей в водозабор, например, из бытового потока или из реки, в результате фильтрации из бассейнов и других типов инфильтрационных сооружений может как уменьшиться, так и увеличиться, поэтому к.п.д. η нельзя рассматривать как показатель использо-

вания только инфильтрационных вод. В более полном виде к.п.д. может быть выражен следующим образом:

$$\eta = \frac{\alpha Q_б \pm \Sigma \Delta Q_е}{Q_б}, \qquad (62)$$

где α — коэффициент, показывающий долю используемых водозабором инфильтрационных вод; $\Sigma\Delta Q_е$ — количество воды из естественных источников питания, имеющее различный знак: оно может возрастать или убывать при поступлении инфильтрационных вод и изменении в связи с этим уровня подземных вод.

12.35. Коэффициент эффективности ξ, определяющий гидродинамическую эффективность мероприятий по искусственному пополнению подземных вод на участке проектируемого водозабора в целом, может быть определен по следующей формуле:

где

$$\left.\begin{aligned} \xi &= \frac{R_б}{R_б + A}, \\ A &= \frac{2\pi\, k m\, S_{доп}}{Q_б}. \end{aligned}\right\} \qquad (63)$$

Коэффициент ξ, как и коэффициент η, изменяется от нуля, когда влияние инфильтрационных бассейнов на производительность водозабора невелико, до единицы. В последнем случае мероприятия по искусственному пополнению полностью обеспечивают водоотбор.

Взаимодействие водозаборов и инфильтрационных сооружений в соответствии с общими рекомендациями, данными в п. 12.30, оценивается путем алгебраического суммирования понижений уровня, вызванных действием водозаборов, и повышений уровня под влиянием инфильтрационных сооружений [см. формулы (54) и (55)].

12.36. Предварительные гидродинамические расчеты систем ИППВ и сравнительная оценка различных вариантов водозаборов и сооружений по искусственному пополнению подземных вод могут быть сделаны без учета неравномерности работы инфильтрационных бассейнов (т. е. принимая $\widetilde{\Delta h}=0$), а также пренебрегая поправками на фильтрационное несовершенство сооружений и поверхностных водотоков. Эти факторы должны учитываться на последующих стадиях расчетов, уточняющих выбранные схемы водозабора и инфильтрационного сооружения.

Ниже приводятся примеры расчетов эффективности ИППВ для некоторых схем водозабора:

а) *Линейный ряд водозаборных скважин и инфильтрационный канал весьма большой протяженности.*

В случае когда скважины линейного водозабора располагаются между каналом и рекой (рис. 49,*а*), понижения уровня в скважинах водозабора могут быть найдены по следующей формуле:

$$S_в = \frac{q_в}{k m}\left(x_0 + \frac{\sigma}{\pi}\ln\frac{\sigma}{\pi r_0}\right) - \frac{q_б}{k m}\, x_0, \qquad (64)$$

где $q_в$ — расход водозабора на единицу его длины; $q_б$ — средний расход инфильтрации из канала на единицу его длины; km — величина водопроводимости пласта; x_0 — расстояние от реки до водозабора; σ — половина расстояния между водозаборными скважинами; r_0 — радиус скважин.

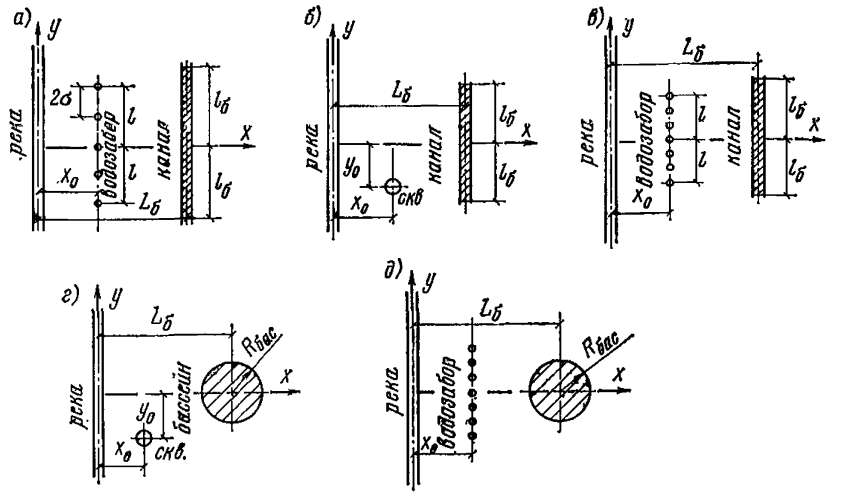


Рис. 49. Схемы к расчету взаимодействия водозаборных и инфильтрационных сооружений

а — линейный ряд скважин большой протяженности вблизи канала; *б* — скважина вблизи канала ограниченной длины; *в* — линейный ряд скважин и канал ограниченной длины; *г* — скважина вблизи круговой инфильтрационной площадки; *д* — линейный ряд скважин у кругового инфильтрационного бассейна

Коэффициент полезного действия рассматриваемой системы пополнения подземных вод будет равен

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\sigma}{\pi x_0} \ln \frac{\sigma}{\pi r_0}} . \qquad (65)$$

Величина η, как видно из (65), определяется параметром

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{x_0} ,$$

характеризующим относительное расстояние скважин водозабора друг от друга. При больших значениях этого параметра ($\bar{\sigma} > 5$) пополнение подземных вод неэффективно: большая часть инфильтрационных вод не перехватывается скважинами водозабора и стекает в реку или вызывает существенное уменьшение расхода из реки к водозабору.

При малых расстояниях между скважинами относительно расстояния от водозабора до реки коэффициент полезного действия инфильтрационного канала приближается к единице.

Коэффициент эффективности ξ в данном случае будет равен:

$$\xi = \frac{1}{1 + \bar{A}} ; \quad \bar{A} = \frac{k m S_{доп}}{q_б x_0} , \qquad (66)$$

где $S_{доп}$ — допустимая величина понижения уровня в скважинах водозабора.

Из (66) следует, что прирост запасов подземных вод за счет пополнения будет невелик при больших значения параметра $\bar{A}$.

При расположении водозабора на другой стороне канала понижения уровня в скважинах водозабора будут равны

$$S_в = \frac{q_в}{km}\left(x_0 + \frac{\sigma}{\pi}\ln\frac{\sigma}{\pi r_0}\right) - \frac{q_б}{km} L_б, \qquad (67)$$

где $L_б$ — расстояние от канала до реки, а показатели эффективности пополнения составят

$$\eta = \frac{\bar{L}_б}{1 + \frac{\sigma}{\pi}\ln\frac{\sigma}{\pi r_0}}; \quad \xi = \frac{\bar{L}_б}{\bar{L}_б + \bar{A}}; \quad \bar{L}_б = \frac{L_б}{x_0}. \qquad (68)$$

Так как $\bar{L}_б < 1$, то коэффициент полезного действия η, определяемый по соотношению (68), всегда меньше аналогичного показателя из формулы (66). Следовательно, для наиболее полного перехвата инфильтрационных вод водозаборы следует располагать между каналом и рекой.

Примечание. В формулы (64) и (65) не входит расстояние от реки до бассейна $L_б$, и, следовательно, величина инфильтрационного питания водозабора не зависит от того, где располагается инфильтрационный канал. Следует отметить, что этот вывод будет правильным лишь в случае, если в рассматриваемой области фильтрации нет других участков питания и стока подземных вод. В частности, при расположении водозаборного и инфильтрационного сооружений в междуречье соответствующие расчетные зависимости принимают вид:

$$\left.\begin{aligned} S_в &= \frac{q_в}{km}\left[\frac{x_0}{L}(L - x_0) + \frac{\sigma}{\pi}\ln\frac{\sigma}{\pi r_0}\right] - \frac{q_б}{km}\frac{L_б}{L}(L - L_б); \\ \eta &= \frac{L_б(L - L_б)}{x_0(L - x_0) + \frac{L_б}{\pi}\ln\frac{\sigma}{\pi r_0}}; \\ \xi &= \frac{L_б(L - L_б)}{L_б(L - L_б) + \bar{A}Lx_0}, \end{aligned}\right\} \qquad (69)$$

где L — длина междуречного массива.

б) Одиночная скважина и группы взаимодействующих скважин вблизи канала ограниченной длины.

В водозаборе, представленном одиночной скважиной, вблизи инфильтрационного канала ограниченной длины понижения уровня будут равны (рис. 49,*б*):

$$S_в = \frac{Q_в}{2\pi km}\ln\frac{2x_0}{r_0} - \frac{Q_б}{2\pi km} \times$$

$$\times\left[\frac{1}{2}\ln\frac{(L_б + x_0)^2 + y_0^2 + l_б^2}{(L_б - x_0)^2 + y_0^2 + l_б^2} + f^*(\bar{x}_0, \bar{y}_0)\right]. \qquad (70)$$

Здесь x_0 — расстояние от водозабора до реки; r_0 — радиус скважины; $L_б$ — расстояние от канала до реки; x_0, y_0 — координаты во-

дозаборной скважины; $Q_в$ — дебит водозабора; $Q_б$ — средний расход инфильтрации из канала; $f^*(\bar{x}_0, \bar{y}_0) = f(\bar{x}_0, \bar{y}_0) - f(\bar{x}'_0, \bar{y}_0)$ — см. формулу (9) в табл. 22; $l_б$ — половина длины канала;

$$\bar{x}_0 = \frac{L_б - x_0}{l_б}; \quad \bar{y}_0 = \frac{y_0}{l_б}; \quad \bar{x}'_0 = \frac{L_б + x_0}{l_б}.$$

Коэффициент полезного действия канала в данном случае

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} \ln \frac{(L_б + x_0)^2 + y_0^2 + l_б^2}{(L_б - x_0)^2 + y_0^2 + l_б^2} + f^*(\bar{x}_0, \bar{y}_0)}{\ln \frac{2x_0}{r_0}}. \qquad (71)$$

Так как знаменатель в соотношении (71) велик (из-за малости величины r_0), коэффициент полезного действия рассматриваемой инфильтрационной системы незначителен. Если передвигать скважину вдоль оси x, то величина коэффициента η будет изменяться следующим образом: при $x_c = 0$, т. е. когда водозабор располагается непосредственно у реки, $\eta = 0$. Физически это означает, что водозабор целиком питается водами реки. С увеличением x_0 водозабор подземных вод приближается к каналу, и коэффициент полезного действия последнего возрастает, достигая максимально возможной величины при $x_0 = L_б$, $y_0 = 0$:

$$\eta_{max} = \frac{\frac{1}{2} \ln \frac{l_б^2 + 4L_б^2}{l_б^2} + \frac{2L_б}{l_б} \operatorname{arctg} \frac{l_б}{2L_б}}{\ln \frac{2L_б}{r_0}}. \qquad (72)$$

При дальнейшем удалении водозаборной скважины от реки величина η снова уменьшается.

Расчеты группы взаимодействующих скважин вблизи канала ограниченной длины проводятся по вышеприведенным соотношениям (70)—(72), в которых вместо величины $2x_0$ необходимо подставить

$$\rho_{пр} = \rho_0^{\alpha_0} \cdot \rho_1^{\alpha_1} \dots \rho_i^{\alpha_i} \dots \rho_{n-1}^{\alpha_{n-1}},$$

где $\rho_0, \rho_1, \dots, \rho_i$ — расстояния от зеркального отображения относительно линии реки всех взаимодействующих скважин до скважины с наибольшим понижением уровня:

$$\rho_i = \sqrt{(x_i + x_0)^2 + (y_i - y_0)^2};$$

x_i, y_i — координаты скважин; x_0, y_0 — координаты скважины с максимальным понижением уровня; α_i — отношение дебита i-й скважины к суммарному расходу водозабора, а вместо величины r_0

$$r_{пр} = r_0^{\alpha_0} \cdot r_1^{\alpha_1} \dots r_i^{\alpha_i} \dots r_{n-1}^{\alpha_{n-1}},$$

где r_i — расстояние от скважины с наибольшим понижением уровня до всех остальных скважин.

Примечание. При отыскании оптимального варианта можно варьировать не только расположение водозаборных скважин относительно инфильтрационного канала, но и нагрузку на отдельные скважины.

в) Линейный ряд скважин и инфильтрационный канал ограниченной длины.

Понижение уровня в центре линейного ряда скважин ограниченной длины, расположенного параллельно инфильтрационному каналу также ограниченной протяженности, может быть найдено по следующей зависимости (рис. 49,*в*):

$$S_в = \frac{Q_в}{2\pi km}\left[\ln\frac{\sqrt{4x_0^2+l^2}}{l^2}+\frac{2x_0}{l}\operatorname{arctg}\frac{l}{2x_0}+\frac{1}{n}\ln\frac{l}{\pi r_0 n}\right] - \frac{Q_б}{2\pi km}\left[\frac{1}{2}\ln\frac{(L_б+x_0)^2+l_б^2}{(L_б-x_0)^2+l_б^2}+f^*(\bar{x}_0,\ 0)\right]. \quad (73)$$

Коэффициенты η и ξ для данной схемы водозабора выражаются следующим образом:

$$\eta = \frac{\ln\dfrac{(L_б+x_0)^2+l_б^2}{(L_б-x_0)^2+l_б^2}+2f^*(\bar{x}_0,\ 0)}{\ln\dfrac{4x_0^2+l^2}{l^2}+\dfrac{4x_0}{l}\operatorname{arctg}\dfrac{l}{2x_0}+\dfrac{2}{n}\ln\dfrac{l}{\pi r_0 n}}; \quad (74)$$

$$\xi = \frac{\ln\dfrac{(L_б+x_0)^2+l_б^2}{(L_б-x_0)^2+l_б^2}+2f^*(\bar{x}_0,\ 0)}{\ln\dfrac{(L_б+x_0)^2+l_б^2}{(L_б-x_0)^2+l_б^2}+2f^*(\bar{x}_0,\ 0)+A};$$

$$A = \frac{4\pi km\, S_{доп}}{Q_б}. \quad (75)$$

Например, величина коэффициента η при длине водозаборного ряда, равной длине бассейна, т. е. $l_б=l$ и $L_б=2l$, $x_0=l$ (водозаборный ряд скважин располагается посередине между рекой и бассейном), по формуле (74) будет равна 48%, т. е. половина общего объема воды, фильтрующегося из бассейна, попадает в водозабор.

Если линейный водозабор заменить одиночной скважиной, то коэффициент полезного действия инфильтрационной установки [по формуле (71)] снизится до 12%. Наоборот, при увеличении длины водозаборного ряда коэффициент η будет увеличиваться. Например, в случае если длина водозабора в 2 раза больше протяженности бассейна, то по формуле (74) получим $\eta=88\%$.

Примечание. При исследовании коэффициента полезного действия инфильтрационного сооружения и эффективности пополнения следует иметь в виду, что в выражения для указанных коэффициентов должны быть подставлены координаты точки в пре-

делах водозабора, имеющей максимальное понижение уровня. Если не учитывать этого обстоятельства, то расчеты коэффициента η могут привести к ошибочному результату. Например, при весьма большой длине водозаборного ряда в сравнении с протяженностью канала ($l \gg l_б$) по формуле (74) получится нереальная величина $\eta > 1$. Это значит, что в центре водозаборного ряда в данном случае понижение уровня не будет максимальным. Наибольшие понижения уровня подземных вод будут наблюдаться в эксплуатационных скважинах, располагающихся на концевых участках водозабора. По отношению к этим точкам и должно быть выписано общее выражение для расчета $S_в$, η и ξ. Для определения коэффициента полезного действия инфильтрационной системы целесообразно предварительно найти понижение уровня в различных точках водозаборного сооружения с тем, чтобы выделить наиболее нагруженный участок водозабора с наибольшими величинами понижения уровня подземных вод.

г) Одиночная скважина или группа взаимодействующих скважин вблизи круговой инфильтрационной площадки.

Понижение уровня на водозаборной скважине, располагающейся вблизи инфильтрационной круговой площадки, будет равно (рис. 49,*г*):

$$S_в = \frac{Q_в}{2\pi k m} \ln \frac{2x_0}{r_0} - \frac{Q_б}{2\pi k m} \ln \frac{\rho_б}{r_б}, \qquad (76)$$

где $\rho_б$ — расстояние от скважины до центра отображенной инфильтрационной площадки,

$$\rho_б = \sqrt{(L_б + x_0)^2 + y_0^2};$$

$r_б$ — расстояние от скважины до центра кругового бассейна,

$$r_б = \sqrt{(L_б - x_0)^2 + y_0^2}.$$

Показатели эффективности рассматриваемой системы пополнения находятся по формулам:

$$\eta = \frac{\ln \frac{\rho_б}{r_б}}{\ln \frac{2x_0}{r_0}}; \quad \xi = \frac{\ln \frac{\rho_б}{r_б}}{\ln \frac{\rho_б}{r_б} + A}, \qquad (77)$$

где $A = \frac{2\pi k m S_{доп}}{Q_б}$;

r_0 — радиус скважины.

Из (77) следует, что наиболее выгодно располагать водозаборную скважину в створе, проходящем через середину бассейна, нормально к реке ($y_0 = 0$). Однако и в этом случае из-за малости величины r_0 эффективность пополнения будет невелика, поэтому целесообразно отбор подземных вод осуществлять водозабором в виде группы скважин. Расчет их может быть проведен по формулам (76) и (77) путем замены взаимодействующих скважин «большим колодцем».

д) Водозаборный ряд скважин конечной длины вблизи круговой инфильтрационной площадки.

Понижения уровня в эксплуатационных скважинах линейного водозаборного ряда ограниченной протяженности вблизи круговой или прямоугольной инфильтрационной площадки могут быть найдены по следующей формуле (рис. 49,*д*).

$$S_в = \frac{Q_в}{2\pi km}\left(\ln\frac{\sqrt{4x_0^2+l^2}}{l}+\frac{2x_0}{l}\operatorname{arctg}\frac{l}{2x_0}+\right.$$

$$\left.+\frac{1}{n}\ln\frac{l}{\pi r_0 n}\right)-\frac{Q_в}{2\pi km}\ln\frac{\rho_б}{r_б}. \qquad (78)$$

Примечание. Инфильтрационные бассейны прямоугольной формы для расчета приводятся к круговым бассейнам равновеликой площади, причем приведенный радиус кругового бассейна определяется следующим образом:

$$R_{бас} = 2\sqrt{\frac{l_б b_б}{\pi}}, \qquad (79)$$

где $b_б$ и $l_б$ — соответственно половина ширины и длины прямоугольного бассейна.

Коэффициенты полезного действия η и эффективности ξ пополнения рассматриваемой системы определяются по следующему соотношению:

$$\eta = \frac{\ln\frac{\rho_б}{r_б}}{\ln\frac{\sqrt{4x_0^2+l^2}}{l}+\frac{2x_0}{l}\operatorname{arct}\frac{l}{2x_0}+\frac{1}{n}\ln\frac{l}{\pi r_0 n}}; \qquad (80)$$

$$\xi = \frac{\ln\frac{\rho_б}{r_б}}{\ln\frac{\rho_б}{r_б}+A}. \qquad (81)$$

В приведенных соотношениях предполагается, что максимальное понижение уровня наблюдается в центре водозаборного сооружения.

Пример расчета. Проектируется линейный ряд скважин, расположенный параллельно реке на расстоянии $x_0=400$ м от нее (рис. 50). Длина ряда $2l=300$ м, количество скважин $n=12$, радиус скважин $r_0=0{,}2$ м (скважины совершенные). Водопроводимость пласта $km=600$ м²/сут. Максимально допустимое понижение

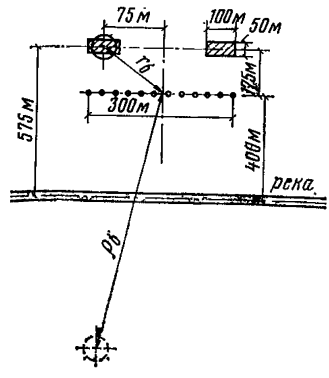


Рис. 50. Схема к примеру расчета

на водозаборе $S_{доп}=10$ м. Требуемая производительность водозабора 20 тыс. м³/сут.

Учитывая близость проектируемого водозабора к реке, расчет проводится по формулам стационарной фильтрации.

Прежде всего определим производительность линейного ряда скважин по формуле (6) табл. 10 (см. гл. 6):

$$R_0 = \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 400^2 + 150^2}{150^2} + \frac{2 \cdot 400}{150} \operatorname{arctg} \frac{150}{2 \cdot 400} + \\ + \frac{1}{12} \ln \frac{150}{3{,}14 \cdot 0{,}2 \cdot 12} = 2{,}74.$$

Таким образом, расход водозабора без пополнения составит

$$Q = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 600 \cdot 10}{2{,}74} = 13{,}8 \text{ тыс. м}^3\text{/сут}.$$

В связи с тем, что производительность линейного ряда будет ниже заданной, необходимо предусмотреть искусственное пополнение запасов подземных вод. С этой целью на расстоянии 150 м от водозабора расположим два инфильтрационных бассейна размером 100×50 м и произведем предварительный расчет величины инфильтрационного расхода.

Для упрощения расчета инфильтрационные бассейны прямоугольной формы приведем к круговым бассейнам равновеликой площади:

$$R_{бас} = 2 \sqrt{\frac{50 \cdot 25}{3{,}14}} = 40 \text{ м}.$$

Величина $R_б$ определяется по формуле (58) при $\alpha_1 = \alpha_2 = \frac{1}{2}$:

$$R_б = \frac{1}{2} R_{б1} + \frac{1}{2} R_{б2}.$$

Значения гидравлических сопротивлений $R_{б\,1,2}$ находятся по формуле (1) табл. 20:

$$R_{б\,1,2} = \ln \frac{\rho_б}{r_б}.$$

В данном случае:

$$\rho_б = \sqrt{(575 + 400)^2 + 75^2} = 980 \text{ м};$$

$$r_б = \sqrt{175^2 + 75^2} = 190 \text{ м}.$$

При этом

$$R_б = \ln \frac{980}{190} = 1{,}64.$$

Коэффициент полезного действия η по формуле (61):

$$\eta = \frac{1{,}64}{2{,}74} = 0{,}6.$$

Чтобы выйти на требуемую производительность, необходимо привлечь к водозабору дополнительно 20—13,8=6,2 тыс. м³/сут.

При $\eta=0{,}6$ расход инфильтрационных бассейнов должен составить

$$Q_б = \frac{6{,}2}{0{,}6} = 10{,}4 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}.$$

Следовательно, расход из каждого бассейна составит 5,2 тыс. м³/сут.

При скорости инфильтрации $V_{инф}=1$ м/сут необходимая площадь инфильтрационного бассейна $F=\frac{0{,}5Q_б}{V_{инф}}=5200$ м², т. е. принятые нами размеры бассейна 50×100 будут удовлетворять требуемым условиям.

Коэффициент эффективности ξ, определяющий гидродинамическую эффективность мероприятий по искусственному пополнению подземных вод на участке проектируемого водозабора, может быть определен по формуле (63):

$$\xi = \frac{R_б}{R_б + A},$$

где

$$A = \frac{2\pi\, k m s}{Q_б} = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 600 \cdot 10}{10\,400} = 3{,}62$$

и

$$\xi = \frac{1{,}64}{1{,}64 + 3{,}62} = 0{,}31 = 31\%.$$

13. НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА [1, 3, 37, 50, 58, 60, 62]

КЛАССИФИКАЦИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

13.1. Насосные станции на подземных водозаборах относятся к категории насосных станций 1-го подъема. Исходя из условий забора подземных вод, их можно условно разделить на следующие типы:

насосные станции для забора воды из скважин;

насосные станции на лучевых и горизонтальных водозаборах;

насосные станции на каптажах источников.

По расположению основного оборудования (насосов) относительно поверхности земли насосные станции могут быть наземными, заглубленными; шахтного типа и подземными — с перекрытием на уровне или ниже поверхности земли.

По виду обслуживания объектов насосные станции подразделяются на подающие воду для хозяйственно-питьевых и противопожарных нужд; для целей сельскохозяйственного орошения и обводнения; для производственных нужд.

13.2. В зависимости от требований потребителя, предъявляемых к непрерывности водоснабжения, насосные станции подразделяются на три категории. Категория надежности действия определяется в соответствии со СНиП II-31-74, п. 7.2, табл. 51.

На системах искусственного пополнения запасов подземных

вод для подачи воды на инфильтрационные сооружения или сооружения предварительной очистки используются конструкции водозаборов и насосных станций, применяемые для поверхностных источников, сооружаются они по правилам и нормам проектирования в соответствии со СНиП II-31-74, пп. 5.98—5.156 и в настоящем Руководстве не рассматриваются.

НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ ДЛЯ ЗАБОРА ВОДЫ ИЗ СКВАЖИН

13.3. Для подъема воды из скважин используются различные типы водоподъемных устройств. На рис. 51,*а,б,в* показаны схемы оборудования скважин насосными установками типа ЭЦВ с погружными электродвигателями, с трансмиссионным валом — УЦТВ, АТН и А, а также горизонтальным центробежным насосом.

Насосные установки типа ЭЦВ могут применяться для оборудования скважин глубиной от 10 до 700 м, их расходная характеристика также имеет широкие пределы — от 0,6 до 550 м³/ч. Насосные установки ЭЦВ могут работать в искривленных скважинах в разнообразных гидрогеологических условиях, для них требуются минимальные габариты зданий (павильонов), в которых размещаются необходимое оборудование напорных трубопроводов и станции управления.

Насосные установки с трансмиссионным валом УЦТВ, АТН и А находят применение при глубинах скважин до 120 м, производительность их до 1500 м³/ч (насосы типа А).

Насосные установки УЦТВ, АТН и А применяются в основном в наземных павильонах. Все типы насосных установок с трансмиссионным валом могут нормально работать только в скважинах, в которых отклонения от вертикали исключают прикасание насоса к стенам труб.

Наличие трансмиссионного вала большой длины и принудительной системы смазки подшипников вала усложняют условия эксплуатации этих насосов, поэтому наиболее целесообразно их применять для скважин небольшой глубины (30—40 м) и большой производительности.

При расчетном динамическом уровне подземных вод не более 5—6 м от поверхности земли скважины могут быть оборудованы горизонтальными центробежными насосами различных типов.

13.4. Подбор насосного оборудования скважин производится по напорно-расходным характеристикам насосов, при этом производительность насоса для одиночной скважины должна соответствовать производительности скважины при расчетном понижении динамического уровня на определенный срок эксплуатации.

При подборе насосов для группы скважин следует всегда стремиться к их однотипности, что значительно облегчает условия эксплуатации и комплектацию оборудования.

При оборудовании скважин горизонтальными центробежными насосами помимо напорно-расходной характеристики следует учитывать и высоту всасывания.

При эксплуатации высоконапорных артезианских водоносных пластов скважины могут оборудоваться на самоизлив (рис. 52). Это делается в том случае, если сработка напора пласта до уровня оголовка скважины обеспечивает расчетный расход.

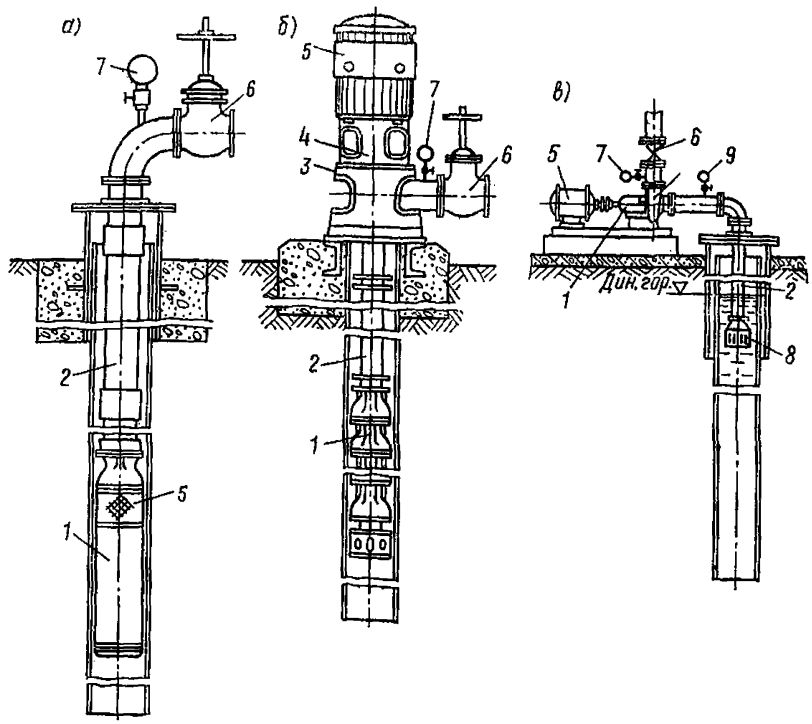


Рис. 51. Схемы оборудования скважин насосами

а — насосная установка с погружным электродвигателем; *б* — насосная установка с трансмиссионным валом; *в* — схема оборудования скважины горизонтальным центробежным насосом; *1* — насос; *2* — водоподъемный трубопровод; *3* — опорное колено; *4* — пята привода; *5* — электродвигатель; *6* — задвижка; *7* — манометр; *8* — приемный клапан; *9* — вакуумметр

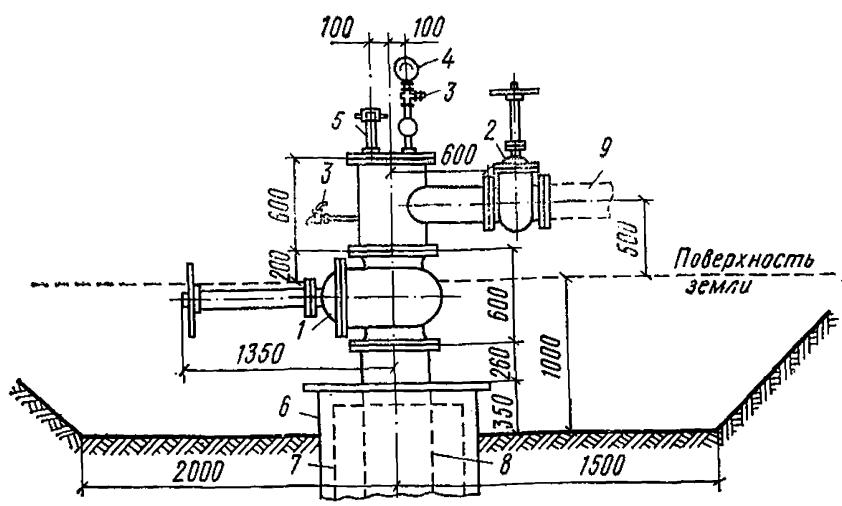


Рис. 52. Схема оборудования устья скважин с самоизливом воды из них

1, 2 — задвижки; *3* — кран; *4* — манометр общего назначения; *5* — патрубок с заглушенной муфтой под специальный манометр для измерения напора; *6* — кондуктор; *7* — обсадная колонна труб; *8* — эксплуатационная колонна труб; *9* — напорный трубопровод

В процессе эксплуатации напор водоносного пласта может снизиться, поэтому при оборудовании скважин центробежными горизонтальными насосами и на самоизлив конструкции оголовков скважин должны предусматривать возможность монтажа центробежных скважинных насосных установок.

