

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!

Если вы скопируете данный файл,
Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием.
Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству .
Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем.
Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

Федеральное агентство по образованию

**Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет**

А. М. КУРГАНОВ, Е. Э. ВУГЛИНСКАЯ

ВОДОЗАБОРЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Учебное пособие

**Санкт-Петербург
2009**

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор Н. А. Черников (Петербургский университет путей сообщения, кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики); канд. техн. наук, доцент А. П. Авсюкевич (ген. директор ЗАО «Экопром»)

Курганов, А. М., Вуглинская, Е. Э.

Водозаборы подземных вод: учеб. пособие для студентов специальности 270112 – водоснабжение и водоотведение всех форм обучения / **А. М. Курганов**, Е. Э. Вуглинская; СПбГАСУ. – СПб., 2009. – 80 с.

ISBN 978-5-9227-0208-9

В соответствии с программой дисциплины «Водоснабжение. Водозаборные сооружения» рассмотрены вопросы оценки условий водозабора, устройство и конструирование скважины, а также вопросы расчета фильтров и подбора насосов.

Применительно к курсовому проекту приведен пример проектирования скважинного водозабора.

Предназначено для студентов специальности 270112 – водоснабжение и водоотведение всех форм обучения.

Табл. 13. Ил. 26. Библиогр.: 12 назв.

Рекомендовано Редакционно-издательским советом СПбГАСУ в качестве учебного пособия

ISBN 978-5-9227-0208-9

© **А. М. Курганов**, Е. Э. Вуглинская, 2009
© Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Водоснабжение. Водозаборные сооружения» в соответствии с образовательным стандартом высшего профессионального образования изучается студентами специальности 270112 – водоснабжение и водоотведение – всех форм обучения.

В соответствии с учебным планом и рабочими программами, действующими в СПбГАСУ, дисциплина «Водоснабжение» разделена на три части, каждая из которых изучается в отдельном семестре.

Программа второй части дисциплины «Водоснабжение» – «Водозаборные сооружения» включает изучение источников водоснабжения, условий забора воды из поверхностных и подземных вод.

Материалы этой дисциплины базируются на знаниях, полученных при изучении геологии, механики грунтов, гидравлики, гидрологии, насосов и насосных станций и ряда других дисциплин.

В процессе изучения дисциплины студенты выполняют курсовой проект по проектированию водозаборных сооружений населенного пункта.

Настоящее учебное пособие предназначено для оказания практической помощи в изучении дисциплины и правил проектирования водозаборных сооружений из подземных вод, в том числе при разработке курсового и дипломного проектирования.

Пособие разработано в соответствии со сложившейся практикой преподавания дисциплины на кафедре водоснабжения СПбГАСУ (ЛИСИ) и с учетом требований действующих нормативных документов и новых тенденций в области проектирования и строительства водозаборных сооружений.

Учебное пособие состоит из теоретической части и примера.

В теоретической части приведены теоретические основы и правила проектирования водозаборных сооружений из подземных вод.

В примере показаны порядок и основные приемы проектирования водозабора подземных вод.

Введение

Подземными называют **воды**, находящиеся в толще земной коры во всех физических состояниях. Для водоснабжения используется свободная вода, заполняющая поры фильтрующих грунтов и передвигающаяся под действием силы тяжести.

По условиям залегания подземные воды могут быть разделены на верховодку, грунтовые и артезианские (рис. 1).

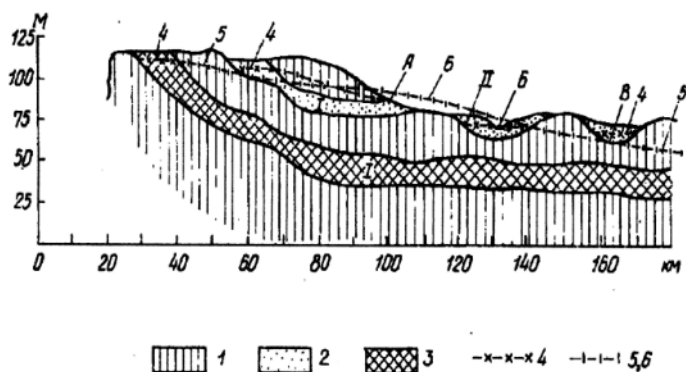


Рис. 1. Схема залегания подземных вод:

1 — глины; 2 — пески; 3 — трещиноватые известняки; 4 — уровень безнапорных вод; 5 — уровень напорных вод; 6 — то же выше уровня земли; А — восходящий источник; Б — река; В — бассейн грунтовых вод; I — артезианский водоносный горизонт, II — грунтовые воды в аллювиальных отложениях

Верховодкой называют временное скопление подземных вод в зоне аэрации, обычно в виде отдельных разобщенных линз, образующихся от просачивания талых снеговых или дождевых вод. Запасы их, как правило, незначительны, зависят от количества и времени выпадения осадков и легко загрязняются сточными водами с поверхности земли. Для централизованного водоснабжения такие воды обычно не используются.