13.5. Для подъема воды из скважин могут применяться также эрлифты, позволяющие поднимать воду из искривленных скважин, а также воду с содержанием механических примесей, превышающим пределы, установленные для других типов насосов. Эрлифты целесообразнее применять в том случае, если имеется возможность получать воздух централизованно от насосно-компрессорных станций.

Недостатками эрлифтов является их низкий к.п.д. (не более 0,4—0,6) и необходимость в некоторых случаях дополнительного углубления скважин для создания в них столба воды соответствующей высоты. На рис. 53 приведена расчетная схема эрлифта.

Расчет эрлифта сводится к определению глубины погружения форсунки: количества воздуха, необходимого для подъема требуемого количества воды; пускового и рабочего давления воздуха.

Для нормальной работы эрлифта должно выдерживаться соотношение

$$k = \frac{H}{h}, \qquad (82)$$

где k — коэффициент погружения форсунки; h — глубина динамического уровня воды в скважине от уровня излива, м; H — глубина погружения форсунки, м.

Глубина погружения форсунки оказывает большое влияние на к.п.д. водоподъемника.

В табл. 23 приводятся рекомендуемые величины наивыгоднейшего коэффициента погружения k при различной высоте подъема h и величине к.п.д. эрлифта $\eta_э$.

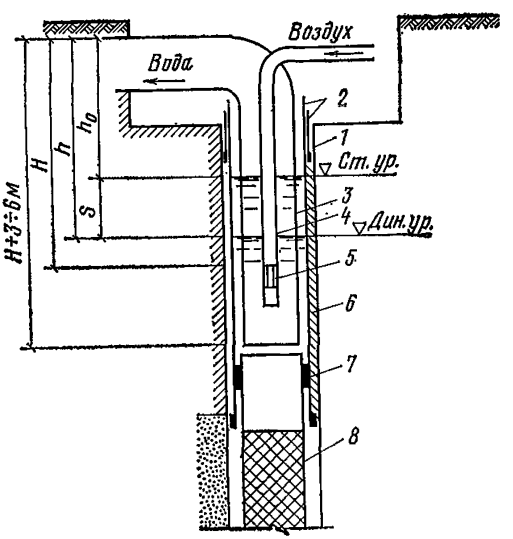


Рис. 53. Расчетная схема эрлифта

1 — стенка скважины; *2* — обсадные трубы; *3* — водоподъемные трубы; *4* — воздушная труба; *5* — форсунка-распылитель; *6* — цементация; *7* — сальник; *8* — фильтр

Таблица 23

Значения k и $\eta_э$

Высота подъема h, м	До 15	15—30	30—60	60—90	90—120
k	3—2,5	2,5—2,2	2,2—2	2—1,75	1,75—1,65
$\eta_э$	0,59—0,57	0,57—0,54	0,54—0,5	0,5—0,41	0,41—0,4

Удельный расход воздуха (количество воздуха, необходимое для подъема 1 м³ воды) определяется по формуле

$$q_в = \frac{h}{23\,\eta_э \lg \frac{h\,(k-1)+10}{10}}, \qquad (83)$$

где $q_в$ — величина безразмерная.

Общее количество воздуха, необходимое для эксплуатации скважины с заданным расходом, определяется из соотношения

$$Q_в = Q\,q_в\,n, \qquad (84)$$

где Q — дебит скважины, м³/мин; n — коэффициент, учитывающий потери воздуха в трубах, принимаемый равным 1,5—2.

Давление воздуха P_0, необходимое для ввода эрлифта в работу:

$$P_0 = 0{,}1\,(h\,k - h_0) + P_{пуск}, \qquad (85)$$

где h_0 — высота от точки излива эмульсии до статического уровня воды в скважине; $P_{пуск}$ — потеря давления при пуске эрлифта в работу (~0,2 кгс/см²).

Давление воздуха P, необходимое для работы эрлифта после пуска:

$$P = 0{,}1\,[h\,(k-1)] + P_{пот}, \qquad (86)$$

где $P_{пот}$ — сумма потерь давления в воздухопроводе от компрессора до форсунки (обычно принимается равной 0,5 кгс/см²).

Трубы эрлифта монтируют по системе «центрально», когда воздушные трубы располагаются внутри водоподъемных, и по системе «параллельно», когда воздушные трубы опускают в скважину рядом с водоподъемными. Более широкое распространение имеет второй способ.

Диаметры водоподъемных и воздушных труб в зависимости от расхода воды можно принимать по табл. 24.

13.6. Над устьем водозаборных скважин устраиваются павильоны, предназначающиеся для размещения оголовка скважины; электродвигателя, если скважина оборудуется погружным насосом с трансмиссионным валом; горизонтального центробежного насоса; приборов отопления, пусковой, контрольно-измерительной аппаратуры и приборов автоматики, а также части напорного трубопровода, на котором устанавливаются задвижки, обратный клапан, вантуз, пробноспускной кран для отбора проб и трубопровод

Таблица 24

Диаметры (внутренние) водоподъемных и воздушных труб

Расход воды, Q, л/с	Диаметры труб, мм, при расположении			
	параллельном		центральном	
	водоподъемной	воздушной	водоподъемной	воздушной
1—2	40	12	—	—
2—3	50	12—20	50	12,5
3—5	63	20—25	63	20
5—6	63	20—25	75	20
6—9	75	25—30	88	25
9—12	88	25—30	100	32
12—18	100	30—38	125	38
18—30	125	38—50	150	50—63
30—45	150	50—63	200	75

промывной воды с задвижкой, необходимой для сброса воды при пуске и промывке скважины. Для контроля работы каждая артскважина оборудуется расходомерами. В качестве расходомеров применяются или диафрагмы в комплекте с показывающим дифманометром, или турбинный водомер соответствующего калибра. Для продления срока службы турбинного водомера замеры расходов производят периодически, поэтому его следует устанавливать на обводных линиях в пределах павильона. Обратный клапан и задвижка могут быть вынесены за пределы здания, в колодец.

13.7. Размеры павильона в плане принимаются исходя из размеров типовых железобетонных элементов и условий размещения в нем оборудования и обеспечения нормальных проходов в соответствии со СНиП II-31-74.

Как правило, при проектировании насосных станций над артскважинами применяются типовые проекты института Гипроводхоз.

Павильоны над скважинами могут быть наземными или подземными (рис. 54 и 55).

Подземные павильоны строятся обычно в сухих грунтах. Для сокращения строительных объемов подземные павильоны выполняются двухкамерными в виде водопроводных колодцев (см. рис. 55).

В тех случаях, когда водозаборные скважины располагаются на затапливаемых паводковыми водами поймах рек, павильоны строятся на подсыпке (если уровень затопления не более 2 м) или под защитой дамб обвалования высотой, превышающей максимальный паводковый горизонт.

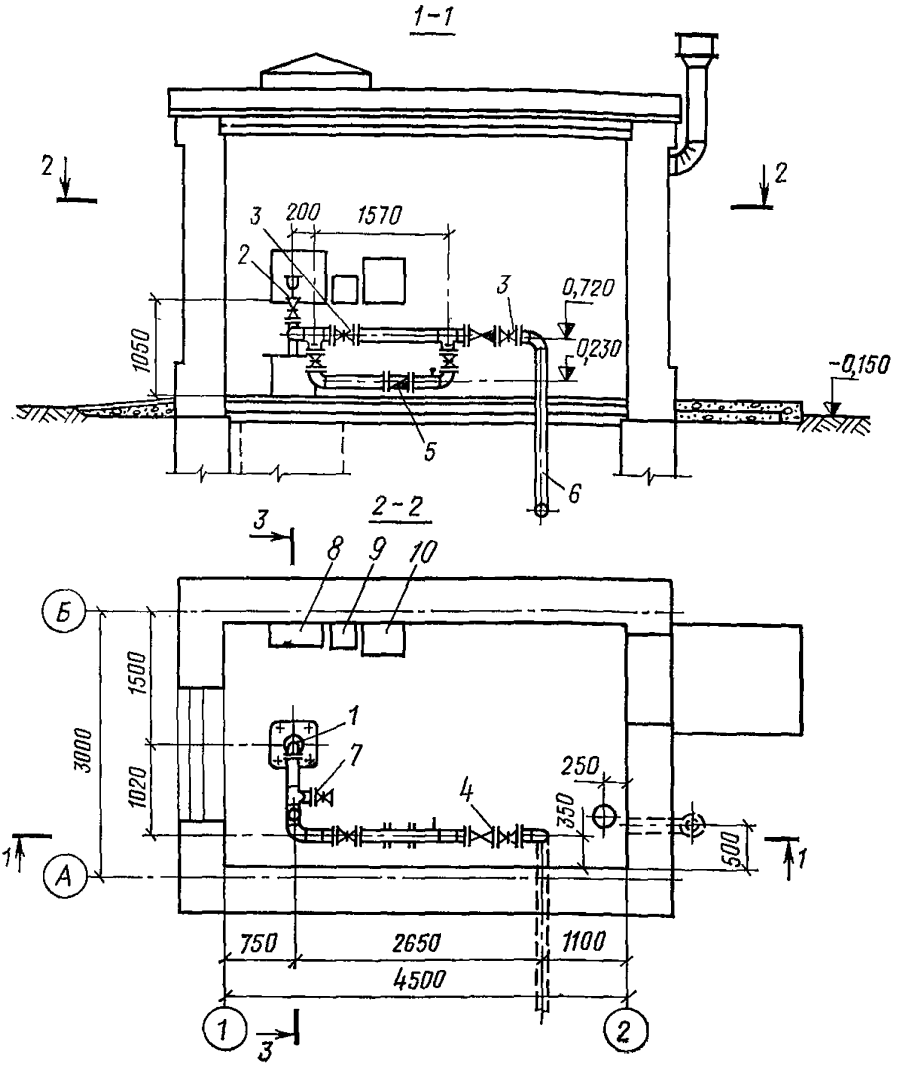


Рис. 54. Схема надземного павильона над скважиной

1 — оголовок скважины; *2* — вантуз; *3* — задвижки; *4* — обратный клапан; *5* — водомер; *6* — напорный трубопровод; *7* — холостой сброс; *8, 9, 10* — станции управления и щиты электрооборудования

Поверхность защитного обвалования укрепляется против размыва, а конструкции павильонов выполняются водонепроницаемыми.

В некоторых случаях целесообразно устраивать затапливаемые подземные павильоны с выносом аппаратуры управления на незатапливаемые территории.

При оборудовании скважин горизонтальными центробежными

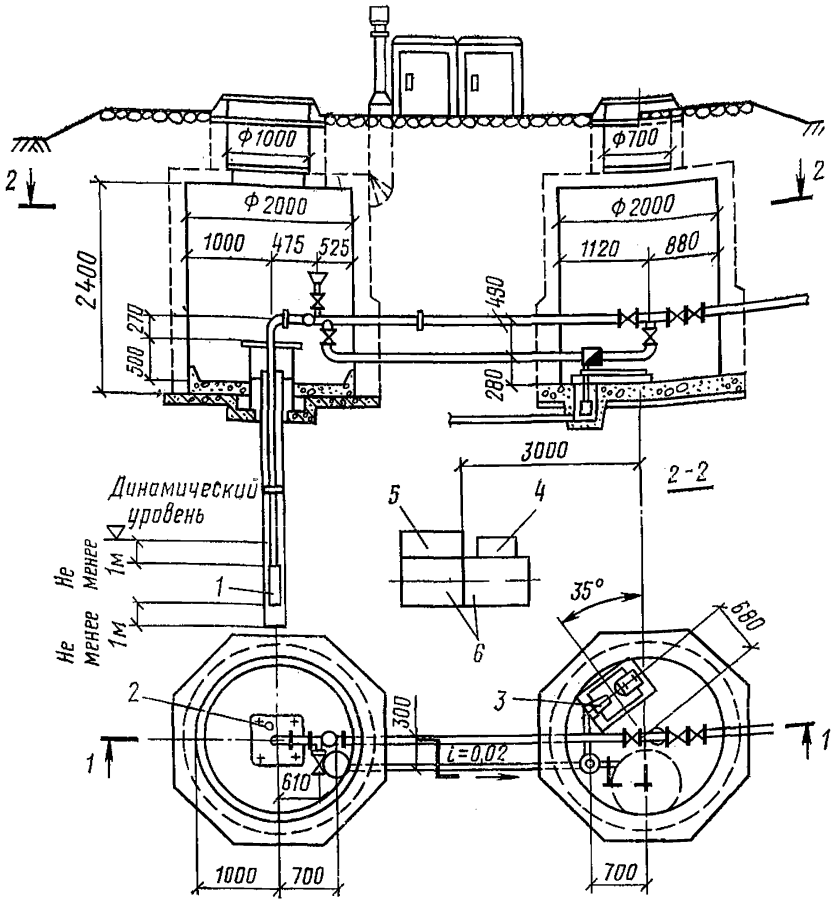


Рис. 55. Схема подземного павильона над скважиной

1 — насос ЭЦВ; *2* — оголовок скважины; *3* — дренажный насос; *4, 5, 6* — станция управления и щиты электрооборудования

насосами павильоны также могут быть надземными или, при необходимости сокращения высоты всасывания, подземными (рис. 56).

13.8. Для предотвращения попадания загрязнений через устье скважины оголовок устья должен быть герметичным. Пример возможной герметизации устья приведен на рис. 57.

13.9. Для организации водоснабжения отдельных мелких объектов применяется автоматическая водоподъемная установка ВУ-7-65, предназначенная для установки на артскважинах (рис. 58). Производительность установки 7 м³/ч, напор 65 м.

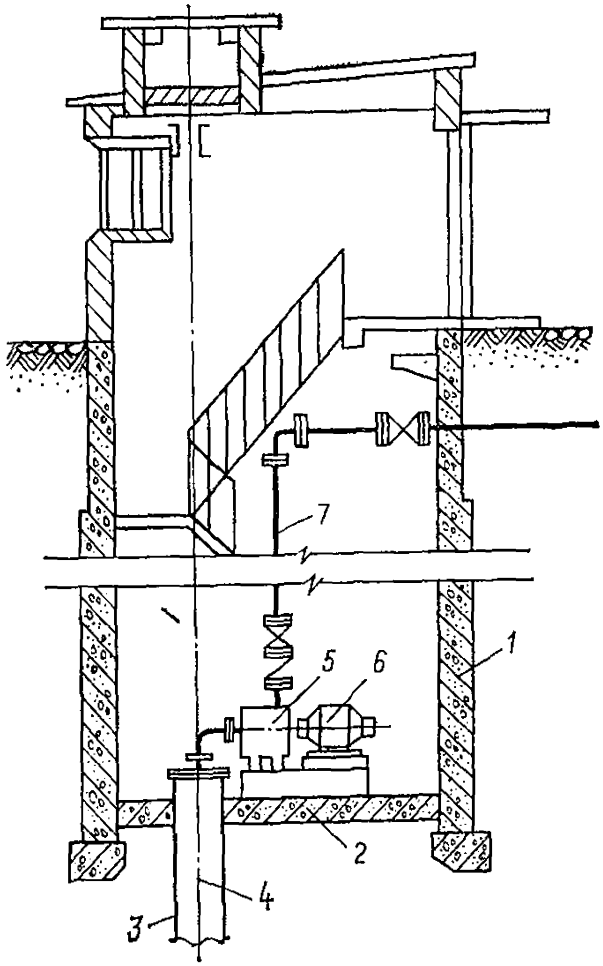


Рис. 56. Схема установки центробежного насоса с горизонтальным валом у скважины в шахте

1 — стенка шахты; *2* — пол шахты; *3* — скважина; *4* — всасывающая труба; *5* — насос; *6* — электродвигатель; *7* — напорная труба

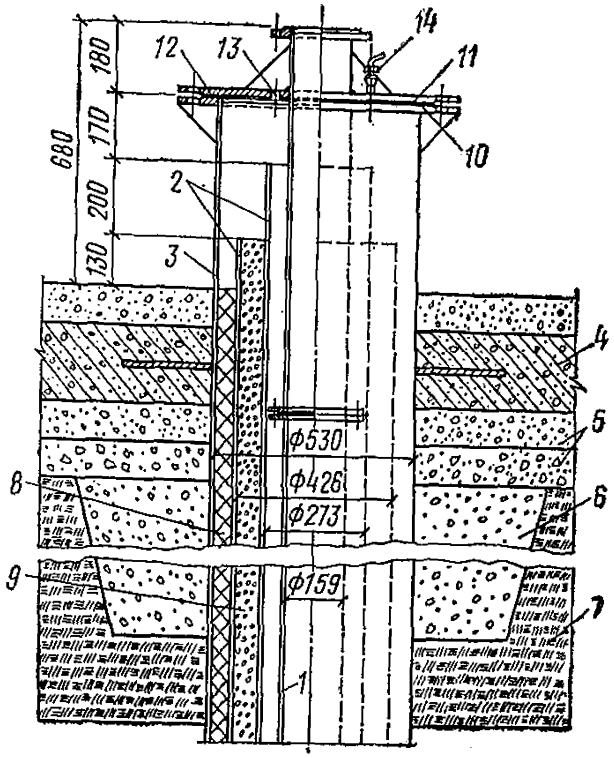


Рис. 57. Конструкция герметического оголовка скважины

1 — водоподъемная труба; *2* — обсадные трубы; *3* — кондуктор; *4* — железобетонное днище насосной станции; *5* — подготовка под днище; *6* — гидротехнический бетон; *7* — мятая глина; *8* — межтрубная цементация; *9* — гравийная засыпка; *10* — опорный фланец; *11* — заглушка оголовка с патрубком; *12* — прокладка; *13* — резьбовое отверстие для установки электрического уровнемера; *14* — ввод электрического кабеля

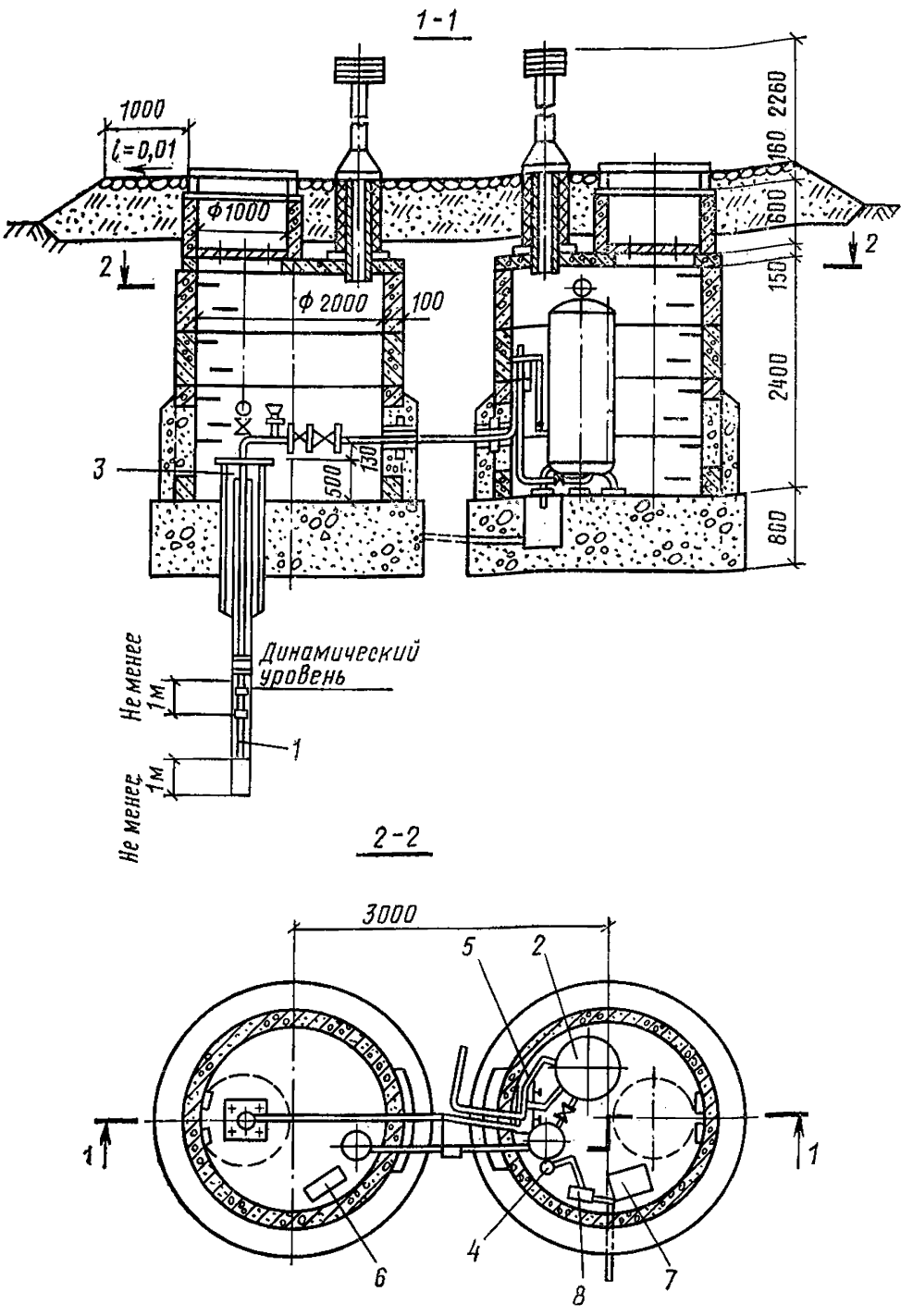


Рис. 58. Автоматическая пневматическая насосная станция с установкой ВУ-7-65

1 — насос 2ЭЦВ6-6,3-85; *2* — воздушно-водяной бак; *3* — оголовок трубчатого колодца; *4* — дренажный насос; *5* — щиток для вентилей; *6* — шкаф управления основным насосом; *7* — шкаф управления дренажным насосом; *8* — сигнализатор уровня

НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ЛУЧЕВЫХ ВОДОЗАБОРАХ И КАПТАЖА ИСТОЧНИКОВ

13.10. На горизонтальных и лучевых водозаборах в зависимости от их производительности, условий залегания грунтовых вод и принятой схемы водозабора находят применение надземные, заглубленные и шахтные насосные станции.

Заглубление подземной части насосной станции определяется условиями водозабора, типом и допустимой вакуумметрической высотой всасывания устанавливаемого насосного оборудования.

На горизонтальных и лучевых водозаборах насосные станции, как правило, совмещаются с водосборным колодцем.

Примером совмещения насосной станции с водосборным колодцем является шахтная насосная станция, показанная на рис. 59.

При соответствующем обосновании допускается раздельная компоновка водосборного колодца и насосной станции.

Шахтные насосные станции могут быть круглыми или прямоугольными в плане. Круглая форма более удобна при производстве работ опускным способом.

Для оборудования шахтных насосных станций, совмещенных с водосборным колодцем, рекомендуется применять насосные установки ЭЦВ, АТН, А и УЦТВ, при применении которых для уменьшения глубины шахты, а в некоторых случаях для возможности размещения насосного оборудования в ее днище под каждый насосный агрегат целесообразно устройство специального колодца (скважины) из обсадных труб диаметром до 1 м и глубиной до 2—3 м. Заглубленные и шахтные насосные станции, как правило, проектируются с учетом будущего расширения.

На каптажах насосные станции устраиваются или непосредственно у каптажной камеры, или у сборного резервуара.

Применяются в этих случаях наземные или заглубленные насосные станции по типовым проектам, разработанным Харьковским отделением института Союзводоканалпроект, а также Мосгипротрансом и Гипролестрансом. На рис. 60 приведен пример заглубленной насосной станции производительностью от 20 до 150 л/с, оборудованной консольными горизонтальными центробежными насосами.

Горизонтальные центробежные насосы, как правило, устанавливают-

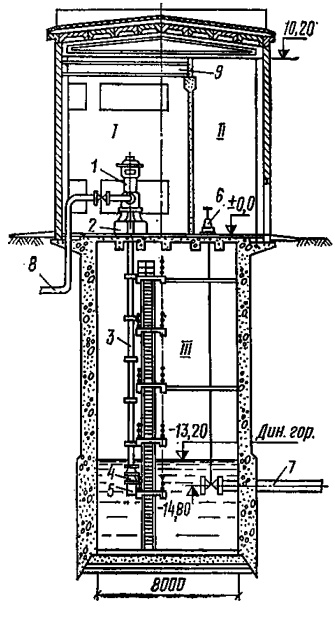


Рис. 59. Насосная станция в сборном колодце

I — машинный зал; *II* — вспомогательное помещение; *III* — водоприемная шахта; *1* — электродвигатель; *2* — опорная часть насосной установки; *3* — водоподъемный трубопровод; *4* — насос; *5* — водоподъемник; *6* — колонка управления задвижкой; *7* — водоприемная горизонтальная дрена; *8* — напорный трубопровод; *9* — кран-балка

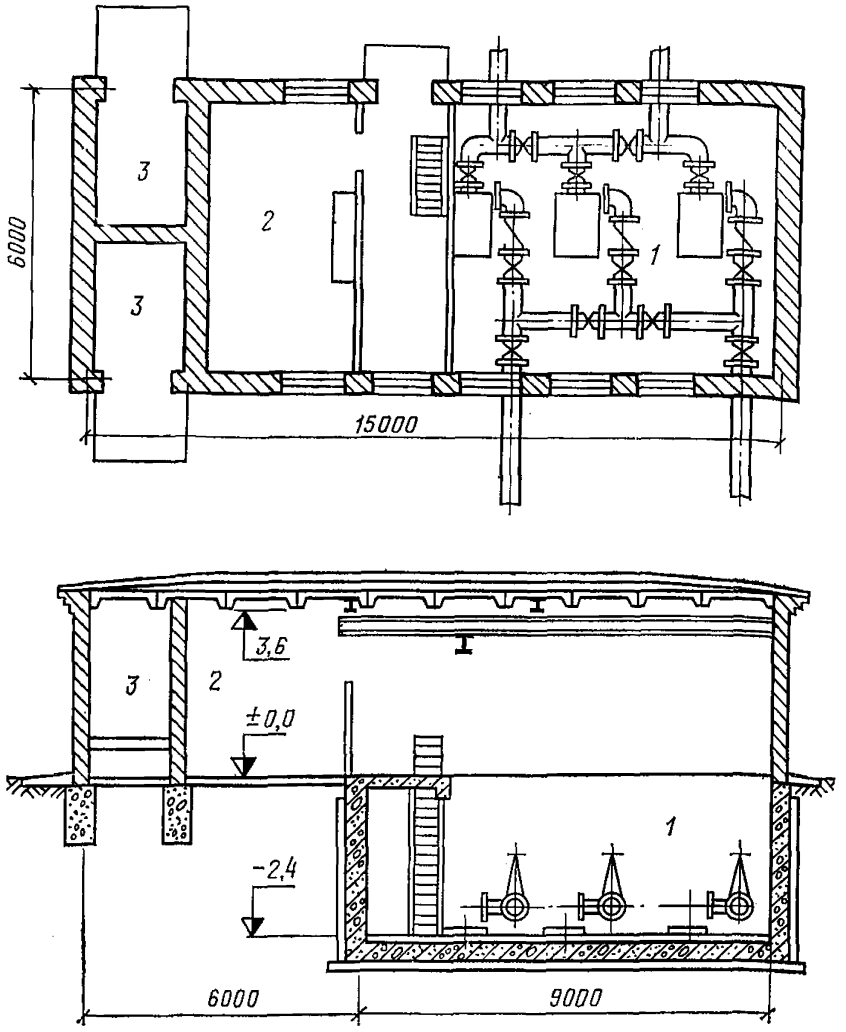


Рис. 60. Заглубленная водопроводная насосная станция
1 — машинный зал; *2* — щитовое помещение; *3* — трансформаторные камеры

ся под залив, что значительно упрощает автоматизацию и эксплуатацию насосной станции.

В насосных станциях, где насосы установлены не под залив, предусматривают установку вакуум-насосов, а на всасывающих линиях насосов диаметром до 200 мм допускается установка приемных клапанов.

13.11. В соответствии со СНиП II-31-74, компоновочные решения всех типов насосных станций должны учитывать наличие встроенных трансформаторной подстанции и распредустройства, а в некоторых случаях и местного диспетчерского пункта. В зданиях насосных станций следует предусматривать также санитарный узел, помещение для эксплуатационного персонала, мастерскую или место для установки верстака, монтажную площадку.

13.12. В заглубленных насосных станциях в машинном зале для откачки воды, вылившейся при ремонтных работах, а также скопившейся вследствие утечки через сальники насосов и сконденсировавшейся влаги на трубопроводах, устанавливается дренажный насос.

Против аварийного затопления в насосных станциях предусматривается или установка специальных насосов, или устройство (если это возможно) выпуска в канализацию. В некоторых случаях для понижения вероятности затопления насосной станции и уменьшения габаритов подземной части непосредственно при насосной станции или на близком от нее расстоянии устраиваются камеры на напорных трубопроводах, куда выносятся задвижки и обратные клапаны.

13.13. На горизонтальных водозаборах и каптажах источников, когда условия водозабора позволяют применить наземные или заглубленные насосные станции, при расходе воды, подаваемой по-

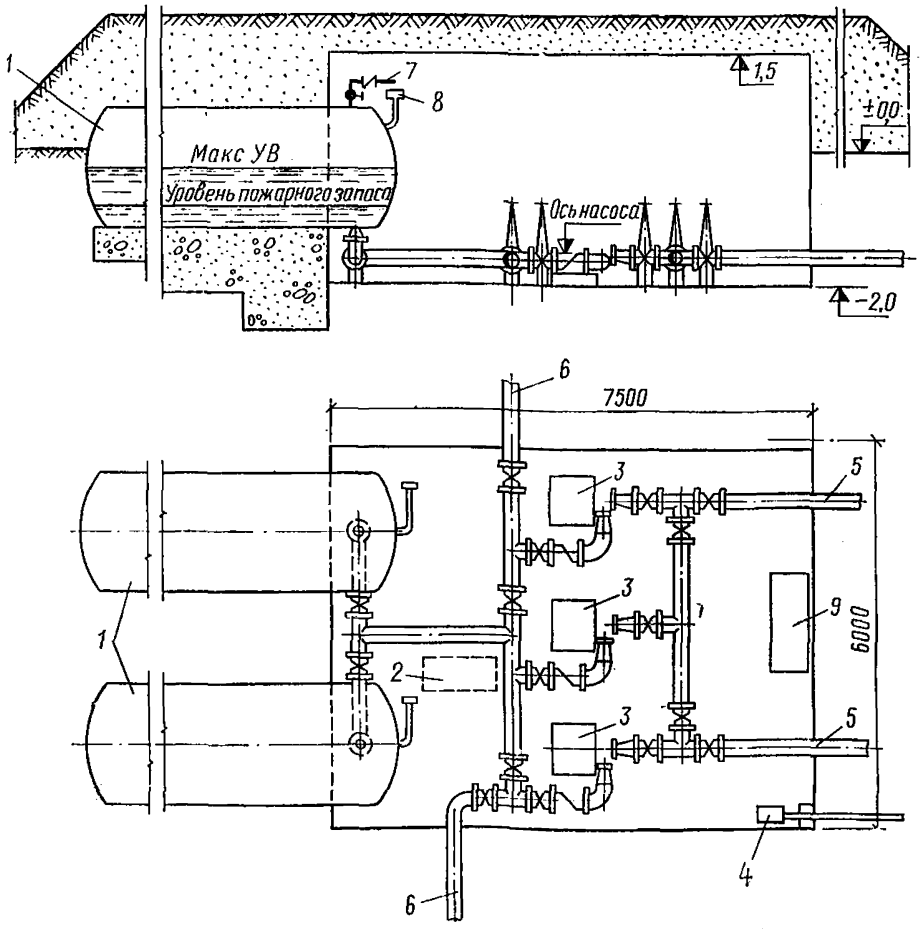


Рис. 61. Пневматическая насосная станция производительностью 100 м³/ч

1 — водовоздушные баки; *2* — компрессор; *3* — хозяйственно-противопожарные насосы; *4* — дренажный насос; *5* — всасывающие трубопроводы; *6* — напорный трубопровод; *7* — воздуховод от компрессора; *8* — предохранительный клапан; *9* — обратный клапан

требителю, до 100 м³/ч экономически целесообразно применять пневматические насосные станции переменного давления. Пневматическая станция включает в себя насосы, подающие воду в водовоздушные баки и в водопроводную сеть, водовоздушные баки, создающие требуемый напор, и компрессор, подающий периодически необходимое количество воздуха в водовоздушный бак для пополнения утечки.

Схема пневматической насосной станции приведена на рис. 61.

Расчеты гидропневматических установок и требования к их устройству определяются СНиП II-31-74, пп. 7.40—7.51.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СТРОИТЕЛЬНЫМ РЕШЕНИЯМ И ОБОРУДОВАНИЮ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

13.14. Проектирование зданий насосных станций следует осуществлять по единой унифицированной модульной системе в соответствии с типовыми конструкциями железобетонных элементов, утвержденными Госстроем СССР.

Габариты машинного зала и высота подземной части определяются в соответствии с требованиями СНиП II-31-74, гл. 7, к размещению трубопроводов, запорной арматуры, насосного и грузоподъемного оборудования.

Подземную часть здания заглубленной станции выполняют из бетона или железобетона. При наличии грунтовой воды стены и дно заглубленной части должны быть соответственно рассчитаны и вся конструкция должна быть проверена на всплывание ее при расчетных уровнях грунтовой или речной воды. Дно и стены подземной части должны обеспечивать надежную гидроизоляцию.

Класс и степень огнестойкости здания, а также санитарные требования и требования к внутренней отделке помещений насосной станции определяются СНиП II-31-74, гл. 13.

13.15. Насосные станции всех назначений должны проектироваться с управлением без постоянного обслуживающего персонала. Виды управления, объем автоматизации и технологического контроля принимаются в зависимости от класса надежности действия насосной станции в соответствии со СНиП II-31-74, гл. 12. Каждая насосная станция должна быть оборудована телефонной связью и радиофицирована. Для насосных станций над скважинами допускается предусматривать связь с помощью переносных телефонных аппаратов.

Расположение насосов и трубопроводов в насосной станции определяется СНиП II-31-74, гл. 7, и должно отвечать следующим основным требованиям: надежность действия, удобство, простота и безопасность обслуживания, минимальная протяженность трубопроводов и простота их узлов, возможность расширения станции, возможность замены основной запорной арматуры без полной остановки станции. Количество резервных насосных агрегатов также определяется СНиП II-31-74, табл. 52.

Трубы в насосных станциях применяют стальные на сварке в виде крупноблочных элементов. Фланцы на трубах привариваются только для присоединения арматуры и насосов. Конструкции трубопроводов должны обеспечивать наименьшее число фасонных

частей (колен, отводов, тройников и др.). Все фасонные части, как правило, принимаются по действующим нормалям.

Всасывающие и напорные трубопроводы в насосных станциях, как правило, укладываются над поверхностью пола с устройством опор под арматуру и трубопроводы.

Напорные линии каждого насоса оборудуются обратным клапаном и задвижкой. Установка обратного клапана предусматривается между насосом и задвижкой. На всасывающих линиях задвижки устанавливаются только у насосов, расположенных под заливом, или при присоединении насосов к общей всасывающей линии. Задвижки диаметром более 400 мм, а также задвижки всех диаметров при дистанционном или автоматическом управлении устанавливают с электрическим приводом.

Оборудование насосных станций грузоподъемными механизмами производится в соответствии со СНиП II-31-74, пп. 7.28—7.30.

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

Схемы оборудования арматурой насосов и насосных установок показаны на рис. 62 и 63.

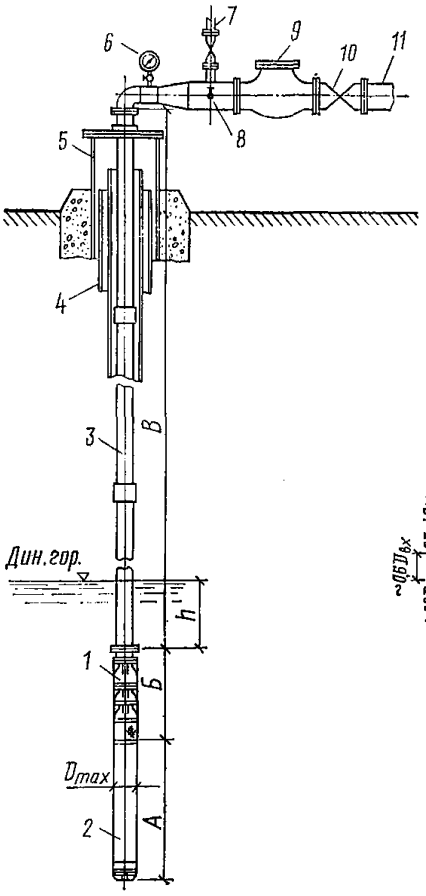


Рис. 62. Схема оборудования скважины насосом и арматурой

1 — насос; *2* — электродвигатель; *3* — водоподъемные трубы; *4* — обсадные трубы скважины; *5* — герметизированный оголовок скважины; *6* — манометр; *7* — сбросной трубопровод; *8* — кран отбора проб; *9* — обратный клапан; *10* — задвижка; *11* — напорный трубопровод

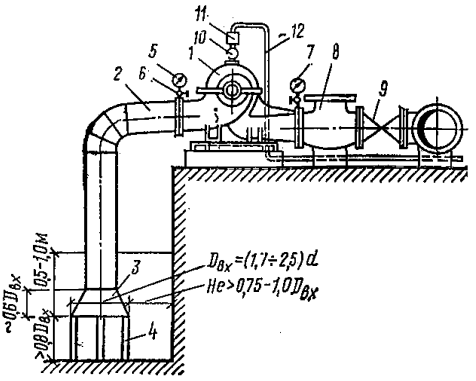


Рис. 63. Схема оборудования арматурой горизонтального центробежного насоса

1 — насос; *2* — косой переход; *3* — всасывающая воронка; *4* — подставка под воронку; *5* — вакуумметр; *6* — трехходовой кран; *7* — манометр; *8* — обратный клапан; *9* — задвижки; *10* — вентиль; *11* — указатель движения воздуха; *12* — воздухопровод вакуум-установки

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И ПОЛНАЯ ВЫСОТА ПОДЪЕМА НАСОСОВ

13.16. Для расчета производительности насосной станции и подбора насосного оборудования определяющим является положение и назначение насосной станции в общей схеме водоснабжения объекта.

Для схем водоснабжения с водозаборами из подземных водоисточников характерны следующие решения:

забор и подача воды из источника водоснабжения в наземные резервуары или на обработку с последующей подачей воды насосами 2-го подъема потребителю;

забор и подача воды из источника водоснабжения непосредственно в сеть потребителя (прямоточная система), в напорный резервуар или водонапорную башню в начале сети или в контррезервуар, башню.

В первом случае производительность насосной станции или группы насосных станций над артскважинами определяется из условий равномерной работы с учетом потребности водопроводных сооружений на собственные нужды по формуле

$$Q_{\text{ч}} = \frac{\alpha\, Q_{\text{макс. сут}}}{T}, \qquad (87)$$

где $Q_{\text{макс.сут}}$ — расчетный расход в сутки максимального водопотребления, м³, определяется в соответствии со СНиП II-31-74 по нормам водопотребления; α — коэффициент, учитывающий расход на собственные нужды водопроводных сооружений ($\alpha = 1{,}04 \div 1{,}1$); T — число часов работы насосной станции; обычно принимается равным 24 ч. Для водопроводов производительностью до 1600 м³/сут, число часов работы T принимается от 8 до 16 ч, что обосновывается технико-экономическими расчетами.

При прямоточной системе водоснабжения должна быть обеспечена производительность, отвечающая наибольшему часовому расходу в дни максимального водопотребления (рассчитывается по СНиП II-31-74, п. 3.3).

При подаче воды в регулирующую емкость производительность определяется исходя из принятого режима работы насосов и величины регулирующей емкости резервуаров. В этом случае группа насосных станций над артскважинами рассматривается как единая насосная станция с числом насосов, равным количеству рабочих скважин на водозаборе.

Для малых водопроводов обычно выгодна равномерная работа насосов, для больших — ступенчатая; для средних водопроводов равномерная работа тем выгоднее, чем больше длина водовода. Режим работы насосов следует устанавливать на основании технико-экономического сопоставления вариантов.

13.17. В случаях когда водоснабжение является и противопожарным, производительность насосных станций водозаборов подземных вод должна учитывать возможность восстановления неприкосновенного пожарного запаса воды в резервуарах и во всех случаях восстановление дополнительного аварийного объема, предусматриваемого на время ликвидации аварии при подаче воды в резервуары по одному водоводу.

При пополнении израсходованного аварийного или противопо-

жарного запаса дополнительная производительность насосной станции определяется из соотношения:

$$Q_{доп} = \frac{W_{ав}}{T_{ав}} + \frac{W_{пож}}{T_{пож}} \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (88)$$

где $W_{ав}$ — объем аварийного запаса воды в резервуарах определяется в соответствии с указаниями СНиП II-31-74, п. 9.13; $W_{пож}$ — объем пожарного запаса определяется в соответствии с указаниями СНиП II-31-74, пп. 3.12—3,24 и 9.7—9.12; T — срок восстановления аварийного или неприкосновенного пожарного запаса, ч (СНиП II-31-74, пп. 3.26 и 8.4).

На водозаборах из артезианских скважин для подачи дополнительного количества воды рекомендуется использовать резервные скважины.

13.18. Полная высота подъема насосов водозаборов подземных вод определяется из условий подачи воды в соответствии с принятой схемой водоснабжения, конструкцией и типом водозабора, и в общем виде определяется соотношением:

$$H = H_{г.в} + h_{п.в} + H_{г.в} + h_{п.н} + H_{св}, \quad (89)$$

где $H_{г.в}$ — геометрическая высота всасывания, $h_{п.в}$ — потери напора во всасывающем трубопроводе; $H_{г.н}$ — геометрическая высота нагнетания; $h_{п.н}$ — потери напора в напорных трубопроводах; $H_{св}$ — свободный напор в расчетной точке сети.

В насосных станциях с насосными установками ЭЦВ, АТН, А и УЦТВ значения $H_{г.в.}$ и $h_{п.в.}$ не учитываются.

Геометрическая высота всасывания $H_{г.в.}$ определяется как разность абсолютных отметок оси насоса и динамического уровня при максимальном расходе. В случае установки насосов под заливом величина $H_{г.в.}$ берется с обратным знаком.

Геометрическая высота нагнетания $H_{г.н.}$ определяется от оси насосов в насосных станциях с горизонтальными насосами и от динамического уровня воды в водоприемнике при максимальном водоотборе насосными установками ЭЦВ, АТН, А и УЦТВ до расчетной точки на схеме водоснабжения.

Расчетными точками на схемах водоснабжения являются:

при схеме подачи воды на очистные сооружения, наземные резервуары или водонапорную башню — максимальный уровень воды на этих сооружениях;

при схеме подачи воды непосредственно в сеть — отметка поверхности земли в точке с таким значением требуемого свободного напора, который обеспечивает по остальным участкам сети свободные напоры не менее нормативных при максимальном часовом водозаборе или пожаре (определяется гидравлическим расчетом сети);

при схеме подачи воды в сеть с контррезервуаром — максимальная отметка воды в контррезервуаре или отметка поверхности земли в точке схода потоков воды от насосной станции и из контррезервуара (расчетный случай также определяется в результате гидравлического расчета сети).

Потери напора в напорных трубопроводах $h_{п.н.}$ определяются как сумма потерь в насосной станции, напорных водоводах и сети до расчетных точек. Потери напора в насосных станциях принимаются равными 3—5 м. В насосных станциях, оборудованных насосами ЭЦВ, АТН, А и УЦТВ, потери в насосных станциях учитываются как потери в водоподъемных трубах.

Свободный напор $H_{с.в.}$ в расчетах полной высоты подъема насосов учитывается только в случаях работы насосных станций непосредственно на сеть и принимается в соответствии со СНиП II-31-74 в зависимости от этажности застройки или технологических требований объекта водоснабжения.

УСТАНОВКИ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ ТИПА ЭЦВ С ПОГРУЖНЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ (РИС. 64)

13.19. Насосные установки ЭЦВ выпускаются промышленностью в соответствии с ГОСТ 10428—71 и предназначены для подачи воды общей минерализацией (сухим остатком) не более 1500 мг/л; водородным показателем (pH) 6,5—9,5; температурой до 25°С, содержащей не более 100 мг/л твердых механических примесей, 550 мг/л хлоридов, 500 мг/л сульфатов и 1,5 мг/л сероводорода.

В отдельных случаях допускается использование насосов для подачи воды общей минерализацией до 2000 мг/л.

13.20. Насосы ЭЦВ — одно- или многоступенчатые с вертикальным расположением вала работают с подпором, величина которого дается в технической характеристике для каждой марки насоса отдельно.

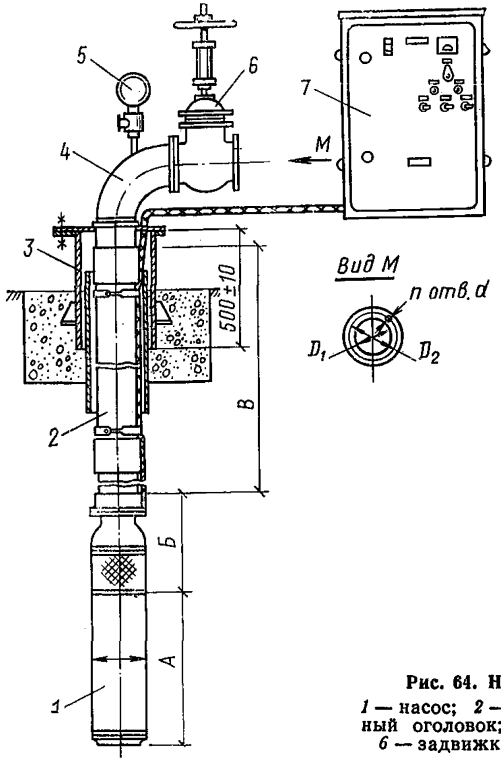


Рис. 64. Насосная установка ЭЦВ

1 — насос; *2* — трубопровод; *3* — герметичный оголовок; *4* — колено; *5* — манометр; *6* — задвижка; *7* — станция управления

Таблица 25

Технические характеристики центробежных насосов ЭЦВ с погружными электродвигателями

Марка насоса	Подача, м³/ч	Напор. м вод. ст	Подпор, м вод. ст.	Марка электродвигателя	Мощность, кВт	Масса агрегата, кг
ЭЦВ4-1,6-30	0,7—2,6	34—18	1	ПЭДВ-0,4-93	0,4	25
ЭЦВ4-1,6-50	0,7—2,6	58—35	1	ПЭДВ-0,7-93	0,7	28
ЭЦВ4-1,6-65	0,7—2,6	77—55	1	1ПЭДВ-1-93	1	29
ЭЦВ4-1,6-85	0,7—2,6	95—45	1	1ПЭДВ-1-93	1	30
ЭЦВ4-1,6-130	0,7—2,6	150—80	1	ПЭДВ-0,7-93	1,6	42
ЭЦВ4-4-30	2,5—5	36—20	1	1ПЭДВ-1-93	0,7	25
1ЭЦВ4-4-45	2,5—5	52—37	1	ПЭДВ-1,6-93	1	29
1ЭЦВ4-4-70	2,5—5	75—45	1	1ПЭДВ-1,6-93	1,6	33
ЭЦВ5-4-125	2,5—5	150—90	1	ПЭДВ-2,8-114	2,8	75
ЭЦВ5-6,3-80	5—8	88—60	1	ПЭДВ-2,8-114	2,8	75
ЭЦВ6-4-90	2,5—5	97—77	1	ПЭДВ-2,8-140	2,8	85
ЭЦВ6-4-130	2,5—5	145—115	1	ПЭДВ-2,8-140	2,8	97
ЭЦВ6-4-190	2,5—5	210—170	1	ПЭДВ-4,5-140	4,5	112
2ЭЦВ6-6,3-85	5—8	95—65	1	ПЭДВ-2,8-140	2,8	85
1ЭПВ6-6,3-1,25	5—8	140—95	1	1ПЭДВ-4,5-140	4,5	102
3ЭЦВ6-6,3-60	5—8	65—47	1	ПЭДВ-2-140	2	70
3ЭЦВ6-6,3-60	5—8	65—47	1	ПЭДВ-2-140	2,0	75
3ЭЦВ6-6,3-85	5—8	96—65	1	ПЭДВ-2,8-140	2,8	85
3ЭЦВ6-6,3-125	5—8	140—95	1	4ПЭДВ-4,5-140	4,5	86
1ЭЦВ6-10-50	8—12,8	53—40	1	1ПЭДВ-2,8-140	2,8	73
ЭЦВ6-10-80	8—12,8	89—60	1	1ПЭДВ-4,5-140	4,5	95
1ЭЦВ-10-80	8—12,8	89—60	1	ПЭДВ-4,5-140	4,5	82
ЭЦВ6-10-110	8—12,8	120—86	1	ПЭДВ-5,5-140	5,5	98

Продолжение табл. 25

Марка насоса	Подача, м³/ч	Напор, м вод. ст.	Подпор, м вод. ст.	Марка электродвигателя	Мощность, кВт	Масса агрегата, кг
1ЭЦВ6-10-140	8—12,8	150—110	1	3ПЭДВ-8-140	8	116
1ЭЦВ6-10-185	8—12,8	197—160	1	3ПЭДВ-8-140	8	121
3ЭЦВ6-10-235	8—12,8	256—180	1	ПЭДВ-11-140	11	140
3ЭЦВ6-16-50	10—20	56—35	1	ПЭДВ-4,5-140	4,5	77,5
3ЭЦВ6-16-75	10—20	86—60	1	ПЭДВ-5, 5-140	5,5	86
3ЭЦВ8-16-140	10—20	156—116	1	ПЭДВ-11-180	11	150
1ЭЦВ8-25-100	16—34	110—75	1	4ПЭДВ-11-180	11	145
ЭЦВ8-25-150	16—33	156—120	1	1ПЭДВ-16-180	16	202
ЭЦВ8-25-195	16—34	225—155	1	3ПЭДВ-22-180	22	246
1ЭЦВ8-25-300	16—34	325—250	1	ПЭДВ-32-180	32	390
ЭЦВ8-40-65	32—60	75—40	1	ПЭДВ-11-180	11	207
ЭЦВ8-40-165	32—60	175—125	1	ПЭДВ-32-180	32	360
ЭЦВ10-63-40Г	40—80	50—30	1	ПЭДВ-11-180Г	11	220
1ЭЦВ10-63-65	40—80	80—50	1	ПЭДВ-22-219	22	271
ЭЦВ10-63-110	40—80	128—85	1	ПЭДВ-32-230	32	348
1ЭЦВ10-63-110	40—80	128—85	1	ПЭДВ-32-219	32	310
1ЭЦВ10-63-150	40—80	174—106	1	ПЭДВ-45-219	45	400
1ЭЦВ10-63-180	40—80	210—140	1	ПЭДВ-45-219	45	406
ЭЦВ10-63-270	40—80	320—200	1	ПЭДВ-65-230	65	727
ЭЦВ10-120-40Г	85—150	47—30	1	ПЭДВ-22-219Г	22	256
1ЭЦВ10-120-60	80—150	70—42	1	ПЭДВ-32-219	32	344
ЭЦВ10-160-35М	120—180	41—30	1	2ПЭДВ-22-219Г	22	275
ЭЦВ12-160-65	120—180	75—32	1	ПЭДВ-45-230	45	408
2ЭЦВ12-160-65	100—200	78—50	1	ПЭДВ-45-270	45	400
ЭЦВ12-160-100	100—200	100—70	1	ПЭДВ-65-270	65	470
ЭЦВ12-160-140	100—200	160—110	1	1ПЭДВ-90-270	90	605
ЭЦВ12-210-25	150—275	32—17	2	ПЭДВ-22-230	22	250
ЭЦВ12-210-55	150—275	68—30	2	1ПЭДВ-45-270	45	395
2ЭЦВ12-210-85	150—275	110—70	2	ПЭДВ-65-230	65	563
ЭЦВ12-210-145	150—275	185—110	2	5ПЭДВ-125-270	125	800
2ЭЦВ12-255-30	220—340	31—24	6	2ПЭДВ-32-230	32	291
ЭЦВ12-375-30	250—470	37—13	6	2ПЭДВ-45-219	45	360
1ЭЦВ14-120-540К	80—140	615—450	1	1ПЭДВ-250-320М	250	1993
ЭЦВ14-210-300К	210	300	2	1ПЭДВ-250-320К	250	1818
ЭЦВ16-375-175К	375	175	6	1ПЭДВ-250-320К	250	1717
ЭЦВ4-2,5-65	2,5	65	—	1ПЭДВ-1-93	1	33
ЭЦВ8-25-70Г	25	70	—	ПЭДВ-11-180	11	142

Примечание. При конкретном подборе насосов следует учитывать номенклатуру, фактически освоенную заводами на год проектирования объекта.

Таблица 26

Габаритные размеры и основные элементы насосных установок ЭЦВ

Марка насоса	*А*, мм	*Б*, мм	*В*, м	D_{max}, мм	Водоподъемный трубопровод	Токоподводящий кабель: тип	Токоподводящий кабель: количество м	Тип системы автоматического управления
ЭЦВ4-1,6-30	450	470	30,2	95	Труба 48×4-Д	ВПВ или ВПП-1,5	105	САУНА-I-I-I-I-У2
ЭЦВ4-1,6-50	520	590	48,2				105	САУНА-I-I-I-I-У2
ЭЦВ4-1,6-65		680	66,3				210	САУНА-1-1-I-I-У2
ЭЦВ4-1,6-85		780	90,4				285	САУНА-1-1-I-I-У2
ЭЦВ4-1,6-130	620	1020	132,5				420	САУНА-1,6-I-I-I-У2
ЭЦВ4-4-30	520	470	36				138	САУНА-I-I-I-I-У2
1ЭЦВ4-4-45		540	48				180	САУНА-1-1-I-I-У2
1ЭЦВ4-4-70	620	660	72				255	САУНА-1,6-1-I-I-У2
ЭЦВ5-4-125	820	990	140	116	Труба УК-40	ВПВ или ВПП-2,5	420	САУНА-2,8-I-I-I-У2
ЭЦВ5-6,3-80		780	90				295	САУНА-2,8-I-I-I-У2
ЭЦВ6-4-90	740	805	90	145	Труба 60×5-Д	ВПВ или ВПП-4	270	САУНА-2-I-I-I-У2
ЭЦВ6-4-130	740	1010	130				420	САУНА-2,8-I-I-I-У2
ЭЦВ6-4-190	790	1365	190				570	САУНА-4,5-1-I-I-У2
2ЭЦВ6-6,3-85	740	810	85				255	САУНА-2,8-1-I-I-У2
1ЭЦВ6-6,3-125	790	1010	125				375	САУНА-4,5-1-I-I-У2
3ЭЦВ6-6,3-60	650	700	66	145	Труба 60×5-Д	ВПВ или ВПП-2,5	210	САУНА-2-I-I-I-У2
3ЭЦВ6-6,3-85	740	850	90			ВПВ или ВПП-4	270	САУНА-2,8-I-I-I-У2
3ЭЦВ6-6,3-125	790	1170	126				405	САУНА-4,5-I-I-I-У2
1ЭЦВ6-10-50	740	660	50				150	САУНА-2,8-I-I-I-У2
ЭЦВ6-10-80	790	790	80				240	САУНА-4,5-I-I-I-У2
ЭЦВ6-10-110	830	990	110				330	САУНА-5,5-I-I-I-У2
1ЭЦВ6-10-140	940	1120	140			ВПВ или ВПП-10	420	САУНА-8-I-I-I-У2
1ЭЦВ6-10-185		1390	185				555	САУНА-8-I-I-I-У2
ЭЦВ6-10-235	1020	1720	235				705	САУНА-11-I-I-I-У2

Продолжение табл. 26

Марка насоса	*A*, мм	*Б*, мм	*В*, м	D_{max}, мм	Водоподъемный трубопровод	Токоподводящий кабель: тип	Токоподводящий кабель: количество м	Тип системы автоматического управления
1ЭЦВ6-10-80	750	820	78	145	Труба 60×5-Д	ВПВ или ВПП-4	270	САУНА-4,5-I-I-I-У2
3ЭЦВ6-16-50		750	48		Труба 73×5,5-Д		195	САУНА-2,8-I-I-I-У2
3ЭЦВ6-16-75	790	920	72				270	САУНА-5,5-I-I-I-У2
3ЭЦВ8-16-140	900	1090	144	186	Труба 89×6,5-Д	ВПВ или ВПП-10	450	САУНА-11-I-I-I-У2
1ЭЦВ8-25-100	897	935	100				360	САУНА-11-I-I-I-У2
ЭЦВ8-25-150	1450	1010	150			ВПВ или ВПП-16	510	САУНА-16-I-I-I-У2
ЭЦВ8-25-195	1240	1390	195				645	САУНА-22-I-I-I-У2
1ЭЦВ8-25-300	1430	2900	235		Труба 114×7-Д	КРПТ3×35 мм²	310	САУНА-32-I-I-I-У2
ЭЦВ8-40-65	900	1345	78			ВПВ или ВПП-10	210	САУНА-11-I-I-I-У2
ЭЦВ8-40-165	1365	2100	192			ВПВ или ВПП-25	510	САУНА-32-I-I-I-У2
ЭЦВ10-63-40Г	980	1000	368	235		ВПВ или ВПП-10	150	САУНА-11-I-2-I-У2
1ЭЦВ10-63-65	1080	845	65				240	САУНА-22-1-I-I-У2
ЭЦВ10-63-110	935	1490	110	235	Труба 114×7-Д	ВПВ или ВПП-25	390	САУНА-32-1-I-I-У2
1ЭЦВ10-63-110	1175	995	110				360	САУНА-32-1-I-I-У2
1ЭЦВ10-63-150	1335	1270	150			ВПВ или ВПП-35	480	САУНА-45-1-I-I-У2
1ЭЦВ10-63-180		1420	180				510	САУНА-45-I-I-I-У2
ЭЦВ10-63-270	1430	2360	270			ВПВ или ВПП-50	525	САУНА-65-1-I-I-У2
ЭЦВ10-120-40Г	1240	690	36,1		Труба 168×6-Д	ВПВ или ВПП-16	150	САУНА-22-I-2-I-У2
1ЭЦВ10-120-60	1340	960	72		Труба 168×9-Д	ВПВ или ВПП-25	195	САУНА-32-1-I-I-У2
ЭЦВ10-160-35Г	1040	720	36		Труба 168×6-Д	ВПВ или ВПП-10	135	САУНА-22-I-2-I-У2
ЭЦВ10-160-65	1050	1140	84		Труба 168×9-Д	ВПВ или ВПП-25	210	САУНА-45-1-I-I-У2
12ЭЦВ12-160-65	1050	950	65				210	САУНА-45-I-I-I-У2
ЭЦВ12-160-100	1205	1030	100			ВПВ или ВПП-35	315	САУНА-65-1-I-I-У2

Продолжение табл. 26

Марка насоса	*A*, мм	*Б*, мм	*В*, м	D_{max}, мм	Водоподъемный трубопровод	Токоподводящий кабель: тип	Токоподводящий кабель: количество, м	Тип системы автоматического управления
ЭЦВ12-160-140	1400	1100	140				435	САУНА-90-I-I-I-У2
ЭЦВ12-210-25	960	450	240	281	Труба 166×9-Д	ВПВ или ВПП-10	90	САУНА-22-1-I-I-У2
ЭЦВ12-210-55	1050	700	55		Труба 178×8-Д	ВПВ или ВПП-25	210	САУНА-45-1-I-I-У2
2ЭЦВ12-210-85	1415	1310	90		Труба 180×7	ВПВ или ВПП-50	300	САУНА-65-1-I-I-У2
ЭЦВ12-210-145	1640	1560	145		Труба 178×8-Д		540	САУНА-125-I-I-I-У2
2ЭЦВ12-255-30Г	1560	1560	27		Труба 219×6	ВПВ или ВПП-25	150	САУНА-32-I-2-I-У2
ЭЦВ12-375-30	1320	860	30				150	САУНА-45-I-I-I-У2
1ЭЦВ14-120-540К	3170	4300	540	330			550	
ЭЦВ14-210-300К	3170	2490	350	330	Труба 168×9-Д	КПБК-В-3×35 мм²	350	КУПНА-61М-1-У2
ЭЦВ16-375-175К		2560	200	378	Труба 219×9,5		200	

Насосы оснащены обратными клапанами тарельчатого или шарового типа и спиральными напорными патрубками для подсоединения агрегата к водоподъемному трубопроводу.