К **грунтовым** относятся все неглубоко залегающие безнапорные или с местным напором подземные воды, имеющие сток. Они характеризуются значительными запасами воды, мало зависят от поверхност-

ных осадков, имеют в течение года почти постоянную температуру, защищены от попадания загрязнений с поверхности земли. Грунтовые воды достаточно широко используются для централизованного водоснабжения населенных пунктов.

Артезианскими называются находящиеся под напором подземные воды, заключенные между водонепроницаемыми пластами и заполняющие расположенную между ними водопроницаемую породу или циркулирующие по трещинам. Они надежно защищены от поверхностных стоков водонепроницаемыми породами. Запасы артезианской воды значительны и устойчивы, вода имеет постоянную температуру, богата минеральными примесями без каких-либо признаков загрязнения. Пресные артезианские воды наиболее предпочтительны для целей централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов.

Сосредоточенный естественный выход подземных вод (артезианских или грунтовых) на дневную поверхность называется **родником или ключом**. Если родники питаются за счет безнапорных вод, то поступление воды к ним является нисходящим, а если за счет напорных вод — восходящим.

Запасы подземных вод подразделяются на естественные и эксплуатационные.

Естественные запасы — это количество воды, содержащееся в водоносных пластах в естественном состоянии, не нарушенном эксплуатацией водозаборных сооружений.

Эксплуатационные запасы — это то количество подземных вод, которое может быть получено из водоносного пласта рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями при заданных режиме эксплуатации и качестве воды, удовлетворяющих требованиям потребителей в течение всего расчетного срока водопотребления. Именно эксплуатационные запасы подземных вод учитываются в балансе при разработке проектов водоснабжения из подземных источников.

Подземные воды добывают специальными устройствами — водозаборами различных типов с учетом условий залегания подземных вод, их форм и обеспечения потребного расхода в течение расчетного срока, а в ряде случаев и в перспективе.

Хозяйственно-питьевое водоснабжение имеет приоритет перед другими потребителями подземных вод. Это обусловлено высоким качеством пресных подземных вод и их лучшей защищенностью от загрязнения.

Наиболее распространенным типом водозахватных устройств являются скважины. Их применяют в самых разнообразных условиях для добычи подземных вод из водоносных пластов мощностью больше 5-6 м, залегающих на глубинах от 10 до 1000 м.

Сооружение скважины – это процесс, при котором выполняется ряд операций и работ, связанных с бурением ствола и закреплением его стенок, с помощью комплекса машин и приспособлений, называемого буровой установкой.

Студенты специальности 270112 – водоснабжение и водоотведение – должны приобрести навыки применения полученных знаний по специальному курсу для проектирования водозаборов подземных вод, как альтернативного варианта водозаборов из поверхностных источников.

1. ВЫБОР СХЕМЫ И СИСТЕМЫ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Системы питьевого водоснабжения из подземных источников включают в себя комплекс инженерных сооружений и их элементов, необходимых для забора подземных вод из водоносных горизонтов, подъема, подачи и распределения воды

В зависимости от конкретных условий для приема подземных вод могут применяться шахтные колодцы, горизонтальные водосборные открытые или закрытые дрены (горизонтальные водозаборы), горизонтальные скважины-лучи (лучевые водозаборы), комбинированные водозаборы, каптажи источников (родников) и трубчатые буровые колодцы (скважины).

Шахтные колодцы используются для приема воды из относительно неглубоко залегающих (до 30 м) безнапорных или слабонапорных (реже напорных) водоносных пластов.

Шахтные колодцы представляют собой вертикальные выработки с большими размерами поперечного сечения (1–3 м) и относительно небольшой глубиной (до 30 м). Применяются эти колодцы чаще всего для забора воды из безнапорных водоносных пластов в системах водоснабжения небольшой производительности.