Насосные агрегаты укомплектованы погружными электродвигателями ПЭДВ (электродвигатели — водозаполненные).

В комплект поставки насосов ЭЦВ входят насос, погружной электродвигатель, токоподводящий кабель; система автоматического управления, хомуты для крепления кабеля, контактные электротехнические гильзы и липкая электроизоляционная водостойкая лента.

По требованию может быть поставлен только насос и погружной электродвигатель.

Установки ЭЦВ-14-120-540К, ЭЦВ-14-210-300К и ЭЦВ-16-375-175К комплектуют трансформатором.

В табл. 25 приводится номенклатура насосов ЭЦВ по ГОСТ 10428—74, а в табл. 26 — их габаритные размеры.

ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ СКВАЖИННЫЕ НАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ С ТРАНСМИССИОННЫМ ВАЛОМ

13.21. К этому типу насосов отнесены насосные установки УЦТВ, АТН и А.

Установки УЦТВ (рис. 65, 66) изготавливаются по ГОСТ 14835—75, установки АТН (рис. 67, 68) и А — по действующим заводским техническим условиям.

Указанные насосы предназначены для подачи воды общей минерализацией не более 2000 мг/л с температурой до 35°С и при концентрации отдельных ингредиентов, не превышающей следующих величин: хлоридов — 350 мг/л, сульфатов — 500 мг/л, сероводорода — 1,5 мг/л. Содержание твердых механических примесей должно быть не более 1000 мг/л для установок УЦТВ и А и не более 5000 мг/л — для установки АТН.

Технические характеристики насосов УЦТВ, АТН и А приведены в табл. 27—29. Характеристики даны для номинальной частоты

Таблица 27

Технические характеристики насосных установок УЦТВ-8-40-65-2 и УЦТВ-10-100-80

Показатель	Установка	
	УЦТВ-8-40-65-2	УЦТВ-10-100-80
Подача, м³/ч	40	100
Напор, м	60	80
Количество ступеней	22	12
Частота вращения, об/мин	1500	1500
Подпор, м	1,0	—
Электродвигатель, тип	АО2-61-4	АО2-81-4
Мощность, кВт	14	40
Система управления	САУНА-11-1-1-1-42	САУНА-35-1-1-1-42
Масса, кг:		
насоса	196	385
агрегата с электродвигателем	2100	3510
с дизелем	—	4590

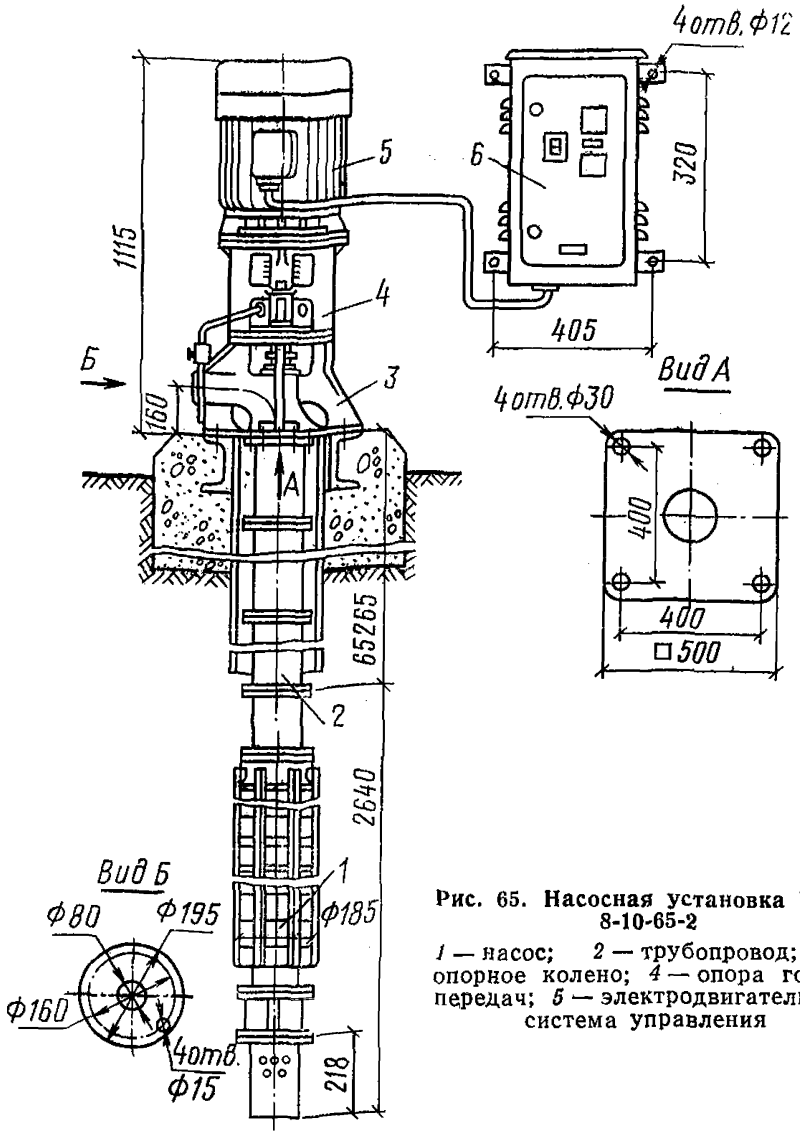


Рис. 65. Насосная установка УЦТВ-8-10-65-2

1 — насос; *2* — трубопровод; *3* — опорное колено; *4* — опора головки передач; *5* — электродвигатель; *6* — система управления

вращения вала 1500 об/мин. Параметры насосов при частоте вращения, отличающейся от номинальной, можно определить по формулам:

$$\left.\begin{aligned} Q_{\text{н}} &= Q_x \frac{n}{n_x}; \\ H_{\text{н}} &= H_x \frac{n}{n_x}; \\ N_{\text{н}} &= N_x \frac{n}{n_x}, \end{aligned}\right\} \qquad (90)$$

где $Q_{\text{н}}$, $H_{\text{н}}$, $N_{\text{н}}$ — соответственно подача, напор и мощность насоса при новой частоте вращения n; Q_x, H_x, N_x — то же, при n_x = = 1500 об/мин.

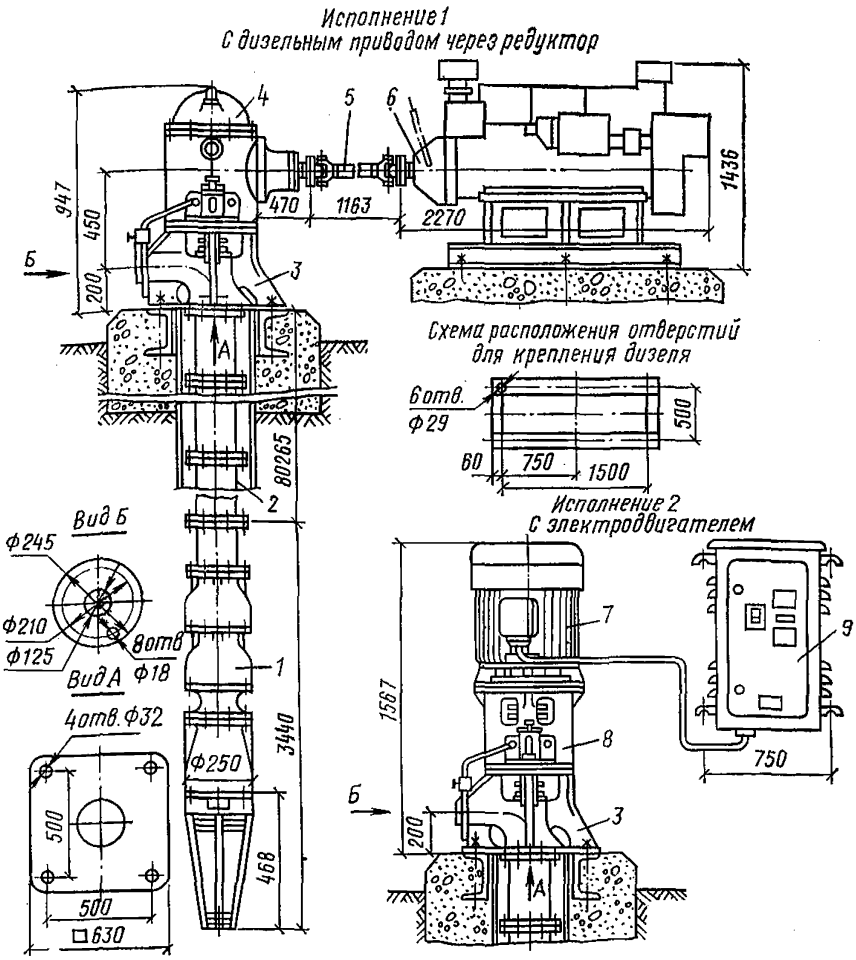


Рис. 66. Насосная установка УЦТВ-10-100-80

1 — насос; *2* — трубопровод; *3* — опорное колено; *4* — редуктор; *5* — карданный вал; *6* — дизель; *7* — электродвигатель; *8* — опора головки передач; *9* — система управления

Габаритные размеры насосов даны в табл. 30 и 31.

Рассматриваемые насосные установки состоят из насоса и водоподъемного трубопровода с трансмиссионным валом, расположенных в скважине, опорного колена и привода. Привод — от электродвигателя с пятой либо от дизеля с коническим редуктором и карданным валом. В насосных установках УЦТВ и АТН радиальные подшипники насоса и трубопровода смазываются перекачиваемой водой. В установке А подшипники насоса смазываются перекачиваемой водой, а подшипники трубопровода — чистой водой под избыточным давлением (на 5—10 м вод. ст.) от специального источника.

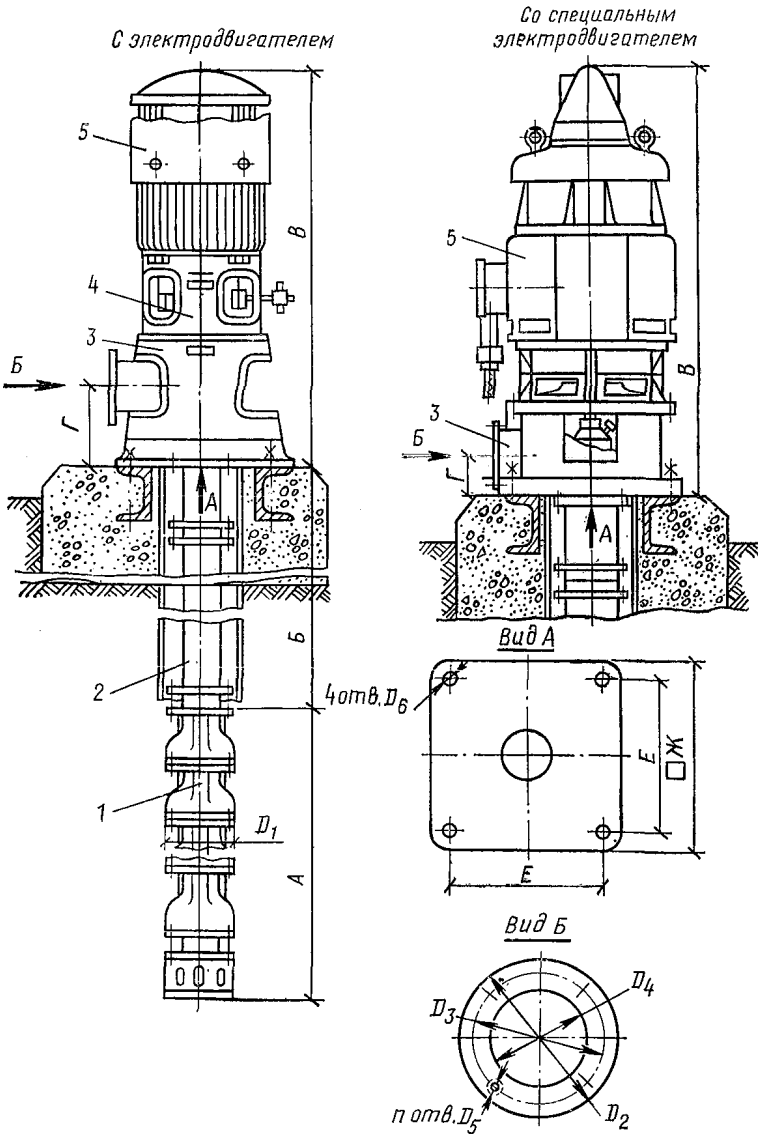


Рис. 67. Насосная установка АТН

1 — насос; *2* — трубопровод; *3* — колено; *4* — пята привода; *5* — электродвигатель

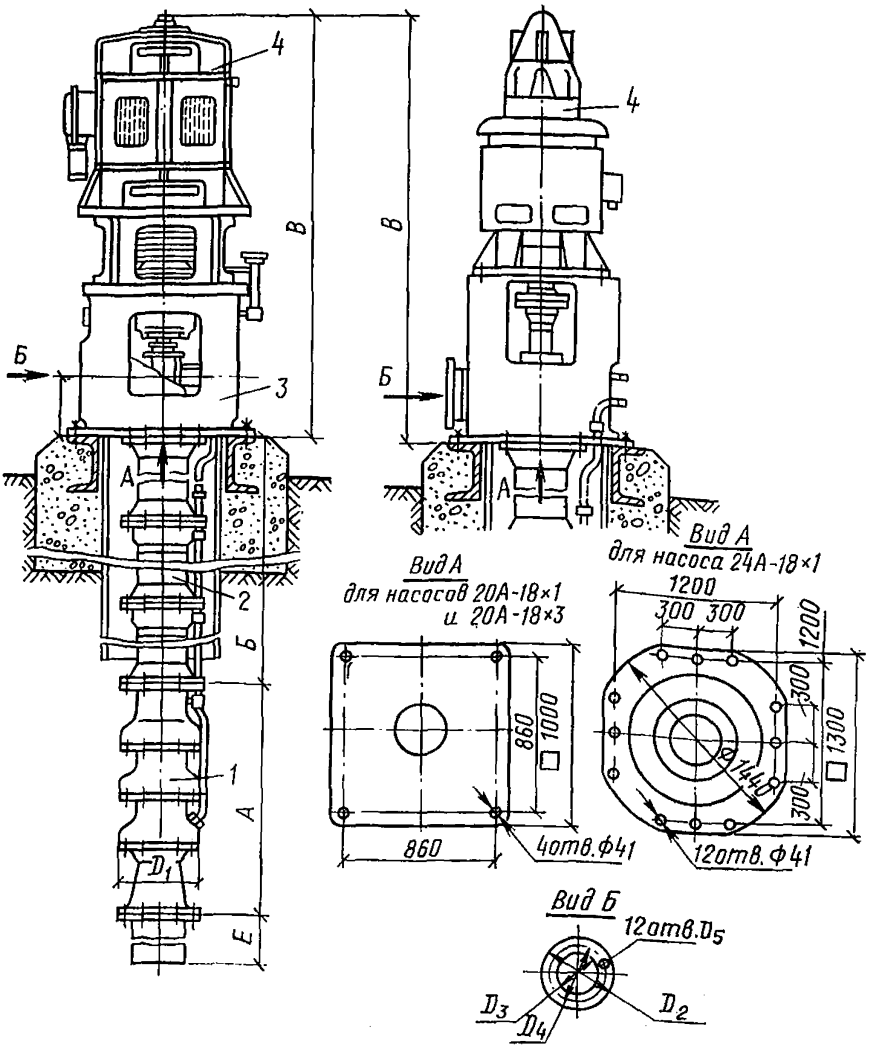


Рис. 68. Насосная установка А

1 — насос; *2* — трубопровод; *3* — опорная часть; *4* — электродвигатель

Насос одно- или многоступенчатый. Каждая ступень насоса состоит из рабочего колеса, жестко закрепленного на валу, и лопаточного отвода.

В комплект поставки насосных установок УЦТВ входят насос, водоподъемный трубопровод, опорное колено, пята (опора) головки передач, электродвигатель и система управления. Для установки УЦТВ-10-100-80 с приводом от дизеля поставляется редуктор РКТ-080, карданный вал автомобиля ГАЗ-63 и дизель К-264.

В комплект поставки насосов АТН и А входят насос, трубопровод, колено, пята привода или опорная часть для насоса А, электродвигатель — согласно условиям заказа. Насосные установки могут быть поставлены с трубопроводом, длина которого (*Б*) меньше значения, указанного в таблицах, на величину, кратную 2300 мм.

Таблица 28

Техническая характеристика насосов типа АТН

Показатель	АТН-8-1-7	АТН-8-1-11	АТН-8-1-16	АТН-8-1-22	АТН-10-1-4	АТН-10-1-6	АТН-10-1-8	АТН-10-1-11	АТН-10-1-13	АТН-10-1-15	АТН-14-1-3	АТН-14-1-4	АТН-14-1-6
Подача, $м^3/ч$	15—50	15—50	15—50	15—50	40—100	40—100	40—100	40—100	40—100	40—100	130—340	130—340	130—340
Напор, м	34—6	53—10	88—24	120—30	36—16	54—24	72—32	99—44	117—52	135—60	48—37	64—50	96—75
Количество ступеней	7	11	16	22	4	6	8	11	13	15	3	4	6
Частота вращения, об/мин	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Электродвигатель, тип	АО2-51-4	АО2-52-4	АО2-61-4	АО2-62-4	АО2-61-4	АО2-71-4	АО2-72-4	АО2-81-4	АО2-81-4	АВШ-55	АВШ-55	АВШ-75	АВШ-100
Мощность, кВт	7,5	10,0	14	20	13	22	30	40	40	55	55	75	100
Масса, кг:													
насоса	120	178	251	340	126	172	218	292	340	396	207	299	370
агрегата	1550	2090	2960	3930	1962	2323	3542	4495	5409	6420	5460	6440	9660

Таблица 29

Техническая характеристика насосов типа А

Показатель	Установка		
	20А-18×1-1	20А-18×3-1	24А-18×1-1
Подача, м³/ч	380—680	380—680	650—1500
Напор, м	35—23	105—69	56—35
Количество ступеней	1	3	1
Частота вращения, об/мин	1450	1450	1450
Электродвигатель:			
тип	АВШ-75	АВ-112-4	АВ-112-4
мощность, кВт	75	250	250
Масса, кг:			
насоса	545	851	890
агрегата	6165	17 025	12 086

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ НАСОСЫ

13.22. Горизонтальные центробежные насосы для забора подземных вод применяются в том случае, если конструкция водозабора позволяет выдержать требуемую для каждого типа насосов высоту всасывания или обеспечивает их работу под заливом.

Заводом-изготовителем обычно гарантируется допустимая вакуумметрическая высота всасывания $H_{вак}^{доп}$, при определенной подаче Q м³/ч, и числе оборотов насоса n для воды с температурой до 20°С и при барометрическом давлении, равном 10 м вод. ст. Если насос предполагается использовать при ином, чем паспортные данные, числе оборотов n_1, то новая допустимая для него высота всасывания $H_{вак}^{доп}$ рассчитывается с помощью зависимости:

$$H_{1\,вак}^{доп} = 10 - (10 - H_{вак}^{доп}) \left(\frac{n_1}{n}\right)^2; \qquad (91)$$

полученная высота всасывания будет отвечать подаче насоса равной

$$\left.\begin{aligned} Q_1 &= Q\,\frac{n_1}{n}\,, \\ H_1 &= H\left(\frac{n_1}{n}\right)^2. \end{aligned}\right\} \qquad (92)$$

и напору.

При установках насоса в местности с атмосферным давлением, отличным от 10 м вод. ст., а также при подаче насосом воды с температурой больше или меньше 20°С гарантируемая величина $H_{вак}^{доп}$ также должна быть пересчитана по зависимости:

$$H_{2\,вак}^{доп} = H_a - (10 - H_{вак}^{доп})\,\frac{1000}{\gamma} - \left(h_{пв} - 0{,}24\,\frac{1000}{\gamma}\right), \qquad (93)$$

Таблица 30

Габаритные и присоединительные размеры (в мм) насосных установок типа АТН

Марка установки	А	Б	В	Г	Е	Ж	$Д_1$	$Д_2$	$Д_3$	$Д_4$	$Д_5$	$Д_6$	
АТН8-1-7	1223	31 425	1192										
АТН8-1-11	1806	44 425	1125	195	420	500	188	215	180	125	—	25	4
АТН8-1-16	2541	65 225	1270										
АТН8-1-16	2541	65 225	1270										
АТН8-1-22	3423	88 625	1310										
АТН10-1-4	935	30 945	1300										
АТН10-1-6	1295	46 235	1335										
АТН10-1-8	1655	61 535	1369	145	410	520	238	265	225	150	М16	36	8
АТН10-1-11	2195	79 385	1500										
АТН10-1-13	2555	99 785											
АТН10-1-15	2910	115 000	1875										
АТН14-1-3	956	49 400											
АТН14-1-4	1213	59 800	1904	221	740	900	340	345	305	249	—	45	8
АТН14-1-6	1727	98 800											

Габаритные и присоединительные размеры (в мм) насосных установок типа А

Таблица 31

Марка установки	А	Б	В	Г	$Д_1$	$Д_2$	$Д_3$	$Д_4$	$Д_5$
20А-18×1-1	2055	22 100	2410	296	480	375	250	335	М16
20А-18×3-1	2655	77 300	2775	296	—	—	—	—	—
24А-18×1-1	2175	38 200	2662	370	580	440	300	395	М20

Таблица 32

Величина атмосферного давления $H_а$ в зависимости от высоты над уровнем моря

Высота над уровнем моря, м	0	100	200	300	400	500	700	1000	1500	2000
$H_а$, м вод. ст.	10,3	10,2	10,1	10	9,8	9,7	9,5	9,2	8,6	8,4

Таблица 33

Величина давления насыщенных паров воды $h_{п.в}$ в зависимости от ее температуры

Температура воды, °С	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$h_{пв}$, м вод. ст.	0,062	0,09	0,12	0,24	0,43	0,75	1,25	2,02	3,17	4,82	7,14	10,33

где $H_а$ — барометрическое давление (в м вод. ст.) подаваемой воды при ее температуре, принимаемое по табл. 32; $h_{п.в}$ — давление насыщенных паров воды в зависимости от ее температуры — см. табл. 33; γ — объемный вес воды (в кг/м³) при ее температуре — см. табл. 34.

Таблица 34

Зависимость удельного веса воды от температуры

Температура воды, °С . . .	0	10	20	30	40	50	70	100
Удельный вес γ, кгс/м³	1000	999	998	995	993	990	976	958

Учитывая возможные колебания подачи насоса, действительная высота всасывания $H_{вак}$ должна приниматься на 0,5—1,5 м меньше допустимой вакуумметрической высоты $H_{вак}^{доп}$.

Если установленная по каталогу или по расчетам высота всасывания имеет отрицательное значение, то вода к насосу должна быть подведена с подпором.

Обточка колес насосов не оказывает влияния на величину их высоты всасывания.

Взаимосвязь всех рабочих параметров лопастных насосов выражается графически в виде его рабочей характеристики. Кривые зависимости напора, мощности, к.п.д., высоты всасывания от производительности насоса даются заводами-изготовителями для определенных скорости вращения и диаметра рабочего колеса.

При необходимости возможно изменение рабочей характеристики лопастного насоса с целью более точной и экономичной подгонки насоса к конкретным условиям.

Подача и создаваемый насосом напор могут быть уменьшены при незначительном снижении к.п.д., если произвести обточку колеса. Допустимые пределы обточки зависят от коэффициента быстроходности колеса насоса n_s и рекомендуются в пределах, указанных в табл. 35.

Таблица 35

Допустимая обточка колес центробежных насосов

Колеса насоса	Допустимая обточка колеса, % от D_2	Примерное снижение к. п. д. насоса, % на каждые 10% обточки
40—120	20—15	1—1,5
120—200	15—10	1,5—2
200—300	10—7	2—2,5

Изменение подачи, напора и мощности центробежного насоса при обточке колеса происходит по зависимостям:

$$\frac{Q_1}{Q} = \frac{D_{2\,\text{обт}}}{D_{2\,\text{норм}}}; \quad \frac{H_1}{H} = \left(\frac{D_{2\,\text{обт}}}{D_{2\,\text{норм}}}\right)^2; \quad \frac{N_1}{N} = \left(\frac{D_{2\,\text{обт}}}{D_{2\,\text{норм}}}\right)^3, \quad (94)$$

где Q, $D_{2\text{норм}}$, H и N — параметры до обточки; Q_1, $D_{2\text{обт}}$, H_1 и N_1 — то же, после обточки.

Изменения подачи и напора насоса можно достичь также, изменив скорость вращения. Завод-изготовитель указывает максимальное число оборотов для данного насоса, превышать которое без согласия завода не допускается. При работе насоса с пониженной скоростью вращения производительность, напор и мощность определяются из соотношений

$$\frac{Q_1}{Q} = \frac{n_1}{n}; \quad \frac{H_1}{H} = \left(\frac{n_1}{n}\right)^2; \quad \frac{N_1}{N} = \left(\frac{n_1}{n}\right)^3. \quad (95)$$

Подбор горизонтальных центробежных насосов производится по каталогам ВНИИ гидромаш и заводов-изготовителей.

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА (КИП)

13.23. Водоприемные (каптажные) сооружения на водозаборах подземных вод должны быть оборудованы:

а) водомером для измерения подачи воды;

б) уровнемером для контроля за статическим и динамическим уровнем воды;

в) уровнемером для контроля за затоплением при возможности повреждения аппаратуры;

г) датчиком контроля температуры воздуха при возможности замерзания трубопроводов.

13.24. *Для измерения подачи воды следует предусматривать* установку турбинных водомеров (счетчиков), номенклатура которых приведена в табл. 36. Перед водомером должен предусматриваться прямой участок не менее $5\,D_{усл}$.

Таблица 36

Номенклатура выпускаемых водомеров (счетчиков) по ГОСТ 14167—76

Наименование основных параметров	Единицы измерения	Типы водомеров (счетчиков)				
		ВТ-50	ВТ-80	ВТ-100	ВТ-150	ВТ-200***
Наименьший расход	$м^3/ч$	1,6	3	4,5	7	12
Номинальный расход*	»	15	50	75	150	300
Наибольший расход**	»	30	100	150	300	600
Расход при потере напора не более 0,1 $кгс/см^2$	»	20	65	110	275	500
Наибольшее количество воды, измеренное за сутки	$м^3$	290	965	1440	3200	5700
Установленный размер (длина)	мм	155	205	215	262	380

* Номинальный расход, при котором счетчики могут работать длительное время.

** При наибольшем расходе продолжительная работа счетчика не более 1 ч в сутки.

*** Присоединение счетчиков к трубопроводу должно быть фланцевым (по ГОСТ 1235—67).

Для водозаборов с группой скважин, подающих воду в сборные резервуары, следует предусматривать установку на место водомеров ремонтных вставок.

Для одиночных скважин, подающих воду в сеть, водомер следует устанавливать на обводной линии для обеспечения ремонта без прекращения подачи воды.

В тех случаях, когда параметры турбинных водомеров недостаточны или требуется передача расхода на расстояние, следует предусматривать установку дифференциальных манометров, подключаемых к сужающим устройствам, монтируемым на напорных линиях. Необходимые наименьшие длины прямых участков трубопроводов перед сужающими устройствами в зависимости от его типа, вида местного сопротивления и отношения диаметра сужающего устройства к диаметру трубопровода указаны в Правилах 28-64.

При местном учете расхода воды применяются самопищущие дифманометры с интегратором, поплавковые — с ртутным заполнением типа ДП-712Р или сильфонные — типа ДСС-712 (732).

При необходимости дистанционной или телемеханической передачи сведений о расходах воды используются бесшкальные дифманометры типа ДМ-3573 (3583), которые работают в комплекте с электронными вторичными приборами типа КСД, имеющими унифицированный выход.

13.25. Контроль за уровнем воды в скважинах осуществляется с использованием пневматического или электрического способа, для чего следует предусматривать в каждой скважине монтаж металлической трубки диаметром не менее 15 мм, погружаемой до оси насоса с заделкой в оголовке. При пневматическом способе контроля

в каждой скважине устанавливается манометр, шкала которого выбирается в зависимости от предполагаемой величины максимального снижения динамического уровня. При электрическом способе, являющемся более точным и надежным, используется электроуровнемер типа О-4 треста Союзшахтоосушение или типа УЭ-50 Гидропроекта. Для предотвращения срыва работы насоса следует предусматривать контроль за предельно допустимым (по условиям минимального подпора насоса) динамическим уровнем воды. Для этого используют электроды (датчики сухого хода), укрепляемые к фланцу насоса, с действием на сигнал или отключение.