Шахтный колодец (рис. 2) состоит из водоприемной части, ствола и наземной части (оголовка). Часто для создания запаса воды и ее отстаивания внизу шахтного колодца устраивают отстойную часть (зумпф), глубина которой может достигать 10 м. Оголовок должен возвышаться над поверхностью земли не меньше чем на 0,8 м и закрываться крышкой. Такой колодец оборудуют вентиляционной трубой, которую выводят выше поверхности земли не меньше чем на 2 м.

Для предохранения воды от загрязнений вокруг колодца устраивают глиняный замок глубиной 1,5–2 м, шириной 0,5 м, закрытый сверху отмосткой.

Выполняют шахтные колодцы из кирпича, дерева, бетона и железобетона. Наибольшее распространение получили колодцы, выполняемые из сборных железобетонных колец диаметром 1 м при помощи агрегатов КШК.

В зависимости от гидрогеологических условий и глубины шахтного колодца забор воды устраивают только в его стенах, только в дне или в стенах и дне.

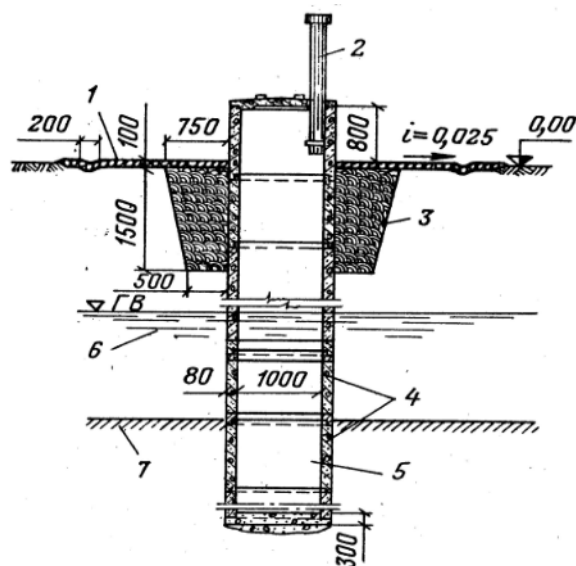


Рис. 2. Шахтный колодец:
1 – отмостка; 2 – вентиляционная труба; 3 – глиняный замок; 4 – железобетонные кольца (в зоне приема воды с вставками из пористого бетона); 5 – отстойник-накопитель (зумпф); 6 – водоносный грунт; 7 – водоупорный грунт

Горизонтальные водозаборы (горизонтальные водосборы) бывают **траншейными** (рис. 3): каменно-щебеночными и трубчатыми, а также в виде галерей или штолен, водоприемная часть которых расположена горизонтально. Каменно-щебеночные водозаборы применяют при захвате подземных вод на глубине 2–3 м от поверхности земли, преимущественно для временного водоснабжения; трубчатые – при глубине залегания подземных вод до 4–5 м, водосборные галереи – на глубине более 6–8 м.

Горизонтальные водосборы **трубчатого типа** (рис. 4) состоят из водоприемной части (горизонтальной дрены), водоотводящей (водо-

проводящей) части, смотровых и вентиляционных колодцев и сборных резервуаров.

Применяются они для забора воды при малой глубине водоносного пласта (до 5–8 м) и малой его мощности. Горизонтальные водосборы наиболее эффективны при необходимости перехвата широкого потока подземных вод в речных долинах.

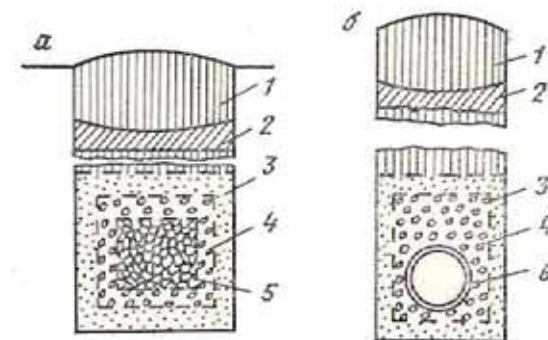


Рис. 3. Траншейные водосборы:
а – каменно-щебеночный; б – трубчатый; 1 – обратная засыпка траншеи местным грунтом; 2 – глиняный замок; 3 – крупнозернистый песок; 4 – гравий; 5 – камень; 6 – дренажная пористая труба

Горизонтальный трубчатый водозабор целесообразно сооружать в открытом котловане при добыче подземных вод из пологих водоносных горизонтов малой мощности (до 5 м), подошва которых располагается на уровне не ниже 10 м от уровня поверхности земли.