13.26. При опасности затопления электрооборудования, устанавливаемого ниже уровня земли, следует осуществлять контроль за повышением уровня воды в приямке с использованием датчиков уровня пневматического действия типа РУ-1М, воздействующих на отключение основного насоса или включение дренажного насоса.

При наличии в помещении насосной трубопроводов, заполненных водой, и возможности снижения температуры воздуха ниже +5°С должна предусматриваться установка датчика температуры типа ДТКБ-49, воздействующего на автоматическое включение электроотопления.

14. СБОРНЫЕ ВОДОВОДЫ И ЕМКОСТИ НА ВОДОЗАБОРАХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД [30, 39, 50, 59, 60, 66, 67]

СХЕМЫ СБОРНЫХ ВОДОВОДОВ

14.1. Сборные водоводы на водозаборах подземных вод предназначаются для транспортирования воды от водозаборных (каптажных) сооружений до сборных узлов, а в случаях, когда сборные узлы не проектируются, — до магистральных водоводов или непосредственно до внутриплощадочных сетей потребителя.

Иногда сборные водоводы объединяются с внутриплощадочной сетью водопровода.

По гидравлическому режиму работы сборные водоводы могут быть напорными, самотечными и самотечно-напорными.

Особую разновидность представляют сифонные сборные водоводы (при применении схемы сифонного водозабора) и всасывающие сборные водоводы.

14.2. Схемы сборных водоводов в плане весьма разнообразны и зависят от расположения водозаборных (каптажных) устройств и их оборудования, от расположения сборных узлов, морфологических, геологических и гидрогеологических условий, схемы подачи воды потребителю, категории надежности подачи воды, емкости сборных, запасных и регулирующих резервуаров, материала применяемых труб и др.

Схемы сборных водоводов могут быть линейными (тупиковыми), кольцевыми и парными.

Линейные водоводы наиболее распространены и применяются как при линейных (рис. 69, 70), так и при площадных или кольцевых схемах расположения водозаборных сооружений (рис. 71).

Линейная схема в одну нитку (см. рис. 69) применяется только при концевом расположении сборного узла в случае, если допускаются перерывы в подаче воды потребителю или на узел регулирующих и запасных резервуаров.

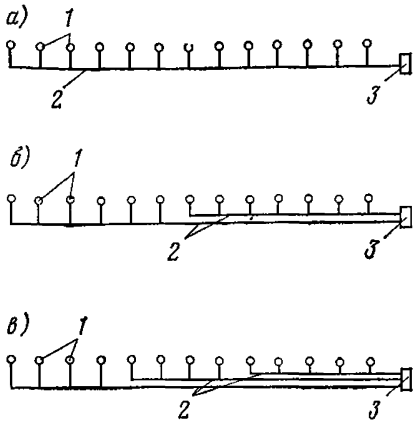


Рис. 69. Схемы линейных (тупиковых) сборных водоводов при линейном расположении водозаборных сооружений и концевом расположении сборного узла

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

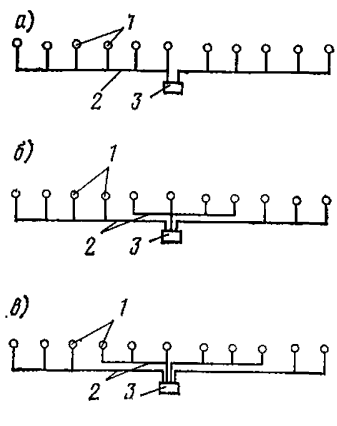


Рис. 70. Схемы линейных (тупиковых) сборных водоводов при линейном расположении водозаборных сооружений и центральном расположении сборного узла

а — в две нитки; *б* — в три нитки; *в* — в четыре нитки; *1* — водозаборы; *2* — сборные водоводы; *3* — сборный узел

Линейные схемы в две и три нитки (см. рис. 69,*б*, *в*; 70,*а*, *б*; 71,*б*) проектируются наиболее часто; при этих схемах в случае выхода из работы одной нитки на ремонт или при аварии обеспечивается подача воды на сборный узел по другим ниткам в размере соответственно 50 и 67% расчетного расхода.

Линейная схема в четыре нитки может быть целесообразной при центральном расположении сборного узла на линейных (рис. 70,*в*) и площадных (рис. 71,*а*) водозаборах.

Для сифонных сборных водоводов применяются обычно схемы с центральным или близким к нему расположением сборного узла и линейными схемами водоводов в две-три-четыре нитки.

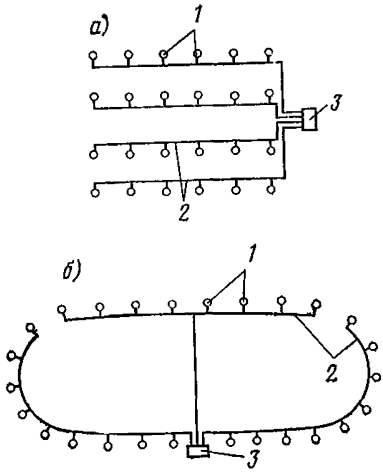


Рис. 71. Схемы линейных (тупиковых) сборных водоводов при площадном (*а*) и кольцевом (*б*) расположении водозаборов

1 — водозаборы; *2* — сборные водоводы; *3* — сборный узел

Кольцевые сборные водоводы могут применяться как при линейных, так и при кольцевых или площадных схемах расположения водозаборных сооружений (рис. 72).

Парные сборные водоводы проектируются при большой производительности водозаборов и относительно коротких сборных водоводах (рис. 73).

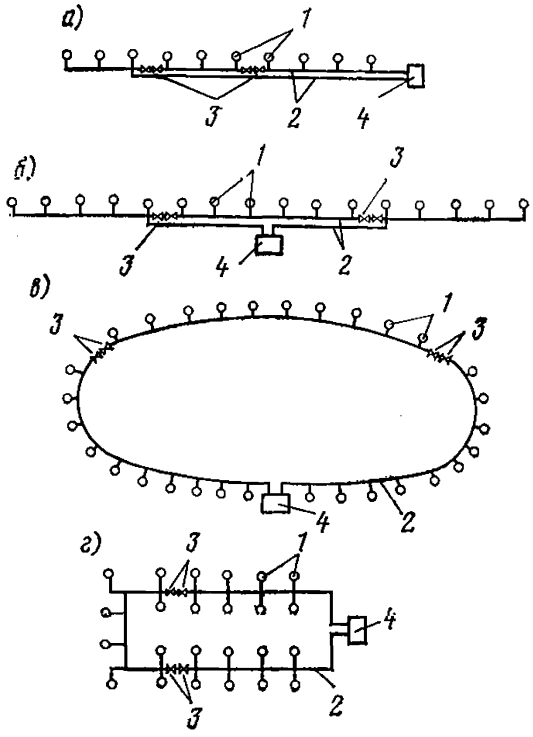


Рис. 72. Схемы кольцевых сборных водоводов

а — при линейном расположении водозаборных сооружений и концевом расположении сборного узла; *б* — при линейном расположении водозаборных сооружений и центральном расположении сборного узла; *в* — при кольцевом расположении водозаборных сооружений; *г* — при площадном расположении водозаборных сооружений; *1* — водозаборы; *2* — сборные водоводы; *3* — задвижки; *4* — сборный узел

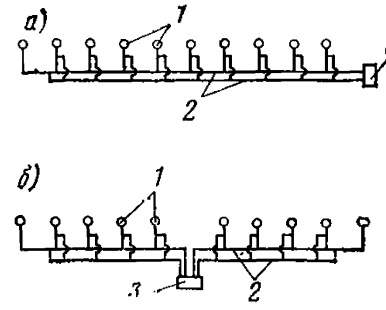


Рис. 73. Схемы парных сборных водоводов

а — при концевом расположении сборного узла; *б* — при центральном расположении сборного узла; *1* — водозаборы; *2* — сборные водоводы; *3* — сборный узел

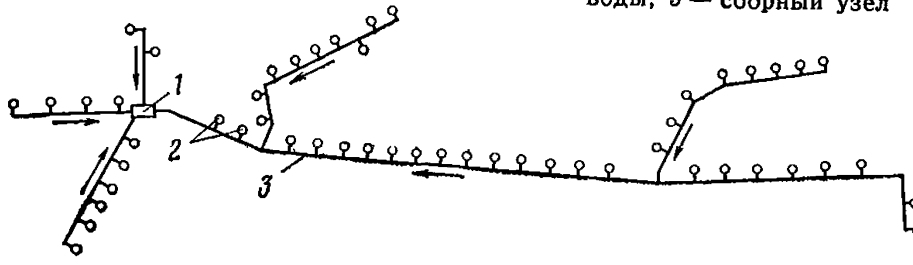


Рис. 74. Схема сборных водоводов Ясханского водозабора

1 — сборный узел; *2* — водозаборы; *3* — сборный водовод

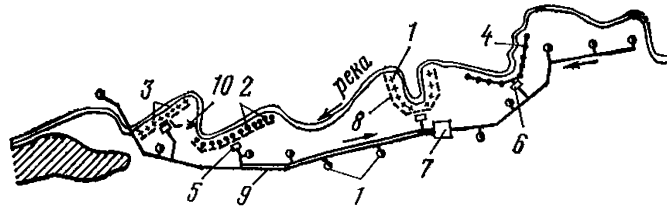


Рис. 75. Схема сборных водоводов водозабора подземных вод в пойме р. Тулвы

1 — скважины для забора воды из коренных отложений, оборудованные насосами; *2* — скважины для забора инфильтрационной воды; *3* — блочные лучевые водозаборы для забора инфильтрационной воды; *4* — горизонтальный водозабор; *5* — трубчатые насосные станции; *6* — насосная станция горизонтального водозабора; *7* — сборный узел; *8* — сифонные сборные водоводы; *9* — напорные сборные водоводы; *10* — резервный водозабор из реки с сифонным водоводом

Выбор схемы сборных водоводов в сложных условиях следует производить на основании технико-экономического сравнения вариантов.

При разработке схем сборных водоводов следует учитывать, что длина их может быть весьма значительной. Так, например, на Ясханском водозаборе (Туркменская ССР) она составляет 15 км, на некоторых других объектах длина водоводов достигает 25 км.

Также допустимо значительное число водозаборных сооружений, подключаемых к одному сборному водоводу. На рис. 74 для примера показана схема сборных водоводов того же Ясханского водозабора подземных вод при сложной схеме расположения водозаборных сооружений. На Ясханском водозаборе к одному сборному водоводу подключено 40 скважин.

Однако могут иметь место случаи, когда сборные водоводы при их большой длине и большом количестве водозаборных сооружений целесообразно подключать не к одному, а к двум и более сборным узлам, от которых по сборным водоводам второго подъема вода подается на центральный сборный узел.

Такое решение, в частности, возникает при проектировании расширения водозаборов подземных вод и при проектировании сифонных водозаборов (рис. 75).

14.3. При выборе схемы сборных водоводов устанавливается положение сборного узла, который может быть концевым, центральным или близким к этим положениям.

Расположение сборного узла зависит в основном от места нахождения потребителя воды по отношению к створу водозабора. В случае когда потребитель воды расположен примерно на продолжении створа водозабора, принимается, как правило, концевое или близкое к нему положение сборного узла. При расположении потребителя в направлении, близком к перпендикуляру от центра водозабора, принимается центральное положение сборного узла.

НАПОРНЫЕ СБОРНЫЕ ВОДОВОДЫ

14.4. Напорные сборные водоводы проектируются наиболее часто. Для устройства напорных сборных водоводов применяются асбестоцементные, пластмассовые, напорные железобетонные, чугунные и стальные трубы. При выборе материала труб следует учитывать требования об экономии металлических труб.

Гидравлический расчет напорных сборных водоводов сводится к определению потерь напора по длине водовода с учетом местных сопротивлений и к построению линии пьезометрических напоров.

Величина гидравлического уклона i определяется по формуле

$$i = \frac{\lambda}{d_p} \frac{v^2}{2g}, \qquad (96)$$

где λ — коэффициент сопротивления трения по длине; d_p — расчетный внутренний диаметр трубы, м; v — средняя скорость движения воды, м/с; g — ускорение силы тяжести, м/с^2.

Зависимости, определяющие значения коэффициента λ, получены в результате опытных исследований, проведенных во ВНИИ ВОДГЕО.

На основании указанных исследований СНиП II-31-74, п. 8.34, рекомендуется определять величину гидравлического уклона при транспортировании воды, не имеющей коррозионных свойств и не

содержащей взвешенных примесей, отложение которых может приводить к интенсивному зарастанию труб, по формулам

для железобетонных, чугунных и стальных труб

при скорости движения воды $v<1{,}2$ м/с

$$i = 0{,}000912\ \frac{v^2}{d_{\text{р}}^{1{,}3}}\left(1+\frac{0{,}867}{v}\right)^{0{,}3}; \qquad (97)$$

при скорости движения воды $v\geqslant 1{,}2$ м/с

$$i = 0{,}00107\ \frac{v^2}{d_{\text{р}}^{1{,}19}}; \qquad (98)$$

для асбестоцементных труб

$$i = 0{,}000561\ \frac{v^2}{d_{\text{р}}^{1{,}19}}\left(1+\frac{3{,}51}{v}\right)^{0{,}19}; \qquad (99)$$

для пластмассовых труб

$$i = 0{,}000685\ \frac{v^{1{,}774}}{d_{\text{р}}^{1{,}226}}. \qquad (100)$$

Здесь $d_{\text{р}}$ — расчетный внутренний диаметр труб, м.

Формулами (97)—(100) — учитывается транспортирование воды с температурой 10°С.

Значения гидравлических уклонов и скоростей течения воды в зависимости от расхода воды и диаметра труб даны в таблицах для гидравлического расчета.

Необходимо также определять потери напора на местные сопротивления, принимаемые в практике в размере 5—10% потерь по длине водовода.

14.5. Выбор диаметров труб сборных водоводов (в особенности больших диаметров) надлежит производить на основании технико-экономических расчетов с учетом работы насосного оборудования на водозаборных сооружениях.

Диаметры напорных водоводов принимаются, как правило, несколько больше расчетных (экономически выгодных) во избежание большой разницы в напорах у водозаборных сооружений, подключаемых к сборному водоводу в начале и в конце сборной линии.

Ориентировочно для сборных напорных водоводов можно принимать скорости 0,4—0,7 м/с для диаметров 100—400 и 0,7—1 м/с — для диаметров 500—1000 мм.

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

Кольцевые сборные водоводы зачастую проектируются одного диаметра по всей длине кольца.

14.7. При гидравлическом расчете напорных водоводов в качестве рабочих принимаются скважины или другие водозаборы, наиболее удаленные от сборного узла. Напорные сборные водоводы оборудуются выпусками для воды в наиболее пониженных точках и вантузами в повышенных точках.

14.8. Переходы напорных сборных водоводов через реки устраиваются обычно в две нитки, а при подключении к последним не

более 25% общего числа водозаборов (каптажей) — в одну нитку. При расположении сборных напорных водоводов на затапливаемых поймах целесообразно проектировать до четырех ниток водоводов или применять парные сборные водоводы.

14.9. Колодцы на напорных сборных водоводах устраиваются в местах установки вантузов, выпусков и задвижек. Как правило, колодцы должны проектироваться сборными железобетонными. При расположении их в мокрых грунтах следует предусматривать гидроизоляцию дна и стен колодца на 0,5 м выше уровня грунтовых вод.

14.10. При расположении колодцев на затапливаемых участках горловины колодцев выводятся на 1 м выше уровня высоких вод с обеспеченностью 1—3% (кроме колодцев над выпусками).

САМОТЕЧНЫЕ СБОРНЫЕ ВОДОВОДЫ

14.11. Самотечная система сборных водоводов применяется при сборе воды от каптажей, самоизливающихся скважин, а также от скважин, оборудованных насосными установками или эрлифтами.

Преимуществом самотечной системы является возможность использования безнапорных бетонных и железобетонных труб, а также безнапорных коллекторов из монолитного бетона и железобетона и других материалов. Для малых диаметров (150—500 мм) могут применяться также асбестоцементные напорные и пластмассовые трубы.

При насосной подаче воды из водозаборных сооружений в самотечную водосборную сеть работа каждой насосной станции не зависит от работы других насосных станций и может быть отрегулирована в зависимости от производительности скважины и насосного оборудования.

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

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

Смотровые колодцы следует устраивать в начале и в конце самотечного сборного водовода и в местах изменения диаметра труб и направления трассы.

На прямолинейных участках смотровые колодцы в зависимости от диаметра труб допускается устраивать на расстояниях 100—500 м.

Подключения водоводов от отдельных водозаборов к сборному водоводу могут быть сделаны различно. На рис. 76,*а* показано подключение трубопровода от отдельного водозабора к сборному самотечному водоводу в смотровом колодце. Такое подключение применяется, как правило, при диаметре сборного водовода до 1000—1200 мм.

При более высоком расположении подключаемого водовода по сравнению со сборным водоводом и при большом диаметре последнего может применяться подключение в шелыгу без смотрового колодца (рис. 76,*б*).

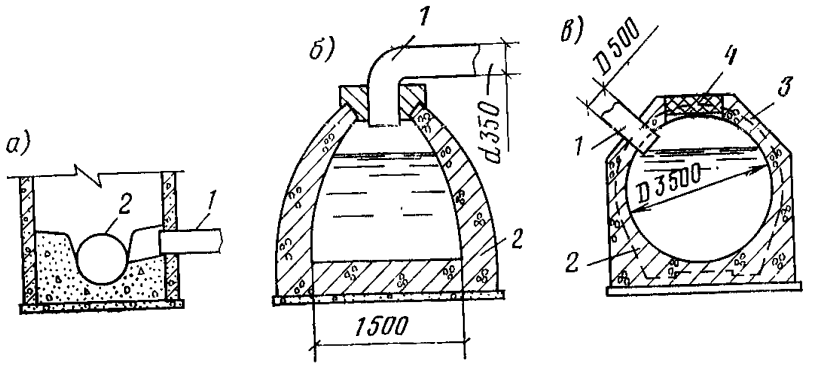


Рис. 76. Схемы присоединения сборных водоводов от водозаборных скважин к сборному самотечному коллектору

а — в смотровом колодце; *б* — в шелыгу (на действующем водозаборе); *в* — в глухом колодце; *1* — водовод от скважины; *2* — сборный самотечный коллектор; *3* — камера глухого колодца; *4* — герметичный люк

Возможно также подключение через глухой колодец, герметичный люк которого устраивается ниже поверхности земли (рис. 76,*в*).

14.13. При пересечении самотечными сборными водоводами оврагов, рек и каналов предусматриваются переходы по эстакадам или дюкерами. Эстакады могут проектироваться под одну, две и более ниток сборных водоводов. Дюкеры в зависимости от требований надежности возможно предусматривать в две нитки для каждого водовода.

В начале и в конце дюкеров проектируются соответственно входная (головная) и выходная (концевая) камеры. При расположении камер дюкера в пределах затапливаемой поймы верх камер и промежуточных колодцев должен быть выше максимального горизонта воды обеспеченностью 1—3% с учетом высоты волны. Разность отметок уровня воды в головном и концевом колодцах должна быть равна или больше суммы потерь напора воды в дюкере. Для случая когда проектируются две нитки дюкера для одной нитки водовода расчет каждой нитки дюкера ведется на расход, равный 70—100% расхода воды по сборному водоводу.

Пересечение сборными водоводами железных и автомобильных дорог I и II категории должно осуществляться в кожухах или тунелях с устройством колодца в головной (более высокой) части перехода и установкой в нем запорных приспособлений (задвижек, затворов или шиберов).

По согласованию с органами Министерства строительства и эксплуатации автомобильных дорог, для самотечных сборных водоводов систем производственного водоснабжения возможно устройство переходов под автодорогами без кожуха по типу труб под автодорогами.

На самотечных водоводах перед запорными устройствами и перед приемными резервуарами должны предусматриваться аварийные выпуски воды.

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

Гидравлический расчет самотечных водоводов производится по формуле равномерного течения воды

$$Q = v\,\omega, \qquad (101)$$

где Q — расход воды, м³/с;

v — средняя скорость живого сечения потока, м/с; ω — площадь живого сечения потока, м².

Скорость при равномерном движении выражается формулой Шези

$$v = c\sqrt{Ri}, \qquad (102)$$

где c — коэффициент Шези, зависящий от шероховатости стенок и дна русла (или водовода), а также от его формы и размеров; R — гидравлический радиус, м:

$$R = \frac{\omega}{\chi}; \qquad (103)$$

χ — смоченный периметр, м; i — гидравлический уклон.

Коэффициент c рекомендуется принимать по формуле Н. Н. Павловского

$$c = \frac{1}{n} R^y, \qquad (104)$$

где n — коэффициент шероховатости, зависящий от материала и состояния русла или водовода; y — показатель степени, зависящий от радиуса R и коэффициента шероховатости n:

$$y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}\,(\sqrt{n} - 0{,}1). \qquad (105)$$

Коэффициент шероховатости принимается по табл. 37.

Как правило, для гидравлического расчета сборных самотечных водоводов применяются имеющиеся таблицы для расчета канализационных самотечных сетей.

Последние составлены различными авторами.

В таблицах А. А. и Н. А. Лукиных расходы в самотечных канализационных коллекторах исчислены по формуле Н. Н. Павловского при n=0,014. В таблицах Г. Л. Зака расходы даны для труб диаметром до 600 мм включительно при n=0,013, а для труб диаметром свыше 600 мм при n=0,014.

Кроме того, имеются таблицы Н. Ф. Федорова и Л. Е. Волкова, в которых расходы в канализационных коллекторах исчислены для стоков с температурой 10°С и мутностью 500 мг/л, при значении коэффициентов, учитывающих шероховатость труб, характер и структуру потока, примерно соответствующих аналогичным величинам в таблицах Г. Л. Зака, т. е. для труб диаметром до 600 мм n=0,013, а свыше 600 мм — n=0,014.

При пользовании указанными таблицами необходимо учитывать, что значения расходов в таблицах Н. Ф. Федорова и Л. Е. Волкова бо́льшие, чем в таблицах А. А. и Н. А. Лукиных и Г. Л. Зака для малых диаметров труб при малых уклонах и при наполнениях 0,5 и выше, а при больших уклонах — при всех наполнениях.

Для больших диаметров (от 700—1000 мм и более) значения расходов в таблицах Н. Ф. Федорова и Л. Е. Волкова несколько меньшие (на 2—3%), чем в таблицах других названных авторов. Имея в виду, что на водозаборах подземных вод по сборным водоводам транспортируется чистая вода (без взвешенных веществ),

Таблица 37

Значения коэффициента шероховатости n

№ п. п.	Характеристика поверхности	Значения коэффициента		
		минимальное	среднее	максимальное
1	Бетонная и железобетонная, обработанная, оштукатуренная или заглаженная одежда:			
	а) при высоком качестве работ — чистая цементная штукатурка и безукоризненно заглаженная поверхность	—	0,011	—
	б) при хорошем качестве работ — поверхность сглажена и выровнена, швы расширения заглажены, при небольшом количестве на трассе закруглений, имеющих большие радиусы, и при отсутствии отложений наносов на дне	0,011	0,012	0,013
2	Простая бетонная или железобетонная одежда без штукатурки и затирки:			
	а) гладкий бетон при хорошо строганной сплоченной опалубке без выступов и впадин, при закруглениях в плане средней величины, без песка и гравия на дне	0,013	0,014	0,015
	б) шероховатый бетон со следами опалубки (впадины, отпечатки), при крутых закруглениях в плане и при наличии отложений гравия и песка на дне	0,015	0,015	0,018
3	Торкретированная поверхность:			
	а) при затирке проволочной стальной щеткой	0,016	0,018	—
	б) без принятия специальных мер	—	0,019	0,021
4	**Трубы** —			
	Керамические и чугунные	0,012	0,013	0,015
	Асбестоцементные	0,011	0,012	0,012
	Бетонные и железобетонные	—	0,014	—

Продолжение табл. 37

№ п. п.	Характеристика поверхности	Значения коэффициента		
		минимальное	среднее	максимальное
	Экструдированные пластмассовые	0,010	—	0,012
	Деревянные	0,013	—	0,015
	Лотки			
	Бетонная облицовка грубая	0,015	—	0,017
	Бетонная облицовка хорошо отделанная	0,012	—	0,014
	Сборные железобетонные лотки	0,012	—	0,015
	Облицовка тесаным камнем	0,013	—	0,017
	Покрытие из асфальтобитумных материалов	0,013	—	0,016

можно рекомендовать производить гидравлический расчет самотечных сборных водоводов из бетонных и железобетонных труб диаметром до 1000 мм по таблицам Н. Ф. Федорова и Л. Е. Волкова, а для расчета водоводов диаметром более 1000 мм целесообразно применять таблицы Г. Л. Зака и А. А. и Н. А. Лукиных.

14.15. В случаях применения железобетонных труб большого диаметра с гладкой внутренней поверхностью с коэффициентами шероховатости самотечного водовода $n<0{,}013$ рекомендуется производить поверочные расчеты по формулам Н. Н. Павловского.

Во всех случаях расчеты выполняются методом подбора: имея, как правило, заданный расход, по таблицам подбирают диаметр водовода, его уклон и наполнение.

14.16. Расчетное наполнение самотечных водоводов надлежит принимать в зависимости от диаметров труб:

150—300 мм — не более 0,6 диаметра трубы
350—450 » » 0,7 » »
500—900 » » 0,75 » »
Свыше 900 » » 0,8 » »

Расчетную скорость движения воды в самотечных водоводах не рекомендуется принимать менее 0,5 м/с и более 5 м/с.

Скорость воды в дюкерах должна быть не менее 1 м/с.

Наименьшие уклоны водоводов для труб диаметром 150 мм — 0,005 и 200 м — 0,003.

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

Схема самотечно-напорного водовода показана на рис. 77.

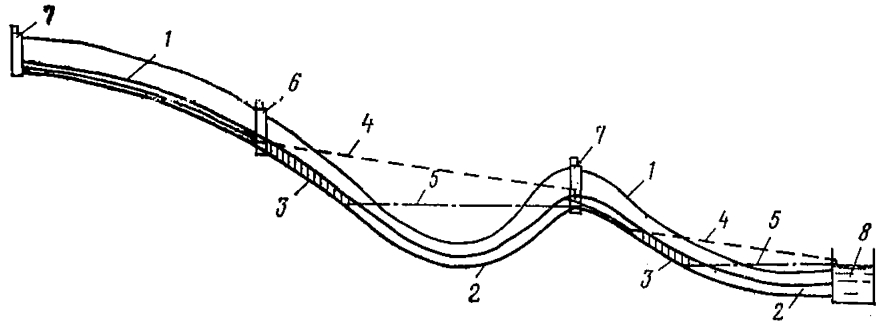


Рис. 77. Схема самотечно-напорного водовода

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

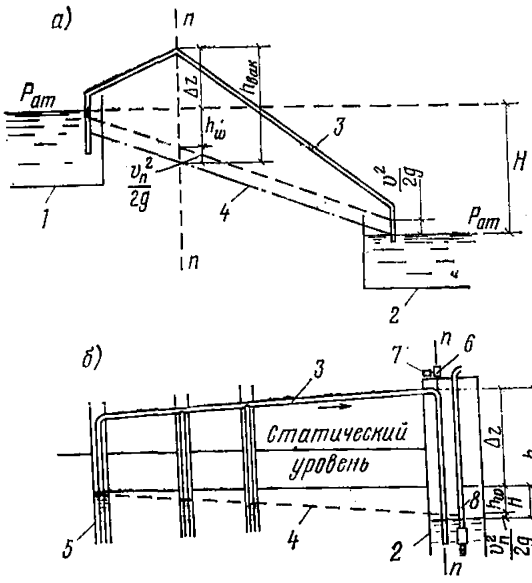


Рис. 78. Расчетные схемы сифонных водоводов

а — для перепуска из резервуара; *б* — для сифонного водозабора из скважин; *1* — головной резервуар; *2* — приемный или сборный резервуар; *3* — сифонная труба; *4* — пьезометрическая линия; *5* — скважина; *6* — вакуум-котел; *7* — вакуум-насос; *8* — погружной насос

Длина напорного участка водовода определяется путем построения пьезометрической линии от перевальной точки или сборного резервуара. При построении пьезометрической линии учитываются также потери напора на излив в резервуар или в концевой колодец, принимаемые равными 1—2 м. Головной и концевой колодцы напорного участка оборудуются вентиляционными трубами (в необходимых случаях — с фильтрами).

СИФОННЫЕ СБОРНЫЕ ВОДОВОДЫ

14.18. Сифонные сборные водоводы обычно применяются на водозаборах с уровнем подземных вод, залегающим не глубже 5—8 м от поверхности земли, и часто проектируются в системах береговых (инфильтрационных) водозаборов. Работа сифонного водовода обеспечивается за счет разницы уровней воды $H = \Sigma h_w$, находящейся под атмосферным давлением в головной и концевой части сифона (рис. 78).

Практически допустимый вакуум в системе сифонного водосбора не должен превышать 7—7,5 м вод. ст. с учетом положения сифона над уровнем моря (остаточный напор не менее 2,5—3 м).

Сифонные сборные водоводы, как правило, устраиваются из

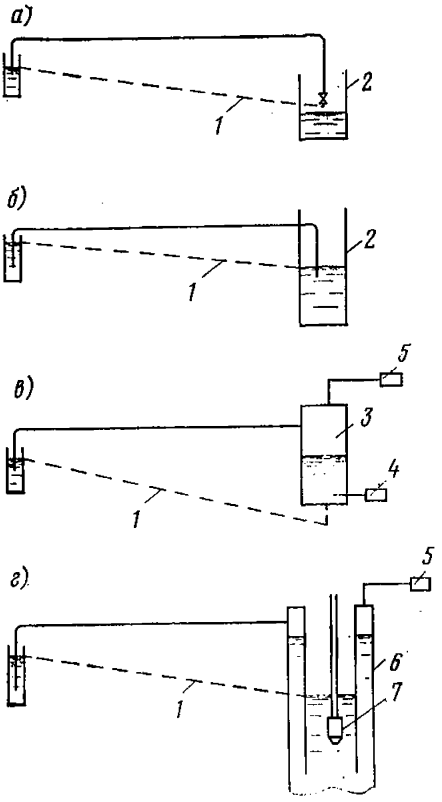


Рис. 79. Схемы концевых устройств сифонных линий

а — при свободном изливе; *б* — при изливе под уровень; *в* — при оборудовании вакуум-котлом; *г* — оборудование вакуум-котлом, сообщающимся с атмосферой; *1* — пьезометрическая линия; *2* — сборный резервуар; *3* — вакуум-котел; *4* — центробежный насос; *5* — вакуум-насос; *6* — вакуум-котел, сообщающийся с атмосферой (трубчатая насосная станция); *7* — погружной насос

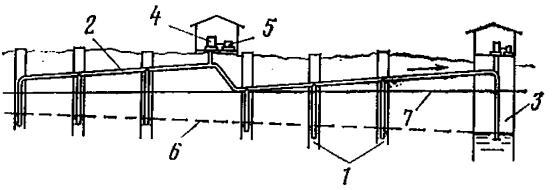


Рис. 80. Сборный сифонный водовод с перепадом

1 — скважины; *2* — сифонный водовод; *3* — сборный резервуар; *4* — вакуум-котел; *5* — вакуум-насос; *6* — пьезометрическая линия; *7* — статический горизонт воды

стальных труб, обеспечивающих наибольшую герметичность водовода. При тщательном выполнении работ возможно строительство сифонных водоводов из чугунных, железобетонных напорных, асбестоцементных и пластмассовых труб.

14.19. По схеме концевого устройства сифонные сборные водоводы могут быть (рис. 79):

а) со свободным изливом воды;
б) с изливом под уровень воды;
в) с закрытым вакуум-котлом;
г) с вакуум-котлом, сообщающимся с атмосферой.

По схеме зарядки сифонные водоводы обычно принимаются с вакуум-насосами.

14.20. По гидравлической схеме водоводы могут быть с подъемом к сборному узлу (с обратным уклоном) или с понижением к сборному узлу (с прямым уклоном). В последнем случае сборный водовод может работать полным сечением (как напорный) или неполным сечением (как самотечный).

14.21. При длинных сифонных водоводах и в случаях, когда местность понижается к сборному узлу, возможна прокладка сифонов с перепадными устройствами (рис. 80). Удаление воздуха, скапливающегося в верхних точках у перепадов, осуществляется вакуум-насосами и эжекторами или с применением специальных устройств для захвата воздуха водой и выведения его в нижний участок водовода.

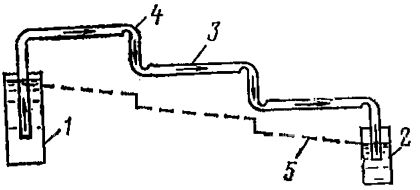


Рис. 81. Сифонный водовод с автоматическим удалением воздуха

1 — головной резервуар; *2* — приемный резервуар; *3* — сифонный водовод; *4* — колено уменьшенного диаметра; *5* — пьезометрическая линия

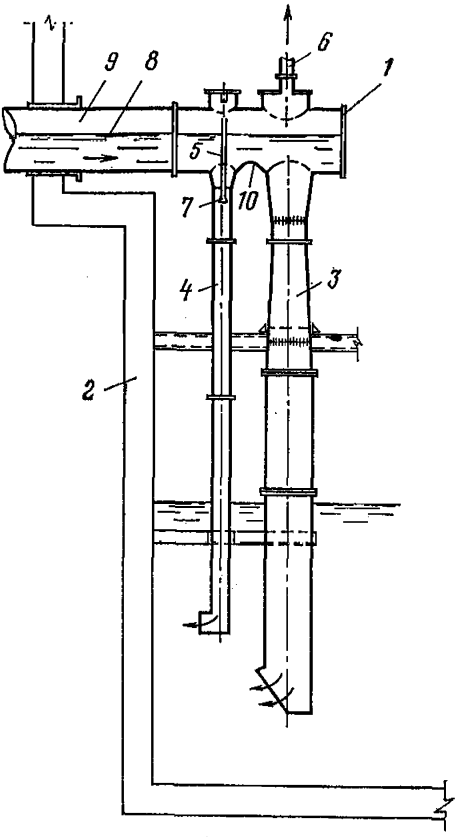


Рис. 82. Устройство для отсоса воздуха в конце сифонного самотечного коллектора

1 — самотечный сифонный коллектор; *2* — сборный резервуар; *3* — труба для сброса воды из коллектора; *4* — эжекторная труба; *5* — подвешенная воздушная трубка эжектора; *6* — трубка к вакуум-насосу; *7* — отверстия по окружности воздушной трубки; *8* — горизонт воды в самотечном сифонном коллекторе; *9* — воздушная полость; *10* — порог в коллекторе

Простейшим из них (рис. 81) является уменьшение диаметра перепадного участка водовода с целью увеличения скорости течения воды до 0,6—1 м/с, при которой происходит увлечение воздуха водой. Такие устройства работают надежно при расчетном расходе воды. В случае, если сифон должен работать с переменным режимом при малых расходах в нем, скорости в перепадных участках будут уменьшаться ниже требуемой величины и будет прекращаться унос воздуха. Для устранения этого предусматриваются двойные перепадные трубы с задвижками (одна из этих труб выключается в период работы сифона с малыми расходами воды).

Другой тип автоматического устройства приведен на рис. 82. Это устройство может применяться на самотечном сифонном водоводе с прямым уклоном, работающем как самотечный коллектор с неполным заполнением трубы. При этом наряду с основной сбросной трубой для удаления воздуха из воздушной полости устраивается специальная эжекторная труба с воздушной трубкой.

14.22. При длинных сифонных сборных водоводах (свыше 0,5—1 км) и при их больших диаметрах предпочтительнее производить удаление выделившегося воздуха с помощью вакуум-насосов. Количество воздуха, которое необходимо удалять из сифона при его работе, определяется содержанием газов в природной воде и в среднем составляет 2,5% (2,5 л газов на 100 л воды).

В сифонных водоводах выделяется примерно 40—60% растворенных газов. Кроме того, в сифонный водовод попадает воздух

через неплотности стыковых соединений труб и арматуры и могут выделяться пары воды.

Общее количество выделившегося воздуха или газов, которое нужно удалять из сифона во время его работы, можно принимать около 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 не должно быть значительным (от нескольких минут до получаса).

14.23. Обычно сифонные водоводы прокладываются с небольшим подъемом к сборному узлу, с уклоном 1:200—1:500. При сифонах длиной в несколько километров (известны сифоны длиной до 7 км) допускается уменьшать подъем до 1:1000—1:4000. Для уменьшения потерь напора по длине сифонного водовода скорости воды в нем при прокладке с подъемом можно снижать 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 целесообразно иметь воздушные колпаки или вакуум-котел. Объем воздушного колпака принимается на 3—5 мин работы вакуум-насоса.

При оборудовании концевого устройства сифонной системы вакуум-котлом емкость его определяется по производительности подключаемых к нему сифонных водоводов на время от 1 до 5 мин и ориентировочно принимается в пределах 5—10 м³. При свободном изливе воды конец сифона должен быть оборудован задвижкой для возможности зарядки сифона. При изливе под уровень конец сифонного водовода следует заглублять на 0,5 м ниже низкого горизонта воды в приемном колодце.

14.24. Регулирование расхода воды по сифонной системе осуществляется регулированием работы насосов, забирающих воду, или при дальнейшем самотечном отводе воды — с помощью задвижек.

14.25. Гидравлический расчет сифонных водоводов производится по формулам напорного и безнапорного (самотечного) движения воды и имеет целью определить диаметры труб, общие потери напора по длине всей сифонной линии и максимальную величину вакуума (обычно в наиболее высокой точке сифонной линии).

Величина вакуума $h_{вак}$ в любом сечении сифона определяется по формуле (см. рис. 78)

$$h_{вак} = \mp \Delta z + \frac{v_n^2}{2g} + \Sigma h_w, \qquad (106)$$

где Δz — высота расположения центра сечения над уровнем воды в головном резервуаре или в наиболее удаленном водозаборе; v_n — скорость в сечении n, м/с; g — ускорение силы тяжести, м/с²; Σh_w — сумма потерь напора по длине сифона и на местные сопротивления, м.

Разность уровней воды в головном и концевом резервуарах, т. е. действующий напор H, определяет общую величину потерь напора в сифонном водоводе и, следовательно, расход сифона.

В случае, если известен расход и действующий напор, расчет ведут подбором, задаваясь диаметрами труб.

При свободном изливе сифона разность уровней воды H принимается между уровнем воды в головном резервуаре и центром

концевого отверстия сифона. При изливе в вакуум-котел разность уровней принимается равной вакууму в вакуум-котле в м.

В случае, если уровень воды в вакуум-котле будет находиться выше ввода сифонного водовода в вакуум-котел, действительный напор будет уменьшаться на величину, равную глубине погружения центра ввода сифонного водовода под уровнем воды в вакуум-котле.

14.26. В некоторых случаях применяются сифонно-напорные системы водоводов (рис. 83).

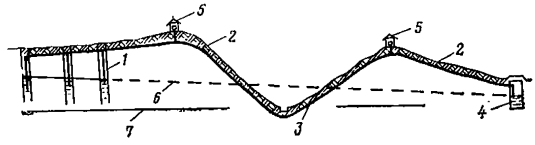


Рис. 83. Схема сифонно-напорного водовода

1 — скважины; *2* — сифонные участки водовода; *3* — напорный участок водовода; *4* — сборный резервуар; *5* — вакуум-насосные станции; *6* — пьезометрическая линия; *7* — горизонтальная плоскость отсчета

Для водозаборов, расположенных на небольшом расстоянии, применяют иногда системы всасывающих водоводов, подключаемых к всасывающим патрубкам насосов.

СБОРНЫЕ, РЕГУЛИРУЮЩИЕ И ЗАПАСНЫЕ ЕМКОСТИ

14.27. На сборных узлах водозаборов подземных вод предусматриваются, как правило, сборные емкости, а в необходимых случаях также регулирующие и запасные емкости для обеспечения неравномерных расходов воды и для хранения противопожарных и аварийных запасов воды.

Емкости по принципу их работы в системе водопровода могут быть напорными (нагорные резервуары, водонапорные башни и колонны, пневматические котлы) и безнапорными (резервуары, из которых вода должна перекачиваться насосами).

Открытые водоемы на водозаборах подземных вод не применяются во избежание загрязнения воды.

В некоторых случаях, например при подаче воды из скважин непосредственно в сеть населенного пункта или промышленного предприятия и при самотечных сборных водоводах, подающих воду в самотечные или самотечно-напорные магистральные водоводы, сборные емкости не предусматриваются.

14.28. Минимальный объем сборной емкости можно принимать на 5—10-минутный расчетный расход воды, подаваемой из этой емкости в водопровод.

Однако, учитывая, что на практике нередко возникает необходимость отстаивания воды, объем сборной емкости рекомендуется принимать в пределах получасового или часового расхода. В сборных емкостях целесообразно также предусматривать мертвый объем в пределах 5—10% общей полезной емкости для накопления осадка.

Накопившийся осадок необходимо удалять из емкостей не реже одного раза в год.

Для смыва осадка проектируется подвод воды с достаточным напором (20—30 м вод. ст.). Отвод смывной воды должен предусматриваться в колодец, из которого шлам может удаляться само-

теком или откачиваться передвижными насосами на площадки для подсушки.

14.29. Регулирующий объем емкости определяется в соответствии с заданным режимом подачи воды и с учетом максимального водопотребления. Расчет емкости производится обычными методами при помощи графиков (ступенчатого или интегрального) или в табличной форме.

Для некрупных хозяйственно-питьевых водозаборов (производительностью до 100 л/с) регулирующий объем в сборных узлах можно принимать равным 10—20% расхода воды в сутки максимального водопотребления.

Объем хранимого противопожарного запаса воды в емкостях исчисляется в соответствии с указаниями СНиП II-31-74.

Аварийные запасы воды на сборных узлах водозаборов подземных вод обычно не хранятся. Однако такой случай возможен при однолинейной схеме сборных водоводов и при подаче воды от сборного узла непосредственно в сеть населенного пункта или промышленного предприятия.

Расчет аварийного запаса ведется согласно требованиям СНиП II-31-74.

При хранении регулирующего и аварийного запасов в емкостях у потребителя на водозаборе предусматривается промежуточный аварийный запас на 1—2-часовой расход по расчетной производительности водозабора. В качестве аварийного запаса может использоваться и объем, предусмотренный на отстаивание воды.

В случае, если система электроснабжения водозаборных устройств (каптажей) имеет другую схему секционирования водозабора, чем это намечено системой сборных водоводов, расчет аварийного запаса должен проверяться на случай аварии на одной из линий электропередачи. Время для ликвидации аварии на линиях электропередачи принимается на ЛЭП 110 кВ — 12 ч; 35 кВ—9 ч; 6 кВ—6 ч; 0,4 кВ — 3 ч.

Количество резервуаров при хранении противопожарных и аварийных запасов принимается не менее двух. При одном резервуаре коммуникации сборного пункта должны допускать подачу воды к потребителю или к насосной станции в обход резервуара.

14.30. Резервуары и водонапорные башни, согласно СНиП II-31-74, надлежит принимать железобетонными. Применение металлических резервуаров не допускается. Для сельских местностей иногда применяются бутобетонные, бетонные и кирпичные резервуары небольшой емкости.

Стволы водонапорных башен допускается строить из металла или местных несгораемых материалов, а для баков применять металл.

Учитывая положительную температуру подземных вод, водонапорные башни во многих случаях проектируются без шатра, а обсыпка резервуаров принимается минимальной.

Резервуары и водонапорные башни, как правило, проектируются по типовым проектам.

15. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ. ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ [20, 29, 42, 43, 50, 56, 59]

ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

15.1. Качество воды хозяйственно-питьевого назначения должно удовлетворять гигиеническим нормам, предусматривающим безопасность воды в эпидемическом отношении, безвредный для здоровья химический состав и благоприятные органолептические свойства.

Требования к качеству хозяйственно-питьевых вод в СССР определяются государственными стандартами ГОСТ 17.1.3.03—77 и ГОСТ 2874—73. Кроме того, ГОСТ 3313—46, 3351—74, 4979—49 и др. регламентируются методы отбора, хранения и транспортирования проб воды, методы определения состава и свойств воды.

15.2. Безопасная в эпидемическом отношении вода не должна содержать болезнетворных бактерий и вирусов. Обычно используются косвенные показатели безвредности воды: 1) степень общего бактериального загрязнения (не более 100 бактерий в 1 мл неразбавленной воды); 2) количество санитарно-показательных микроорганизмов группы кишечной палочки; безвредной считается вода, в 1 л которой содержится не более трех бактерий группы кишечной палочки («коли-индекс» $\leqslant 3$) или одна бактерия приходится не менее чем на 300 см³ воды («коли-титр» $\geqslant 300$).

В отдельных случаях, когда имеются опасения бактериального загрязнения подземных вод, кроме указанных выше косвенных показателей, определяют дополнительно содержание болезнетворных бактерий, кишечных вирусов, яиц гельминтов.

15.3. Безвредность химического состава воды определяется по содержанию веществ, относящихся к двум группам:

1) группа веществ, входящих в состав природных вод, не загрязненных промышленными, сельскохозяйственными, хозяйственно-бытовыми сточными водами;

2) группа веществ, появляющихся в подземных водах в результате загрязнения сточными водами и отходами.

Компоненты и характерные показатели первой группы веществ нормируются в следующих размерах (в мг/л): сухой остаток $\leqslant 1000$, общая жесткость $\leqslant 7$ (мг-экв/л), железо $\leqslant 0{,}3$, медь $\leqslant 1{,}0$, молибден $\leqslant 0{,}5$, мышьяк $\leqslant 0{,}05$, нитраты (по азоту) $\leqslant 10$, свинец $\leqslant 0{,}1$, сульфаты $\leqslant 500$, фтор 0,7—1,5; хлориды $\leqslant 350$, цинк $\leqslant 5$.

В отдельных случаях по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы допускаются повышенное содержание в воде сухого остатка до 1500 мг/л, общая жесткость до 10 мг-экв/л, содержание железа до 1 мг/л.

Указанные выше показатели, а также четыре показателя органолептических свойств воды (запах при температуре 20°С и при подогревании до 60°С $\leqslant 2$ баллов, привкус при 20°С $\leqslant 2$ баллов, цветность $\leqslant 20$ град, мутность $\leqslant 1{,}5$ мг/л, а в паводок до 2 мг/л) подлежат обязательному определению при оценке качества подземных вод.

Согласно ГОСТ 2874—73, ограничивается также содержание в воде химических веществ, которые иногда добавляют в виде реагентов в воду в процессе ее обработки: полиакриламид — до 2 мг/л, остаточный алюминий — до 1 мг/л, гексаметафосфат — до 3,5 мг/л, триполифосфат — до 3,5 мг/л.

Срок введения норм по содержанию бериллия ($\leqslant$0,0002 мг/л), селена ($\leqslant$0,001 мг/л), стронция стабильного ($\leqslant$2 мг/л), урана природного и урана-238 ($\leqslant$1,7 мг/л), радия-226 ($\leqslant 1{,}2 \cdot 10^{-10}$ Ки/л), стронция-90 ($\leqslant 4 \cdot 10^{-10}$ Ки/л), марганца ($\leqslant$0,1 мг/л) перенесен Госстандартом СССР и Минздравом СССР на 1/I 1980 г.

В районах, где имеется опасность загрязнения подземных вод, в их составе дополнительно к указанным выше определяются специфические вещества, характерные для технологических и сточных вод промпредприятий, а также вещества, входящие в состав загрязненных поверхностных и хозяйственно-бытовых сточных вод, сельскохозяйственных ядохимикатов и т. п. К числу таких веществ относятся, например, нефтепродукты, фенолы, поверхностно-активные вещества, аминопродукты, ферроцианиды и цианиды, бензол, хром, ртуть, гексахлоран, ДДТ и многие другие вещества. Их содержание в воде не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), установленных для водоемов санитарно-бытового водопользования и внесенных в списки, публикуемые и часто дополняемые Министерством здравоохранения СССР.

15.4. При обнаружении в отбираемой воде нескольких веществ, каждое из которых нормируется по ГОСТ 2874—73 (за исключением фтора, нитратов, радиоактивных веществ), сумма относительных концентраций, выраженных в долях от максимально допустимых концентраций каждого вещества в отдельности, не должна быть более 1.

15.5. Качество воды в водозаборах систем искусственного пополнения запасов подземных вод (ИПВ) зависит от состава и свойств «сырой» воды источника пополнения и подземной воды эксплуатируемого водоносного горизонта («естественной» подземной воды).

В отдельности сырая вода и естественная подземная вода по составу и свойствам могут отличаться от требований ГОСТ 2874—73, но при обязательном условии, что после их полного или частичного смешения в водоносном пласте и водозаборном сооружении, а также в результате процессов физико-химического взаимодействия сырой воды с подземными водами и породами эксплуатируемого водоносного горизонта отбираемая вода для подачи потребителю приобретает качества, отвечающие требованиям указанного ГОСТа.

Если это не достигается, должна выполняться соответствующая очистка сырой воды (до подачи ее на инфильтрацию) или последующая очистка смешанной воды после откачки ее из водозабора (перед подачей потребителю). Состав и методы производства очистки воды указаны в СНиП II-31-74.

15.6. При проектировании водозаборов подземных вод необходимо ориентироваться не только на показатели качества воды, определенные на участке водозабора в период изысканий, но и иметь прогноз возможного изменения качества воды во времени, так как в условиях эксплуатации водозабора нередко наблюдается ухудшение состава отбираемой воды.

Прогноз качества воды во времени необходим для определения рационального режима эксплуатации и срока действия водозабора, а также размеров зон санитарной охраны.

15.7. По составу и виду загрязнения подземных вод подразделяются на химические (органические и неорганические), биологические, радиоактивные и тепловые.

Наиболее крупная по масштабам инфильтрация загрязненных

вод может происходить на промышленных площадках, из шламо- и хвостохранилищ, из накопителей и испарителей сточных вод, на полях орошения и полях фильтрации.

Ухудшение качества подземных вод может быть связано с привлечением некондиционных или загрязненных подземных вод из удаленных участков эксплуатируемого пласта; подтягиванием высокоминерализованных подземных вод к водозабору из более глубоких частей пласта; привлечением вод из водотоков и водоемов, загрязненных промышленными, хозяйственно-бытовыми, сельскохозяйственными стоками; инфильтрацией загрязненных сточных и атмосферных вод с застроенных промышленных и городских территорий и др.

В отдельных случаях возможно загрязнение водоносного пласта через неисправные водозаборные, разведочные, газовые, нефтяные скважины и другие горные выработки.

15.8. В проекте должны быть освещены источники питания подземных вод, а также существующие и возможные источники загрязнения. Основной эксплуатируемый водоносный пласт, смежные (по разрезу и в плане) водоносные горизонты, связанные с ними ближайшие реки, водоемы, хранилища бытовых и промышленных сточных вод должны быть охарактеризованы в отношении химического состава воды как по основным показателям, нормируемым ГОСТ 2874—73, так и по специфическим показателям, характеризующим сточные воды и промышленные отходы данного района, дренажный и поверхностный сток с сельскохозяйственных площадей и т. п.

ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ (ЗСО) ВОДОЗАБОРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

15.9. Согласно постановлению ЦИК и СНК СССР от 17 мая 1937 г. и СНиП II-34-74, в целях предотвращения загрязнения воды в окрестности водозаборов подземных вод устанавливаются два пояса санитарной охраны: I пояс — зона строгого режима и II пояс — зона ограничений.

В I пояс, предназначенный для исключения возможности случайного загрязнения воды непосредственно в водозаборных сооружениях, включается участок водоприемного сооружения и связанные с ним насосная станция, установка для обработки воды и резервуары.

Границы I пояса располагаются от водозаборных сооружений на расстоянии не менее 50 м при использовании безнапорных водоносных горизонтов и не менее 30 м при использовании артезианских водоносных горизонтов или межпластовых водоносных горизонтов со свободной поверхностью, но перекрытых мощной толщей слабопроницаемых суглинистых отложений.

Санитарное состояние территории I пояса должно соответствовать указаниям СНиП II-31-74.

15.10. На территории II пояса санитарной охраны не должно быть источников загрязнения, в связи с чем здесь, в соответствии со СНиП II-31-74, ограничивается размещение производственных объектов, проведение земляных, горных, строительных работ и применение сельскохозяйственных ядохимикатов.

Состав ограничительных мероприятий должен определяться в каждом отдельном случае с учетом типа водоносного пла-

ста (напорный или безнапорный), источников его питания, степени защищенности от инфильтрации загрязненных вод, типа водозабора и режима его эксплуатации.

15.11. На участках с искусственным пополнением запасов подземных вод в зону санитарной охраны включаются: а) водозаборы на открытых источниках, используемых для пополнения подземных вод; б) водозаборы подземных вод (каптажные сооружения); в) инфильтрационные сооружения (бассейны, отстойники, каналы и т. п.); г) водоводы, насосные станции, установки для прединфильтрационной и последующей обработки воды.

Границы I и II поясов ЗСО открытых водоемов, используемых в качестве источника пополнения подземных вод, а также связанных с ними водоводов и сооружений для обработки воды, устанавливаются в соответствии с указаниями СНиП II-31-74.

Границы I пояса ЗСО подземных водозаборов в системах искусственного пополнения назначаются на следующих расстояниях: от водозаборных (каптажных) сооружений — не менее 50 м, от инфильтрационных сооружений — не менее 100 м.

15.12. Границы II пояса должны находиться на таком расстоянии от водозабора, чтобы загрязнения, попавшие в водоносный горизонт на границе или за пределами этого пояса, не достигли водозабора. В соответствии с этим границы II пояса проводятся в основном по нейтральным (раздельным) линиям тока, которыми оконтуривается в плане область питания (область захвата) водозабора.

На открытых участках области питания водозабора, например вверх по потоку подземных вод, а также для малых водозаборов, рассчитанных на ограниченный срок эксплуатации, граница II пояса (см. рис. 84) размещается так, чтобы химические загрязнения не могли достичь водозабора в течение расчетного срока эксплуатации $t_р$=25—50 лет.

15.13. Для незащищенных водоносных горизонтов (безнапорные пласты, а также неглубоко залегающие напорные пласты, перекрытые трещиноватыми или слабопроницаемыми породами) внутри II пояса, определенного по $t_р$=25 лет, целесообразно выделять санитарную зону против бактериального загрязнения. Расчетный срок для определения границы этой зоны принимается равным 200—400 сут, что соответствует современным представлениям о длительности выживания бактерий в подземных водах:

а) при поступлении бактериальных загрязнений в подземные воды из относительно мало загрязненных открытых водоемов — 200 сут;

б) при наличии массивных и постоянно действующих источников бактериального загрязнения (поля фильтрации, скотоводческие фермы, места поступления неразбавленных сточных вод и др.) — 400 сут.

15.14. В отдельных случаях, когда возможность поступления к водозабору загрязняющих веществ на определенном участке не исключается, должно выдерживаться условие, что в смеси с водой из остальных источников питания, обеспечивающих производительность водозабора, концентрация этих веществ не будет превышать допустимой нормы.

15.15. Помимо ограничительных мер, которые следует осуществлять на территории II пояса, в проекте зон санитарной охраны должны быть отражены мероприятия для локализации и ликвида-

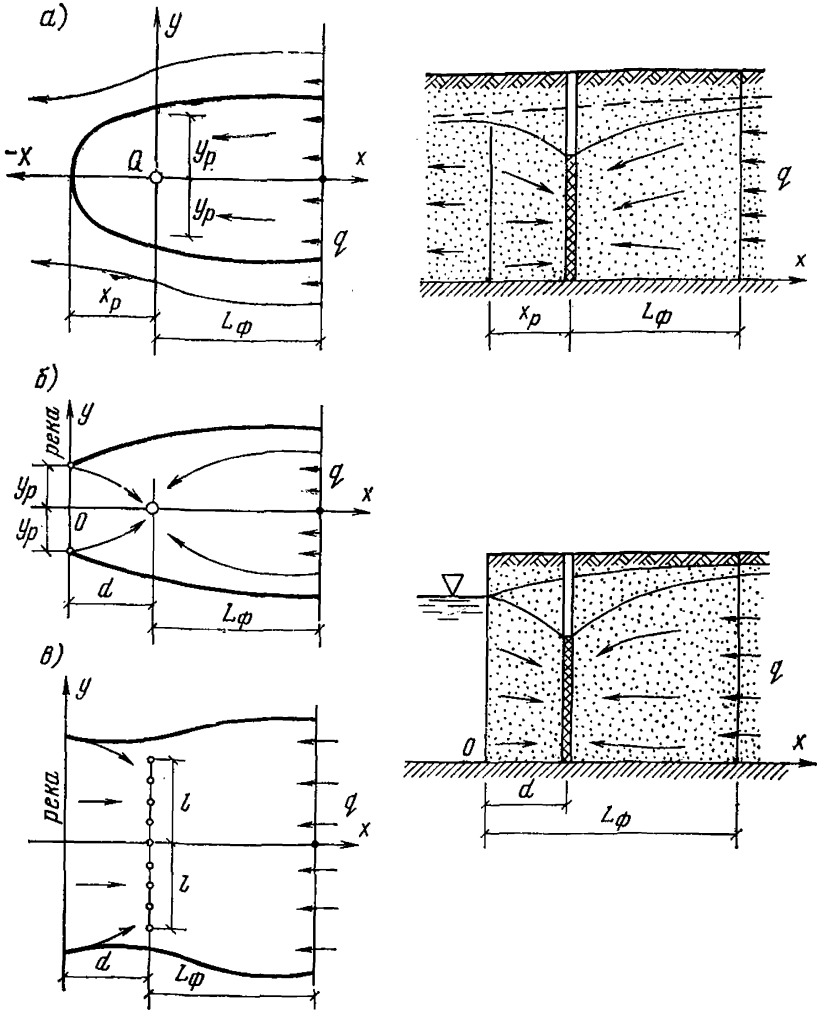


Рис. 84. Схема к расчету характеристик фильтрационного потока при работе одиночного водозабора

а — скважина в удалении от реки с бытовым потоком; *б* — скважина вблизи реки с бытовым потоком; *в* — линейный ряд скважин вблизи реки с бытовым потоком

ции загрязнения подземных вод за пределами II пояса (если такое загрязнение имеет место). Это позволит продлить эксплуатацию водозабора за пределами расчетного 25—50-летнего срока и будет способствовать сохранению запасов пресных подземных вод в целом.

15.16. Гидрогеологические расчеты для обоснования зон санитарной охраны следует выполнять, как правило, по методике, соответствующей методам оценки производительности водозабора в конкретных природных условиях (в отношении выбора расчетной модели, постановки краевых условий и т. д.).

При этом по возможности должны учитываться основные физико-химические процессы взаимодействия различных химических компонентов, поступающих в водоносный пласт извне, с природными водами и породами.

Расчеты размеров зон санитарной охраны должны входить в состав изыскательских материалов, обосновывающих эксплуатационные запасы подземных вод на участках водозаборов.

15.17. Приближенная методика прогноза миграции загрязнений в подземных водах на расстояние L от источника загрязнения может быть сделана на основе следующей общей зависимости:

$$L = L_{\Phi} + 0{,}5\ (L_{гр} + L_{д}), \qquad (107)$$

где L_{Φ} — расстояние от начальной точки движения компонента до фронта фильтрации (рассматривая таковой как фронт «поршневого вытеснения», т. е. только под влиянием конвекции, без учета осложняющих факторов); $L_{гр}$ — длина зоны деформации фронта фильтрации, обусловленной гравитационным эффектом; $L_{д}$ — длина зоны дисперсии.

При длительной фильтрации наибольшие размеры имеет величина L_{Φ}, поэтому для ориентировочных расчетов на ранних стадиях проектирования можно ограничиваться определением этой величины.

Путь фильтрации по любому направлению L_{Φ}, время продвижения вещества t и полная скорость фильтрации $V_{\Phi} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ связываются зависимостью вида

$$\frac{n\,dL_{\Phi}}{V_{\Phi}} = -\,dt, \qquad (108)$$

где n — активная пористость породы.

Из выражения (108) для некоторых наиболее простых расчетных схем фильтрации в районе водозабора получены аналитические выражения, позволяющие вычислить время движения вещества $t_{в}$ к водозабору при его эксплуатации (см. табл. 38 и рис. 84).

15.18. В условиях, характеризующихся фильтрационной неоднородностью пород в плане и в разрезе, сложными геометрическими контурами дренирующих и питающих водоносный пласт объектов (реки, водозаборы, шахтные выработки, фильтрующие накопители сточных вод и др.), изменением во времени интенсивности дренирования и питания, — расчеты времени передвижения загрязненных или минерализованных вод к водозабору выполняются по гидродинамическим сеткам фильтрационного потока.

Для построения сеток применяются численные и трафоаналитические методы, а также моделирование фильтрационного потока на аналоговых приборах и ЭЦВМ.

Расчеты производятся по линиям (полосам) тока, выделяемым на гидродинамических сетках. При этом время продвижения частиц воды по любой линии (полосе) тока к водозабору составляет

Таблица 38

Формулы для определения времени движения загрязнений к водозабору в простейших схемах фильтрации

Схема фильтрации	Координаты характерных точек на нейтральной линии тока	Время движения загрязнений по главной линии тока от сечения $L_ф$ до водозабора
1. Водозабор в удалении от реки с бытовым потоком (рис. 84,*а*)	$x_р = -\frac{Q}{2\pi q}$; $x=0$; $y_р = \pm \frac{Q}{4q}$; $x=\infty$; $y_р = \pm\frac{Q}{2q}$	$t_в = \frac{mn}{q}\left(L_ф - x_р \ln\left\lvert\frac{x_р}{L_ф - x_р}\right\rvert\right)$
2. Водозабор вблизи реки при $\frac{Q}{\pi q} > d$ (рис. 84,*б*)	$y_р = \sqrt{d\left(\frac{Q}{\pi q} - d\right)}$	$t_в = \frac{m n}{q}\left[L_ф - d + \frac{d^2 + y_р^2}{y_р} \times \left(\operatorname{arctg}\frac{d}{y_р} - \operatorname{arctg}\frac{L_ф}{y_р}\right)\right]$
3. Линейный ряд скважин большой длины у реки с бытовым потоком ($l > 2{,}5d$) (рис. 84,*в*)	—	От реки $t_в = \frac{mnd}{q_в - q}$ $\left(q_в = \frac{Q}{2l}\right)$ Со стороны коренного берега ($L_ф > d$) $t_в = \frac{mnL_ф}{q}$

Примечания: 1. Q — расход водозабора, м³/сут; q — естественный поток подземных вод, м²/сут; d — расстояние от водозабора до реки; $L_ф$ — граница между загрязненными и чистыми водами по главной линии тока; $2l$ — длина линейного ряда скважин; m — мощность водоносного пласта; n — активная пористость; $x_р$, $y_р$ — координаты характерных раздельных точек (см. рис. 84).

2. В системах искусственного пополнения $Q = Q_в - Q_б$, где $Q_в$ — полный дебит водозабора, $Q_б$ — расход воды, поступающей из инфильтрационных сооружений.

$$\left.\begin{aligned} t_{\text{в}} &= \sum_{j=1}^{p} \Delta t_j; \\ \Delta t_j &= \frac{\Delta L_j}{V_j}. \end{aligned}\right\} \qquad (109)$$

Здесь p — число отрезков, выделяемых на пути фильтрации $L_{\text{ф}}$; j — номер отрезка; ΔL_j — длина отрезка; V_j — действительная скорость фильтрации на отрезке.

Величины $L_{\text{д}}$ и $L_{\text{гр}}$, входящие в общую формулу (107), в одномерном потоке определяют по зависимостям:

$$L_{\text{д}} \approx 6{,}6 \sqrt{D\,t/n}\,, \qquad (110)$$

где D — коэффициент дисперсии; n — активная пористость;

$$L_{\text{гр}} \approx 2{,}2 \sqrt{(k\,m\,\Delta\bar{\gamma}\cos\varphi)/n}\,, \qquad (111)$$

где k, m — соответственно коэффициент фильтрации и мощность водоносного пласта; φ — угол наклона пласта к горизонту; t — время;

$$\Delta\bar{\gamma} = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_2} \qquad (112)$$

(γ_1 и γ_2 — удельный вес соответственно более тяжелой и менее тяжелой воды).

15.19. Помимо определения времени движения некондиционных или загрязненных вод к водозабору, в задачу прогноза входит оценка концентрации прослеживаемого компонента или общей минерализации воды в водозаборе $C_{\text{в}}$ после прихода загрязненных вод. Для этого используется формула смешения

$$C_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^{k} Q_i\,C_i}{Q}\,, \qquad (113)$$

где Q_i — составляющие дебита водозабора, обеспечиваемые притоком подземных вод отдельных источников питания, например из незагрязненной части естественного потока, из реки, из фильтрующего накопителя, из загрязненного участка естественного потока и др.; C_i — концентрация прослеживаемого компонента (или общая минерализация воды) в тех же источниках питания; Q — суммарный дебит водозабора ($Q = \sum_{i=1}^{k} Q_i$).

16. ОПРОБОВАНИЕ ВОДОЗАБОРОВ. НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ОПРОБОВАНИЕ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПЕРЕД СДАЧЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ И НАБЛЮДЕНИЯ ЗА РЕЖИМОМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

16.1. По окончании строительства отдельных скважин и шахтных колодцев (бурения и оборудования фильтрами) из них производятся строительные откачки. Целью строительных откачек является проверка соответствия фактических величин дебита и понижения уровня проектируемым, оценка качества фильтра и качество воды.

Строительные откачки следует проводить с дебитом, равным или превосходящим проектный.

Продолжительность строительных откачек определяется в зависимости от конкретных гидрогеологических условий и должна быть не менее 2—3 смен.

16.2. На крупных водозаборах после полного окончания строительства сооружений и коммуникаций (включая оборудование водозабора контрольно-измерительными приборами и устройство сети пунктов наблюдений за режимом подземных вод) должно быть проведено опробование всего водозабора в целом.

Опробование и сдача водозаборных сооружений в эксплуатацию должны быть предусмотрены в проекте и проводиться по специальной программе.

Опробование и сдачу водозабора в эксплуатацию производит организация, строящая водозабор (подрядчик), совместно с организацией, принимающей водозабор в эксплуатацию (заказчик), с участием проектной организации.

При необходимости для опробования водозабора и ввода его в эксплуатацию привлекается наладочная организация.

Продолжительность опробования, состав и частота наблюдений за работой водозабора определяются в программе в зависимости от гидрогеологических условий места размещения водозабора, типа и конструктивных его особенностей.

Результаты опробования водозабора должны быть представлены в виде отчета (записки), содержащего краткую гидрогеологическую характеристику участка водозабора, план водозабора, его тип, конструктивные особенности, фактический материал опробования, рекомендации по режиму эксплуатации водозабора.

16.3. В соответствии с «Положением о порядке использования и охраны подземных вод на территории СССР» на водозаборах подземных вод в течение всего периода их эксплуатации должны проводиться режимные наблюдения за уровнями, температурой, химическим составом подземных вод и дебитом водозабора.

Целью режимных наблюдений является:

а) выявление характера изменения естественного режима подземных вод под влиянием водоотбора;

б) определение оптимального режима эксплуатации водозабора;

в) своевременное предупреждение возможного ухудшения качества подземных вод на участке водозабора;

г) оценка влияния эксплуатации водозабора на существующие водозаборы подземных вод, а также на поверхностные водные источники и экологические условия данного района.

16.4. Для производства режимных наблюдений в период эксплуатации водозабора создается сеть пунктов из наблюдательных

скважин, водомерных постов на выходах подземных вод на дневную поверхность, на водотоках и водоемах, связанных с подлежащим эксплуатации водоносным горизонтом. В сеть пунктов наблюдений включаются эксплуатационные водозахватные сооружения (скважины, колодцы и др.), в проекте которых должны быть предусмотрены устройства и приспособления для производства режимных наблюдений (измерения уровней воды, дебитов температуры, отбора проб воды).

16.5. Схема расположения наблюдательных пунктов, их количество, конструкция и частота наблюдений определяются типом подземных вод, условиями питания пласта, санитарным состоянием участка, схемой и конструкцией водозабора и режимом его эксплуатации.

На водозаборах, состоящих из рядов скважин, шахтных колодцев, и на горизонтальных водозаборах (дрены, галереи) наблюдательные скважины в пределах водозабора и в зоне его влияния целесообразно располагать по поперечникам перпендикулярно к линии водозабора из расчета 1—2 поперечника на 1 км фронта водозабора. При значительной длине водозабора (более 5 км) расстояние между поперечниками может быть увеличено до 2—3 км. Одна из наблюдательных скважин на каждом поперечнике должна приходиться на линию водозабора и располагаться между эксплуатационными скважинами. Шаг между наблюдательными скважинами на поперечнике назначается в зависимости от морфологии участка водозабора, мощности эксплуатируемого водоносного горизонта, производительности водозабора, ширины зоны его влияния и может приниматься от 200 м до 2 км.

В долинах рек наблюдательные скважины располагаются более часто вблизи русла реки; иногда их размещают на противоположном ее берегу.

На водозаборах, состоящих из группы любым образом расположенных взаимодействующих скважин, наблюдательные скважины следует размещать между эксплуатационными скважинами и в зоне влияния водозабора. На лучевых водозаборах наблюдательные скважины следует располагать вдоль отдельных лучей водозабора и на площади в зоне влияния водозабора.

При наличии в районе водозабора очагов возможного загрязнения подземных вод наблюдательные скважины располагаются по линиям от очага к водозабору.

Для выявления взаимосвязи эксплуатируемого водоносного горизонта с верхними водоносными горизонтами последние также включаются в режимные наблюдения по специальным скважинам как на участке водозабора, так и в зоне его влияния.

16.6. Конструкции скважин для наблюдений за режимом того или иного водоносного горизонта должны надежно исключать влияние на результаты наблюдений других водоносных горизонтов, а также дождевых и талых вод.

Диаметры фильтров должны быть не менее 3″ (89 мм) из расчета производства в них измерений уровня, температуры, отбора проб воды и чистки скважин.

Для предохранения наблюдательных скважин от засорения верх фильтровой колонны или обсадной трубы должен быть закрыт крышкой.

Все наблюдательные пункты режимной сети инструментально привязываются в плановом отношении и наносятся на топографический план, а замерные точки уровней нивелируются.

16.7. Проект сети пунктов наблюдений за режимом подземных вод и связанных с ними поверхностных вод на участках водозаборов при их эксплуатации составляется одновременно с составлением проекта водозабора, является его составной частью и осуществляется одновременно со строительством водозабора.

В проекте разрабатывается инструкция по производству режимных наблюдений, в которой указываются объект, цель и частота наблюдений за режимом уровня подземных и поверхностных вод, их температурой, качеством воды и производительностью водозабора.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДОЗАБОРОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

16.8. Опыт эксплуатации водозаборов подземных вод показывает, что их проектная производительность может существенно снижаться во времени. Одной из причин этого явления могут быть различные виды кольматажа фильтров и прифильтровых зон водозаборов. Для увеличения срока их службы возникает необходимость проведения мероприятий по декольматации и восстановлению производительности водозаборов. Такие мероприятия должны проводиться систематически и предусматриваться в проекте водозабора.

16.9. Для выявления целесообразности восстановительных работ и периодичности их проведения на водозаборных скважинах необходимо в процессе эксплуатации выполнять опробование скважин для оценки роста их сопротивления в результате кольматации и сопоставления текущих величин сопротивлений с первоначальными.

Наблюдения за изменением сопротивлений и соответственно величины удельного дебита скважины во времени позволяют установить целесообразный период эксплуатации, в течение которого мероприятия по обработке скважины не производятся.

Ориентировочно этот период при эксплуатации водоносных пластов с железосодержащими подземными водами гидрокарбонатно-кальциевого типа может оцениваться по табл. 39.

Таблица 39

Ориентировочная продолжительность межвосстановительного периода

Тип фильтра	Толщина гравийной обсыпки, мм	Межвосстановительный период, мес
Каркасно-стержневой или трубчатый	До 50	6—9
С проволочной обмоткой и гравийной обсыпкой	50—200	8—12
	200—300	12—16
Сетчатый или блочного типа	—	4—6

16.10. Для декольматации и восстановления производительности скважин используются химические, импульсные и комбинированные методы. Наиболее эффективны комбинированные методы регенерации, совмещающие механическое и химическое воздействие на кольматирующие отложения. Наибольшее распространение получили химические и импульсные методы.

Перед обработкой скважин с целью восстановления их производительности необходимо оценить химический состав кольматанта. Проба осадка для анализа может быть отобрана с водоподъемного оборудования, из отстойника после механической чистки скважин,

Таблица 40

Данные об условиях применения различных видов реагентов для восстановления производительности скважин

№ п.п.	Реагенты		Состав осадков, кольматирующих фильтры	Характеристика фильтра и обсыпки
	композиция	концентрация, %		
1 2	HCl NH_2SO_3H	20—25 8	$Fe(OH)_3$, $CaCO_3$, $MgCO_3$ $FeCO_3$, FeS, CuS	Фильтр устойчив в кислоте. Обсыпка кислотостойкая
3 4	$(NaPO_3)_6$ $Na_5P_3O_{10}$	5—8	$Fe(OH)_3$, $CaCO_3$, $MgCO_3$ $FeCO_3$	Фильтр неустойчив в кислоте. Обсыпка содержит известковистые соединения
5	$Na_2S_2O_4$	5—7	преобладает $Fe(OH)_3$	то же
6	$NaHSO_4$	6—8	$Fe(OH)_3$, FeS, CuS	Фильтр и обсыпка кислотостойкие
7	HCl* $Na_5P_3O_{10}$	20—25 0,8—0,5	$Fe(OH)_3$, $CaCO_3$, $MgCO_3$ $FeCO_3$, FeS, CuS	Фильтр устойчив в кислоте. Обсыпка кислотостойкая
8	NH_2O_3H $Na_5P_3O_{10}$	8 0,1	—	то же
9	$NaHSO_4$ $Na_5P_3O_{10}$	6—8 0,1	$Fe(OH)_3$, $CaCO_3$, $MgCO_3$, $FeCO_3$, FeS, CuS	то же

Продолжение табл. 40

№ п. п.	Реагенты: композиция	Реагенты: концентрация, %	Состав осадков, кольматирующих фильтры	Характеристика фильтра и обсыпки
10	HCl $Na_5P_3O_{10}$	20—25 3—24	$Fe(OH)_3$, $CaCO_3$, $MgCO_3$ $FeCO_3$, FeS, CuS	Фильтр и обсыпка устойчивы в разбавленных кислотах
11	HCl HF $Na_5P_3O_{10}$	20—25 5—8 0,8—0,5	SiO_2, Al_2O_3 — до 95% $CaCO_3$, $MgCO_3$ — до 5%	то же
12	HCl H_4HF $Na_5P_3O_{10}$	20—25 3—6 3—2,4	то же	Фильтр устойчив в HCl. Обсыпка кислотостойкая
13	I этап HCl $Na_5P_3O_{10}$	20—25 3—2,4	Преобладает SiO_2 Al_2O_3, $CaCO_3$, $MgCO_3$ до 30%	
14	II этап HCl HF $Na_5P_3O_{10}$ или	20—25 5—8 3—2,4		то же
15	HCl H_4HF $Na_5P_3O_{10}$	20—25 6 3—2,4		
16	$Na_2S_2O_4$ $Na_5P_3O_{10}$	5—7 1	Преобладает $Fe(OH)_3$	Фильтр неустойчив в кислоте. Обсыпка кислотоустойчивая

*Соляная кислота. Для неингибированных кислот добавлять ингибитор; для фильтров с антикоррозионной защитой употребляется соляная кислота.

а также непосредственно с поверхности фильтра, извлеченного на данном водозаборе.

Реагент для химической обработки скважин выбирается в зависимости от состава кольматанта и устойчивости конструктивных элементов скважин против аггрессивного воздействия реагента.

Условия применения различных видов реагентов, апробированных в практике эксплуатации водозаборов, приведены в табл. 40.

Для уменьшения коррозионного действия кислоты на металлические конструктивные элементы скважины применяются ингибиторы — катапин А и катапин К — в концентрациях соответственно 0,5 и 0,05%. При реагентных обработках скважин следует учитывать, что из всех рекомендуемых реагентов наиболее эффективна соляная кислота, близок к ней по растворяющей способности раствор дитионита натрия. Растворяющая способность бисульфата натрия более чем в 2 раза, а триполифосфата натрия — в 100 раз ниже соляной кислоты.

16.11. Опыт восстановления производительности около 500 водозаборных и дренажных скважин, оборудованных фильтрами диаметром 6—10″ и длиной от 10 до 20 м, показывает, что при отборе железосодержащих вод гидрокарбонатно-кальциевого типа и соблюдении межремонтного периода по табл. 39 требуемое количество (в кг) реагента приближенно может быть определено по табл. 41.

Таблица 41

Тип фильтра	Соляная кислота	Подкисленный раствор фосфатов	Раствор		
			фосфатов	дитионита натрия	бисульфата натрия
Каркасно-стержневой, проволочный на перфорированном каркасе	600—800	—	—	600—800	1000—1200
Блочного типа	500—600	1900—2100	2000—3000	500—600	900—1100

16.12. Для восстановления производительности скважин реагентными методами необходимо следующее оборудование: передвижная емкость или баллоны в кислотостойком исполнении для доставки реагента к скважине, заливочная емкость, оголовок для герметизации устья скважины, шланги для подачи реагента из емкости и для отвода продуктов реакции, манометр, эрлифтная система и компрессор производительностью 3—6 м³/мин. Все оборудование для обработки скважин является стандартным, определенную специфику представляет лишь оголовок для герметизации устья. Основные типы оголовков приведены на рис. 85. Монтаж оголовка и технология производства работ детально описаны в специальных рекомендациях и инструкциях.

16.13. При глубоком залегании уровней подземных вод (более 30 м) или установке фильтров большой длины близко к поверхности земли для восстановления производительности скважин на воду может использоваться способ «реагентной ванны» без принудительного задавливания реагента за контур фильтра скважины. Рекомендуемая длительность «реагентной ванны» 10—12 ч.

Таблица 42

Рекомендуемая технология реагентной обработки скважин

№ п. п.	Состав работ	Характеристика процесса					
1	Определение межремонтного периода скважин	Тип фильтра	Толщина гравийной обсыпки, мм	Ориентировочный межремонтный период, мес			
		каркасно-стержневой, проволочный на перфорированном трубчатом каркасе	До 50 50—200 200—300	6—9 8—12 10—12			
		сетчатый и керамический	—	4—6			
2	Выбор реагента	По табл. 40					
3	Расчет количества реагента	Количество реагентов (кг) оптимальной концентрации, ориентировочно в зависимости от вида реагента и типа фильтра					
		Тип фильтра	Соляная кислота	Подкисленный раствор фосфатов	Раствор фосфатов	Дитионит натрия	Бисульфат натрия
		каркасно-стержневой, проволочный, на перфорированном каркасе	600—800	—	—	600—800	1000—1200
		блочного типа, сетчатый	500—600	199—2100	2000—3000	500—600	900—1100
4	Циклическая обработка скважины	Тип фильтра	Давление сжатого воздуха	Время задавливания, мин	Выпуск продуктов реакции		
		каркасно-стержневой, проволочный на перфорированном каркасе	Не свыше 1,5—2 кгс/см²	5 5—10	3 5		
5	Продолжительность обработки	Не более 2 ч					
6	Продолжительность откачки	Контроль по остаточной концентрации реагента и остаточным продуктам реакции Ориентировочно: после кислотной обработки не более 1 ч; после обработки растворами из порошкообразных реагентов не более 2 ч, при удалении 10—15 объемов ствола скважины					

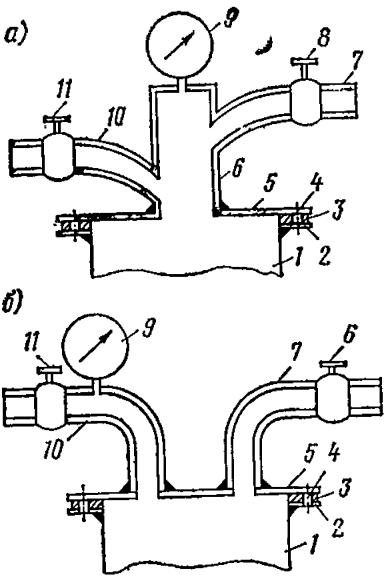


Рис. 85. Конструкция оголовков скважины при реагентной обработке фильтра и прискважинной зоны

1 — обсадная колонна; *2* — нижний фланец; *3* — резиновая прокладка; *4* — отверстия под стягивающие болты; *5* — верхний фланец; *6* — корпус оголовка; *7* — патрубок для заливки реагента; *8, 11* — вентили; *9* — манометр; *10* — патрубок для выпуска продуктов реакции

16.14. Наиболее эффективная регенерация скважин обеспечивается созданием пульсирующего возвратно-поступательного движения реагента в прифильтровых зонах, осуществляемого путем повышения и снятия давления. Общая продолжительность обработки при этом не более 2 ч. В каждом цикле повышения-снятия давления должно обеспечиваться давление 1,5—2 кгс/см² в течение 5 мин для гравийных фильтров и 10 мин. для фильтров блочного типа с последующим сбросом давления в течение 3 и 5 мин соответственно.

Время окончания циклической реагентной обработки при режиме задавливания реагента сжатым воздухом может контролироваться по восстановлению и стабилизации удельного дебита скважины.

После окончания обработки производят демонтаж оголовка, монтаж эрлифта или другого водоподъемного оборудования и прокачивают скважину.

При прокачке из скважины удаляются остаточное количество реагента и продукты реакции. При отсутствии таковых в сбрасываемой воде прокачка прекращается. Для качественной прокачки скважины в общем случае необходимо удаление объема жидкости, равного 10—15 объемам ствола скважины высотой от статического уровня до низа отстойника. Во всех случаях при прокачке скважин при реагентной обработке скважин всасывающая система водоподъемного оборудования должна располагаться в нижней части фильтра.

Рекомендуемая технология производства работ при реагентной обработке скважин отражена в табл. 42.

16.15. С целью интенсификации обработки и восстановления производительности скважин целесообразно применять комбинированные **виброреагентные** методы. В качестве возбудителя низкочастотной вибрации может использоваться вибратор продольно-направленного действия ВУР-2 и ВУР-3 или агрегат вибрационного освоения скважины АВО-1.

Состав работ по монтажу вибрационной установки подробно описан в прилагаемых к установкам инструкциях. Режим виброреагентной обработки включает цикл вибрирования в течение 5—10 мин и цикл выпуска продуктов реакции — 3—5 мин. Общая продолжительность обработки 1,5—2 ч.

16.16. В скважинах, значительное время находившихся в эксплуатации, для эффективного восстановления их производительности рекомендуется производить предварительное разрушение осадка с использованием ударных нагрузок и последующую реагентную обработку. Способ ударного воздействия на скважину определяется конструкцией фильтра. В скважинах, оборудованных фильтрами на основе трубчатых каркасов, можно использовать взрыв ТДШ (не более трех ниток), пневмовзрыв во всем диапазоне изменения давлений, электрогидравлический удар (ЭГУ), имплозию и ультразвуковую обработку. В скважинах с каркасно-стержневыми фильтрами с проволочной обмоткой — взрыв ТДШ (не более двух ниток), пневмовзрыв, ЭГУ, ультразвуковую обработку. В скважинах с сетчатым фильтром — пневмовзрыв с давлением до 60 кгс/см², ЭГУ, ультразвуковую обработку.

В скважинах с пластмассовым фильтром из ПВХ и полиэтилена, а также в скважинах с фильтрами блочного типа ударные способы использовать не рекомендуется.

При самостоятельном применении ударных методов восстановления производительности скважин следует ориентироваться на рекомендуемые величины ударных импульсов, но предусматривать производство работ по регенерации не реже одного раза в 4 мес, т. е. сокращать межремонтный период.

17. СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ [12, 23, 41, 50, 58]

17.1. Проектирование водозаборных сооружений при использовании в качестве источника водоснабжения подземных вод должно сопровождаться технико-экономическими расчетами и обоснованием намечаемого к строительству водозабора по технико-экономическим показателям. Такие расчеты выполняются на разных этапах проектирования.

а) **Выбор источника.** В результате технико-экономического сопоставления на данном этапе устанавливается целесообразность использования подземных вод и их преимущества в технико-экономическом отношении перед открытыми водными источниками (реками, водохранилищами и т. д.).

Кроме собственно количественных показателей, которыми определяется возможность удовлетворения потребности в воде (расход и другие гидрологические параметры для открытых источников и возможный дебит водозабора подземных вод), важнейшим фактором в данном случае является качество воды. При устройстве водозаборов из открытых источников, как правило, предусматривают дорогостоящие очистные сооружения, которые включают обеззараживающие устройства для ликвидации бактериального загрязнения воды, сооружения для механической очистки и осветления воды, а во многих случаях также сооружения для очистки воды от химических загрязнений.

Подземные воды обычно обладают лучшим и более устойчивым качеством. Тем не менее при значительном водопотреблении и особенно в сложных гидрогеологических условиях, когда для добычи

подземных вод необходимы громоздкие дорогостоящие сооружения, а иногда и проведение специальных мероприятий по обеспечению их надежности (например, искусственное восполнение запасов подземных вод), выбор источника не может быть сделан без соответствующих технико-экономических расчетов и обоснования.

При выборе источника водоснабжения необходимо учитывать, что, согласно Основам водного законодательства СССР, использование подземных вод питьевого качества для целей, не связанных с питьевыми и бытовыми нуждами, как правило, не допускается. Вместе с тем СНиП II-23-74 предусматривает максимальное использование для хозяйственно-питьевых водопроводов ресурсов подземных вод, удовлетворяющих санитарно-гигиеническим требованиям, поэтому отказ от использования подземных вод должен быть обоснован.

б) **Технико-экономические расчеты при сравнительной оценке целесообразности использования подземных вод на разных участках одного водоносного горизонта или в разных горизонтах.** Необходимость рассмотрения нескольких участков одного водоносного горизонта или разных горизонтов может возникнуть в связи с различными гидрогеологическими их параметрами. Например, участок с лучшими параметрами, более водообильный может оказаться более удаленным от потребителя. Определяющим фактором может также явиться наличие источников загрязнения подземных вод на тех или иных участках и необходимость проведения в связи с этим специальных мероприятий по защите подземных вод и водозаборов от загрязнения или мероприятий по очистке воды.

Хотя общие запасы подземных вод на рассматриваемых участках и в каждом горизонте достаточны, решение вопроса о размещении водозабора в этих случаях требует технико-экономического обоснования.

Для каждого данного участка подземных вод возникают задачи выбора типа водозабора, расположения скважин, схем сборных водоводов, дорог, электролиний, линий связи, установления размеров отчуждений земельных площадей, ценности сельскохозяйственных культур, объемов сноса и переноса сооружений и др.

в) **Выбор рационального варианта водозабора на принятом и установленном предыдущими проектными проработками участке.** На данном этапе прежде всего решается вопрос о типе водозабора, например нередко гидрогеологические условия позволяют для добычи подземных вод принимать вертикальные скважины или лучевые водозаборы либо только горизонтальные сооружения. Для выбора рационального типа водозабора нужны технико-экономические сопоставления. Применительно к выбранному типу рассматриваются различные схемы расположения отдельных водозаборов, расстояние между ними, режим откачки и т. д.

17.2. В соответствии с «Инструкцией по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительство» (СН 423-71), сравнительная экономическая эффективность при сопоставлении вариантов тех или иных технических решений устанавливается по минимуму так называемых приведенных затрат.

Приведенные затраты $П_i$ представляют собой сумму текущих издержек (эксплуатационных расходов) и единовременных затрат (капитальных вложений), приведенных к годовой размерности в соответствии с установленным нормативным коэффициентом эффективности:

$$П_i = C_i + E_н K_i = \min, \qquad (114)$$

где C_i — текущие издержки или эксплуатационные расходы; K_i — единовременные затраты или капитальные вложения; $E_н$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (величина, обратная сроку окупаемости капитальных затрат).

Указанные величины $П_i$, C_i, K_i относятся к i-му варианту ($i = 1, 2, \ldots, n$; n — общее число рассматриваемых вариантов), причем они могут рассчитываться как полная сумма капитальных вложений и годовых эксплуатационных расходов, так и в виде удельных показателей, отнесенных к 1 м³ воды.

Разность приведенных затрат по двум вариантам характеризует годовой экономический эффект $Э$, получаемый в результате замены одного варианта другим:

$$Э = П_1 - П_2. \qquad (115)$$

При исчислении приведенных затрат по удельным показателям годовой экономический эффект будет равен:

$$Э = (П_1 - П_2)\ A, \qquad (116)$$

где A — годовой объем воды (при исчислении $П_1$ и $П_2$ в удельных показателях).

17.3. В случаях когда по сравниваемым вариантам капитальные вложения производятся в разные сроки или текущие затраты со временем изменяются, сравнение вариантов следует выполнять с приведением затрат более поздних лет к некоторому выбранному базисному году $П_{пр}$ по формуле

$$П_{пр} = П_t \frac{1}{(1 + E_{н.п})^t}, \qquad (117)$$

где $П$ — затраты в t-м году; $E_{н.п}$ — норматив для приведения разновременных затрат, принимаемый равным 0,08; t — период времени приведения, годы.

Численные значения коэффициента $B = \frac{1}{(1+0,08)^t}$ для приведения затрат к базисному году даются в табл. 43.

Таблица 43

Значение коэффициента B

t, годы	B	t, годы	B
1	0,926	11	0,429
2	0,858	12	0,397
3	0,794	13	0,368
4	0,785	14	0,34
5	0,681	15	0,315
6	0,63	16	0,292
7	0,583	17	0,27
8	0,54	18	0,25
9	0,5	19	0,232
10	0,463	20	0,215

Общие капитальные затраты за ряд лет строительства $K_т$ при различных вложениях по годам определяются по формуле

$$K_T = \sum K_t \frac{1}{(1+E_{н.п})^t}, \qquad (118)$$

где K_t — капитальные затраты в году t после базисного; T — период капитальных вложений.

17.4. При сравнении вариантов,, различающихся продолжительностью строительства или вводом мощностей в различные периоды, определяется также одновременный экономический эффект в виде дополнительной прибыли, полученной за период досрочного ввода объектов.

Величина эффекта $Э_в$, реализуемого в соответствующей отрасли народного хозяйства, получаемого за период досрочного ввода объекта, определяется по формуле

$$Э_в = П_р\ (T_1 - T_2), \qquad (119)$$

где $П_р$ — среднегодовая прибыль за период досрочного ввода в действие; T_1 и T_2 — продолжительность строительства по сравниваемым вариантам в годах.

В случае отсутствия данных, необходимых для расчета прибыли, согласно той же Инструкции, допускается определение экономического эффекта по формуле

$$Э_в = E_н Ф\ (T_1 - T_2), \qquad (120)$$

где $E_н$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; $Ф$ — стоимость производственных фондов, досрочно введенных в эксплуатацию.

17.5. Для выявления оптимального по технико-экономическим показателям варианта водозабора подземных вод производятся гидрогеологические расчеты, по которым устанавливаются следующие основные параметры водозаборов, определяющие размеры приведенных затрат: количество водозахватных сооружений (например, скважин, колодцев) n, расстояние между ними l, глубина h и диаметр d, понижения уровня S.

При проектировании водозаборов, как уже отмечалось (см. гл. 2), обычно ставится задача получения определенного дебита $Q_п$ в течение периода T; обе эти величины задаются планируемым водопотреблением.

Но нередко приходится решать задачу о максимальном дебите Q_{max}, который может быть получен за тот же период T в данных гидрогеологических условиях. Следовательно, в обоих случаях должна быть определена зависимость

$$Q = f\ (n,\ l,\ h,\ d,\ S,\ T), \quad Q = Q_п \text{ или } Q = Q_{max}. \qquad (121)$$

При этом понижение уровня не должно превышать допустимого

$$S \leqslant S_{доп}. \qquad (122)$$

Кроме того, общие размеры водозабора $F_в$ не должны превышать выделенной для него площади в пределах водоносного горизонта или всей площади последнего $F_{гор}$:

$$F_в \leqslant F_{гор}. \qquad (123)$$

Таким образом, выбор оптимального варианта водозабора заключается в отыскании минимума приведенных затрат по общей

формуле (114) при соблюдении соотношений (121)—(123). Поскольку дебит водозабора, как видно из соотношения (121), оказывается зависящим от целого ряда параметров, определение оптимального варианта связано с необходимостью рассмотрения многочисленных вариантов. Такого рода задачи относятся к типу так называемых оптимизационных задач (или задач линейного и нелинейного программирования) в области производственного планирования.

17.6. Детальность технико-экономических расчетов зависит от стадии проектирования. При этом технико-экономические показатели определяются на основе сметно-финансовых расчетов, выполняемых при проектных проработках, а при схематическом представлении вариантов — по справочным данным с использованием инструктивно-нормативных материалов.

17.7. Приближенная методика технико-экономической оценки и сравнения вариантов водозаборных сооружений на подземных источниках при проектировании основывается на сокращении числа варьируемых показателей, от которых зависит функция приведенных затрат, или, как ее еще называют, функция цели.

Величина эксплуатационных расходов C определяется затратами на подъем воды из водозаборных сооружений на поверхность C_1, транспортирование воды по трубопроводам до водопотребителя C_2 (здесь учитываются только «внеплощадочные» сооружения, не связанные с распределительной сетью непосредственно на территории размещения водопотребителя), амортизационные отчисления C_3, заработную плату производственного персонала с начислениями на социальное страхование C_4, текущий ремонт, материалы и прочие эксплуатационные расходы C_5. В сумме всеми перечисленными затратами оценивается себестоимость подземных вод, получаемых данным водозабором.

17.8. Стоимость подъема воды на поверхность C_1 зависит от дебита водозабора, высоты подъема воды и потерь напора при движении воды по трубам. Исходя из этого формула для определения C_1 может быть выражена следующим образом:

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= 8760\,\frac{\sigma}{T}\int_0^T N\,dt; \\ N &= \frac{9{,}81\,(H+\Delta H)}{\eta}\,Q, \end{aligned}\right\} \qquad (124)$$

где σ — стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.; N — требуемая мощность насосных агрегатов, кВт; T — расчетный период, годы; Q — расход водозабора, м³/с; $H=S+h_e$ — высота подъема воды (S — понижение уровня от статического; h_e — глубина расположения статического уровня от поверхности земли), м; η — к. п. д. насосного агрегата.

Величина ΔH представляет собой дополнительные потери напора на трение в эксплуатационной колонне труб. В соответствии с установленными в настоящее время положениями, в трубной гидравлике потери напора в трубах можно вычислять по общей формуле:

$$\Delta H = \lambda\,(S+h_e)\,Q^2, \qquad (125)$$

где λ — коэффициент сопротивления, зависящий от материала и диаметра труб и скорости движения воды (табл. 44).

Таблица 44

Расчетные значения коэффициента сопротивления для стальных водопроводных труб, изготовляемых по ГОСТ 8732—70 при толщине стенок 10 мм, при скорости $v \geqslant 1{,}2$ м/с

D, мм	λ	D, мм	λ	D, мм	λ	D, мм	λ
126	106,2	183	14,49	331	0,709	460	0,106
132	82,8	199	9,273	357	0,408	480	0,085
139	62,83	225	4,822	382	0,285	510	0,062
148	44,95	253	2,583	406	0,206	530	0,05
160	29,66	279	1,535	420	0,152	580	0,031
174	18,96	305	0,939	445	0,127	610	0,024

Примечание. Коэффициент сопротивления λ определен при Q, м³/с. При скоростях движения в трубах $v < 1{,}2$ м/с указанные значения λ принимают с поправочным коэффициентом λ_1:

v	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
λ_1	1,41	1,28	1,2	1,15	1,11	1,093	1,06	1,04	1,03	1,02

При установившейся фильтрации подземных вод к водозабору величины Q, H и ΔH не зависят от времени и, следовательно, формула (124) для C_1, с учетом выражений для N и ΔH, может быть представлена в виде

$$C_1 = \frac{8600\,\sigma}{\eta} \sum_{i=1}^{n} Q_i\,(1 + \lambda_i\,Q_i^2)\,(S_i + h_{e\,i})\,. \qquad (126)$$

Однако во многих случаях фильтрация в течение всего периода эксплуатации водозабора является неустановившейся. В этих условиях, принимая дебит Q постоянным (заданным в соответствии с проектируемым водопотреблением), вместо формулы (126) получим:

$$C_1 = \frac{8600\,\sigma}{\eta} \sum_{i=1}^{n} Q_i\,(1 + \lambda_i\,Q_i^2) \left(\frac{1}{T} \int_0^T S_i\,dt + h_{e\,i} \right), \qquad (127)$$

где n — число водозаборов.

Понижения уровня S_i в этих формулах определяются в зависимости от схемы водозабора для различных типов пластов по формулам, приведенным в гл. 6.

17.9. Стоимость транспортирования воды от водозабора до потребителя C_2 обусловливается в основном затратами на электро-

энергию, необходимую для преодоления потерь напора в трубопроводах. Для расчета C_2 используют формулу

$$C_2 = \frac{8600\,\sigma}{\eta} \sum_{i=1}^{n} Q_i \sum_{j=1}^{k} \lambda_{ij}\, l_{ij}\, Q_{ij}^2, \qquad (128)$$

где λ_{ij}, l_{ij} и Q_{ij} — соответственно коэффициент сопротивления, длина и расход воды на j-м участке трубопровода ($j=1, 2, ..., k$; k — общее число участков) на каждом i-м водозаборе.

17.10. Амортизационные отчисления C_3 производятся по установленным нормам к сумме капитальных затрат на строительство водозаборов k_1, их оборудование k_2 (строительство зданий насосных станций, стоимость насосов и т. д.) и на прокладку водоводов k_3. Коэффициенты амортизационных отчислений на указанные капитальные вложения — η_1, η_2, η_3.

Таким образом, расходы, связанные с амортизационными отчислениями, выразятся следующим образом:

$$C_3 = \sum_{i=1}^{n} (\eta_1 k_{1\,i} + \eta_2 k_{2\,i} + \eta_3 k_{3\,i} L_i), \qquad (129)$$

где величины k_1 и k_2 относятся к единичному водозабору (например, скважине); k_3 — средняя стоимость 1 м длины трубопровода; L — общая длина водоводов.

Расходы на заработную плату производственного персонала определяются в соответствии с ведомственным штатным расписанием и установленными тарифными ставками. Отчисления на социальное страхование в среднем принимаются в размере 8% годового фонда заработной платы. В сумме это дает величину C_4.

Наконец, эксплуатационные расходы включают расходы на текущий ремонт, материалы и прочие нужды C_5.

Следует отметить, что затраты C_4 и C_5 составляют малую долю от общих эксплуатационных расходов (как правило, менее 10%). Основной удельный вес составляют затраты на подъем и в редких случаях на транспортирование воды.

17.11. Нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений принимается равным 0,12 (т. е. срок окупаемости примерно 8 лет).

На основании изложенного функцию приведенных затрат можно представить в виде:

$$П = \frac{8600\,\sigma}{T} \left\{ \sum_{i=1}^{n} Q_i \left[(1 + \lambda_i Q_i^2) \left(\frac{1}{T} \int_0^T S_i\, dt + h_{e\,i} \right) + \sum_{j=1}^{k} \lambda_{ij}\, l_{ij}\, Q_{ij}^2 \right] \right\} + \sum_{i=1}^{k} [(0{,}12 + \eta_1)\, k_{1\,i} + (0{,}12 + \eta_2)\, k_{2\,i} + (0{,}12 + \eta_3)\, L\, k_{3\,i}]. \qquad (130)$$

Функция (130) записана для более общего случая неустановившейся фильтрации. При установившемся движении вместо интеграла в первом члене будет величина S_i.

Символом L здесь также обозначена общая длина водоводов:

$$L = \sum_{j=1}^{k} l_j, \qquad (131)$$

где k — число участков водоводов [см. формулу (128)].

Для того чтобы определить оптимальный вариант, необходимо найти минимум функции (130) в зависимости от входящих в нее переменных, т. е. варьируемых величин — числа водозаборов (каптажных сооружений), расстояния между ними, диаметра и др.

17.12. Приближенное решение этой задачи, учитывая, что основную часть приведенных затрат составляет стоимость электроэнергии (поскольку водозаборы подземных вод рассчитываются на весьма длительный период времени), сводится к тому, что при минимизации функции (130) оставляют только одну переменную величину — расстояние между водозаборами. При заданных расходах водозаборов и суммарном их дебите понижение уровня подземных вод и соответственно расход электроэнергии на подъем и транспортирование воды в значительной степени будут определяться расстоянием между водозаборами.

При таком подходе расчет ведется для фиксированного (задаваемого по инженерным соображениям) количества водозаборов (как правило, скважин), их размеров, а также протяженности водоводов. Варьируя последовательно эти величины, можно установить их влияние на результаты технико-экономической оценки водозабора.

Во всех случаях должны выдерживаться ранее указанные ограничения, т. е. расчетное понижение уровня должно быть меньше допустимого ($S \leqslant S_{доп}$), и общая площадь размещения водозаборов не должна выходить из границ используемого участка водоносного пласта или водоносного пласта в целом ($F_в \leqslant F_т$).

В качестве примера расчета по такой методике рассмотрим группу взаимодействующих скважин в однородном напорном водоносном горизонте. Понижение уровня при длительных периодах откачки определим по формуле (см. гл. 6).

$$S_i = \frac{1}{2\pi km} \sum_{j=1}^{n} Q_j \ln \frac{1{,}5\sqrt{at}}{r_{ij}}, \qquad (132)$$

где r_{ij} — расстояние между i-й и всеми остальными j-ми скважинами ($j = 1, 2, ..., n$; n — общее число взаимодействующих скважин).

В результате интегрирования выражения (132) по времени t от 0 до T получим:

$$\frac{1}{T}\int_0^T S_i\, dt = \frac{1}{2\pi km} \sum_{j=1}^{n} Q_j \left(\ln \frac{1{,}5\sqrt{aT}}{r_{ij}} - 0{,}5\right). \qquad (133)$$

Подставляя эту формулу в уравнение (130), получим окончательное выражение для функции приведенных затрат $П$. Чтобы найти минимум функции $П$, нужно продифференцировать ее по варьируемому параметру, в качестве которого, как указывалось ранее, принимается расстояние между водозаборами, и приравнять нулю.

Можно ввести некоторый эталон расстояния между скважина-

ми, например действительное расстояние между любыми двумя скважинами, l_0, так, чтобы:

$$r_{i\gamma} = p_{i\gamma} l_0; \quad l_{ij} = p_{ij} l_0; \quad h_{e\,i} = p_{e\,i}\, l_0, \tag{134}$$

где p_{ij} и p_{ei} — постоянные множители, значения которых зависят от принятой схемы водозабора, а также длины и расположения водоводов.

Тогда минимум функции приведенных затрат составит:

$$\Pi = \min, \quad \text{если} \quad \frac{\partial \Pi}{\partial l_0} = 0; \quad \frac{\partial^2 \Pi}{\partial l_0^2} > 0. \tag{135}$$

Для рассмотренного выше группового водозабора из n скважин в соответствии с уравнениями (130), (133) и (134) нахождение минимума по (135) дает следующий результат:

$$l_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (A_0/2\pi k m) \sum_{\gamma=1}^{n} Q_\gamma / p_{i\gamma}}{\sum_{i=1}^{n} \left[A_0 p_{e\,i} + Q_i \sum_{j=1}^{k} B_0 p_{ij} \right] + \beta\,(0{,}12 + \eta_3)\, k_3 \sum_{j=1}^{k} p_{ij}}, \tag{136}$$

где $$A_0 = Q_i\,(1 + \lambda_i Q_i^2); \quad B_0 = \lambda_{ij} Q_{ij}^2;$$

$$\beta = \frac{\eta}{8600\,\sigma}.$$

Для практических расчетов формула (136) во многих случаях может быть существенно упрощена. Обычно водозаборные скважины имеют большие диаметры, а общая высота подъема в каждой из скважин невелика. В связи с этим часто можно пренебречь потерями напора на трение в эксплуатационной колонне труб, т. е. принять $\lambda_i Q_i^2 = 0$.

Во многих случаях можно не учитывать расходы на транспортирование воды по трубопроводам ввиду незначительного расстояния от системы эксплуатационных скважин до станции II подъема; при этом $B_0 = 0$. Наконец, вполне допустимо считать, что глубина до статического уровня во всех скважинах одинакова, т. е. $h_{ei} = h_e = \text{const}$ и соответственно $p_{ei} = p^* = \text{const}$. С учетом этого получим

$$l_0 \approx \frac{\sum_{i=1}^{n} (Q_i/2\pi k m) \sum_{\gamma=1}^{n} Q_\gamma / p_{i\gamma}}{p^* Q_{\text{сум}} + \beta\,(0{,}12 + \eta_3)\, k_3 \sum_{j=1}^{k} p_{ij}}, \tag{137}$$

где $p_{i\,j}$ и p^* — отношения соответствующих линейных размеров: расстояния между скважинами, длин водопроводов и глубин до статического уровня в скважинах к выбранному стандарту l_0.

Указанные соотношения устанавливают по принятой схеме водозабора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрамов Н. Н.** Водоснабжение. М., Стройиздат, 1974, 480 с.

2. **Абрамов С. К., Бабушкин В. Д.** Методы расчета притока воды к буровым скважинам. М., Госстройиздат, 1955.

3. **Автоматическая** пневматическая насосная станция с установкой ВЧ-7-65. Гипроводхоз, 1973.

4. **Алексеев В. С., Боголюбов К. С., Никольская Е. А.** Отечественный и зарубежный опыт искусственного пополнения запасов подземных вод. Итоги науки и техники. Гидрогеология, инженерная геология, т. 3, ВИНИТИ, М., 1974.

5. **Алексеев В. С., Гаврилко В. М., Гребенников В. Т.** Рекомендации по восстановлению производительности скважин реагентными методами. М., изд. ВНИИ ВОДГЕО, 1975.

6. **Анатольевский П. А., Малоян А. В., Шнееров С. М.** Эксплуатация и ремонт водяных скважин. М., «Недра», 1964.

7. **Анатольевский П. А., Разумов Г. А.** Горизонтальные радиальные скважины. М., «Недра», 1970.

8. **Андрияшев М. М.** Гидравлические расчеты водоводов и водопроводных сетей. М., Стройиздат, 1964.

9. **Арцев А. И.** Определение эксплуатационного дебита инфильтрационных водозаборов. Водоснабжение и санитарная техника, 1964, № 4.

10. **Башкатов В. Н., Роговой Б. Л.** Бурение скважин на воду. М., Колос, 1976.

11. **Биндеман Н. Н., Язвин Л. С.** Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М., «Недра», 1970.

12. **Бондаренко С. С.** и др. Об оптимальном размещении скважин на эксплуатируемом участке подземных вод. «Экономика и математические методы», 1968, т. IV, вып. 1.

13. **Бочевер Ф. М., Лапшин Н. Н.** К вопросу о гидрогеологических расчетах водозаборных скважин в слоистых толщах. Труды ВНИИ ВОДГЕО, 1969, № 22.

14. **Бочевер Ф. М., Лапшин Н. Н., Орадовская А. Е.** Оценка эксплуатационных запасов подземных вод в условиях искусственного восполнения. В сб. Международный геологический конгресс. XXV сессия, Доклады совет. геологов, геология четвертичного периода, М., «Наука», 1976.

15. **Бочевер Ф. М.** и **Веригин Н. Н.** Методическое пособие по расчетам эксплуатационных запасов подземных вод для водоснабжения. М., Госстройиздат, 1961.

16. **Бочевер Ф. М.** Гидрогеологические расчеты крупных водозаборов подземных вод и водопонизительных установок. М., Госстройиздат, 1963.

17. **Бочевер Ф. М.** Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. М.,. «Недра», 1968.

18. **Бочевер Ф. М.** Об оценке интенсивности фильтрации из бассейнов в системах искусственного пополнения подземных вод. Труды ВНИИ ВОДГЕО, вып. 63. Научные исследования в области инженерной гидрогеологии. М., 1977.

19. **Бочевер Ф. М., Лапшин Н. Н., Хохлатов Э. М.** Расчет притока подземных вод к скважинам в долинах рек. «Разведка и охрана недр», № 9, 1968.

20. **Бочевер Ф. М., Орадовская А. Е.** Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнения. М., «Недра», 1972.

21. **Бочевер Ф. М., Орадовская А. Е.** Методические рекомендации по прогнозу распространения промстоков в водоносных пластах. М., Изд. ВНИИ ВОДГЕО, 1974.

22. **Методы** фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем. Под редакцией д. т. н. Н. Н. Веригина, М., «Колос», 1970.

23. **Веригин Н. Н., Михайлова А. В.** К методике технико-экономического расчета прямолинейных рядов водозаборных скважин. Изв. вузов. «Геология и разведка», 1970, № 8.

24. **Волынов М. А.** Расчет трубопроводов с проницаемыми стенками «Гидротехническое строительство», 1977, № 7.

25. **Гаврилко В. М., Алексеев В. С.** Фильтры буровых скважин. М., «Недра», 1976.

26. **Гаврилко В. М., Алексеев В. С., Бессонов Н. Д., Гуркин А. Я., Ткаченко В. П.** Сооружение высокодебитных водозаборных и дренажных скважин. М., «Колос», 1974

27. **Григорьев В. М.** Из опыта эксплуатации инфильтрационных водозаборов. Сб. ВНИИ ВОДГЕО. М., Госстройиздат, 1958.

28. **Григорьев В. М.** Зарубежный опыт искусственного пополнения подземных вод. Труды ВНИИ ВОДГЕО, вып. 9, М., 1964.

29. **Гольдберг В. М.** Гидрогеологические прогнозы движения загрязненных подземных вод. М., «Недра», 1973.

30. **Зак Г. Л.** Таблицы для расчета канализационных коллекторов различных профилей. М., Изд-во. Мин. ком. хоз. РСФСР, 1953.

31. **Инструкция** по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям пресных вод. М. ГКЗ СССР, 1978.

32. **Каменский Г. Н.** Поиски и разведка подземных вод. М., Госгеолтехиздат, 1947.

33. **Коммунар Г. М., Боголюбов К. С.** Некоторые особенности расчета инфильтрационных бассейнов в условиях кольматации и заиления. Труды ВНИИ ВОДГЕО, вып. 63. Научные исследования в области инженерной гидрогеологии. М., 1977.

34. **Куделин Б. И.** Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М., Изд-во МГУ, 1960.

35. **Лапшин Н. Н.** Гидрогеологические расчеты водозаборных скважин с учетом дополнительного питания водоносных пластов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. ВНИИ ВОДГЕО, 1971.

36. **Ловля С. А.** Взрывные работы на водозаборных скважинах. М., «Недра», 1970.

37. **Логинов В. М., Шуссер Л. М.** Справочник по сельскохозяйственному водоснабжению. М., «Колос», 1974.

38. **Лозовой В. Н.** Регенерация фильтрующего слоя медленных фильтров гидравлическим способом. «Гидротехника и мелиорация», 1972, № 5.

39. **Лукиных А. А., Лукиных Н. А.** Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н. Н. Павловского. М., Стройиздат, 1974.

40. **Манукян Д. А., Шестаков В. М.** Методика прогноза производительности водозаборных скважин с периодически меняющимся водоотбором. «Разведка и охрана недр», 1970, № 6.

41. **Методические** положения по расчету сравнительной экономической эффективности методов очистки промышленных сточных вод. Труды ВНИИ ВОДГЕО. М., 1973.

42. **Минкин Е. Л.** Гидрогеологические расчеты для выделения зон санитарной охраны водозаборов подземных вод. М., «Недра», 1967.

43. **Недрига В. П.** Инженерная защита подземных вод от загрязнения промышленными стоками. М., Стройиздат, 1976.

44. **Оводов В. С.** Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение. М., Сельхозгиз, 1960.

45. **Плотников Н. А.** Оценка запасов подземных вод. М., Госгеолтехиздат, 1959.

46. **Плотников Н. А., Сычев К. И.** Оценка эксплуатационных запасов подземных вод с искусственным их восполнением. М., «Недра», 1976.

47. **Плотников Н. И.** Эксплуатационная разведка подземных вод. М., «Недра», 1973.

48. **Плотников С. Б., Гончаров Б. В.** Совершенствование проектирования и строительства лучевых водозаборов. Тезисы докладов и сообщений на Всесоюзной научно-технической конференции в Ростове-на-Дону. М., 1977.

49. **Полубаринова-Кочина П. Я.** Теория движения грунтовых вод. М., Высшая школа. 1977.

50. **Проектирование** водозаборов подземных вод. Под редакцией доктора техн. наук Ф. М. Бочевера. М., Стройиздат, 1976.

51. **Разумов Г. А.** Расчет радиальных систем горизонтальных скважин. Труды лаборатории инженерной гидрогеологии ВОДГЕО, № 4, 1962.

52. **Разумов Г. А.** Горизонтальные скважины конечной длины в водоносном пласте ограниченной мощности. Прикладная механика и техническая физика. М.,. АН СССР, 1961, № 5.

53. **Разумов Г. А.** Глубокий дренаж орошаемых земель с помощью лучевых водозаборов (методическое пособие)., изд. Гипроводхоза, М., 1967.

54. **Разумов Г. А.** Подземная вода. Водозаборные сооружения, дренаж, ирригация. М., «Наука», 1975.

55. **Разумов Г. А., Плотников С. Б.** Опыт устройства лучевых водозаборов. Водоснабжение и санитарная техника. 1974, № 9.

56. **Рекомендации** по проектированию и эксплуатации систем искусственного пополнения запасов подземных вод (ИППВ). Изд. ВНИИ ВОДГЕО, М., 1976.

57. **Рекомендации** по проектированию сооружений для искусственного пополнения подземных вод с целью хозяйственно-питьевого водоснабжения, Изд. АКХ, М., 1976.

58. **Руководящие** материалы для проектировщиков Союзводоканалниипроекта. Насосы, изготавливаемые заводами СССР в 1977 г. Союзводоканалпроект, М., 1976.

59. **СНиП II-31-74**, ч. II, гл. 31. Нормы проектирования. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Госстрой СССР. М., Стройиздат, 1975.

60. **Справочник** проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий. Под редакцией И. А. Назарова, изд. 1, 1967 и изд. 2, переработанное и дополненное, под редакцией И. А. Назарова. М., Стройиздат, 1977.
61. **Сурин А. А.** Водоснабжение. Л., «Кубуч», 1926.
62. **Турк В. И.** Насосы и насосные станции. М., Госстройиздат, 1961.
63. **Усенко В. С.** Искусственное восполнение и инфильтрационные водозаборы подземных вод. Минск, Наука и техника, 1971.
64. **Фаворин Н. Н.** Искусственное пополнение подземных вод. М., «Наука», 1967.
65. **Федоров Н. Ф., Волков Л. Б.** Гидравлический расчет канализационных сетей. Л., Стройиздат, 1968.
66. **Федоров Н. Ф., Курганов А. М.** Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. Л., Стройиздат, 1973.
67. **Шевелев Ф. А.** Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб. М., Стройиздат, 1973 .
68. **Шестаков В. М.** Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа подземных вод. М., Изд-во, МГУ, 1965.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение 3
1. **Общие вопросы использования подземных вод для водоснабжения** . . 5
Официальные документы, регламентирующие использование подземных вод в СССР 5
Общие требования к подземным водам как источнику водоснабжения 6
2. **Классификации запасов (ресурсов) подземных вод и их категории** . . 7
Классификация запасов подземных вод по естественным (генетическим) признакам 7
Классификация эксплуатационных запасов подземных вод по степени изученности и принципы их категоризации 11
3. **Сооружения для забора подземных вод. Стадии проектирования. Требования к материалам изысканий** 15
Состав водозаборных сооружений и их общая компоновка 15
Стадии проектирования, состав и согласование проекта 18
Исходные данные для проектирования водозаборов подземных вод . 20
4. **Водозаборные скважины и шахтные колодцы** 22
Общие данные. Выбор способа бурения скважин 22
Крепление ствола скважины обсадными трубами и изоляция водоносных горизонтов 23
Количество резервных скважин 27
Шахтные колодцы 27
5. **Фильтры водозаборных скважин** 34
Типы и конструкции фильтров 34
Подбор и расчет фильтров 35
6. **Гидрогеологические расчеты водозаборных скважин и шахтных колодцев** 44
Общие положения 44
Расчеты береговых водозаборов (в долинах рек) 46
Расчеты водозаборов в артезианских бассейнах (неограниченные пласты 50
Расчеты водозаборов в ограниченных (закрытых, полузакрытых) водоносных пластах 56
Периодически действующие водозаборы подземных вод 57
Оценка «плановой» (по площади распространения) фильтрационной неоднородности водоносных пластов 60
Учет фильтрационного несовершенства водозаборных скважин и колодцев 64
Учет фильтрационного несовершенства поверхностных водотоков . . 64
7. **Горизонтальные водозаборы** 65
Виды горизонтальных водозаборов и область их применения 65
Конструкции и способы устройства горизонтальных водозаборов . . 67
8. **Гидрогеологические расчеты горизонтальных водозаборов** 75
9. **Лучевые водозаборы** 78
Виды лучевых водозаборов и область их применения 78
Конструкции и способы устройства лучевых водозаборов 80
10. **Расчет производительности лучевых водозаборов** 86
11. **Каптаж источников (родников)** 90
12. **Искусственное пополнение запасов подземных вод (ИППВ)** . . . 96

Общие положения 96
Открытые инфильтрационные сооружения 98
Режим работы бассейнов и определение их производительности . . 100
Закрытые инфильтрационные сооружения 105
Оценка производительности закрытых инфильтрационных сооружений 109
Проектирование и расчет водозаборов в системах ИППВ 112
13. **Насосные станции и контрольно-измерительная аппаратура** 127
Классификация насосных станций 127
Насосные станции для забора воды из скважин 128
Насосные станции на горизонтальных и лучевых водозаборах и каптажах источников 137
Общие требования к строительным решениям и оборудованию насосных станций 140
Производительность насосных станций и полная высота подъема насосов 142
Установки с центробежными насосами типа ЭЦВ с погружными электродвигателями 144
Центробежные скважинные насосные установки с трансмиссионным валом 153
Горизонтальные центробежные насосы 160
Контрольно-измерительная аппаратура (КИП) 162
14. **Сборные водоводы и емкости на водозаборах подземных вод** . . . 164
Схемы сборных водоводов 164
Напорные сборные водоводы 167
Самотечные сборные водоводы 169
Сифонные сборные водоводы 174
Сборные, регулирующие и запасные емкости 178
15. **Оценка качества воды. Зоны санитарной охраны** 180
Требования к качеству подземных вод 180
Зоны санитарной охраны (ЗСО) водозаборов подземных вод . . . 182
16. **Опробование водозаборов. Наблюдения при эксплуатации** 188
Опробование водозаборных сооружений перед сдачей в эксплуатацию и наблюдения за режимом подземных вод при эксплуатации 188
Восстановление производительности водозаборов при эксплуатации . 190
17. **Сравнение вариантов и технико-экономическое обоснование водозаборных сооружений** 197
Список литературы 206

gost.e-ecolog.ru