Проектирование **водозаборов подруловых вод** должно проводиться по данным предварительных качественных и количественных исследований подземных вод в сочетании с опытной откачкой воды.

Лучевые водозаборы (рис. 5) являются разновидностью горизонтальных водосборов и состоят из системы горизонтальных скважин-лучей, радиально присоединенных к сборному шахтному колодцу. Их применяют для добычи воды из водоносных пластов мощностью 3–20 м, залегающих как вблизи поверхности земли или под дном водотока (водоема), так и на глубине до 15–20 м от дневной поверхности. Лучевые водозаборы устраивают в песчано-галечных отложениях с содержанием

валунов меньше 10 %, но 60 % фракций в грунте должно быть меньше 70 мм. Гидрохимическая среда должна исключать возможность колюматации пород водоносного пласта в прифилтровой зоне и самих фильтров солями различного состава.

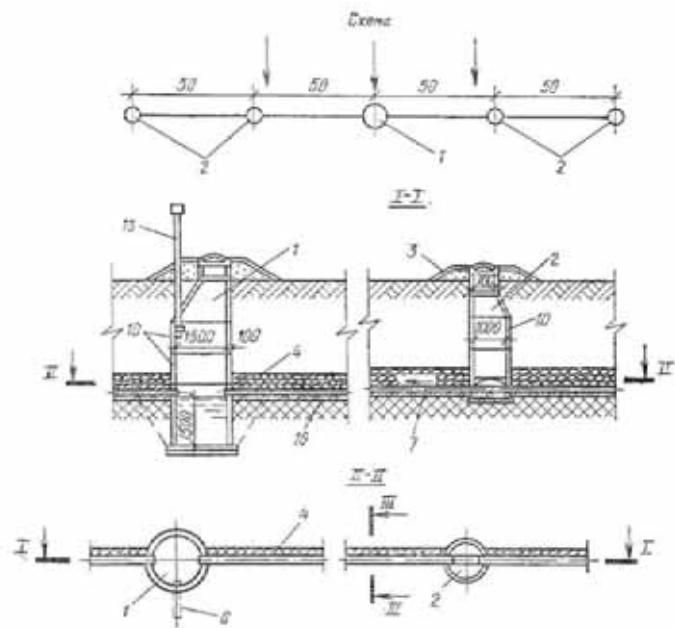


Рис. 4. Горизонтальный водозабор трубчатого типа:
1 – сборный колодец; 2 – смотровой колодец; 3 – одерновка;
4 – дренажная обсыпка (галька); 6 – переливная труба; 7 – дренажная водосборная труба; 10 – железобетонные кольца;
13 – вентиляционная труба; 16 – водоупорный пласт

Филтровые лучи имеют обычно диаметр 80–250 мм и длину 5–80 м. Их конструкция зависит от характера водоносных пород и способа производства работ. Лучи прокладывают из шахтного колодца методами прокола или горизонтального бурения.

Ориентировочно считают, что при $kM < 0,02$ (k – коэффициент фильтрации, м/с, M – мощность водоносного пласта, м) целесообразно применять лучевой водозабор, при $kM > 0,02$ – скважину или шахтный колодец. Эта оценка в какой-то степени справедлива для сравнения горизонтальных и вертикальных водозаборных сооружений вообще.

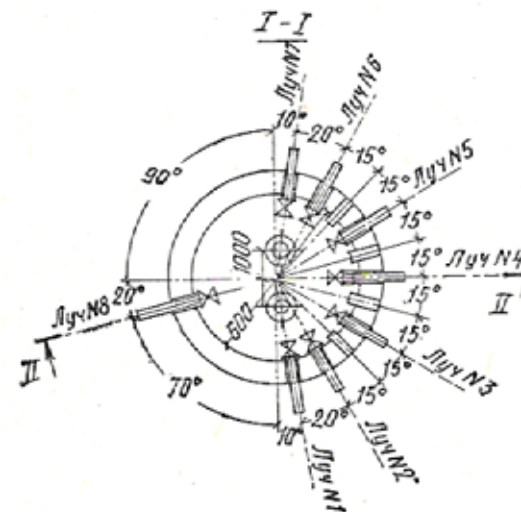
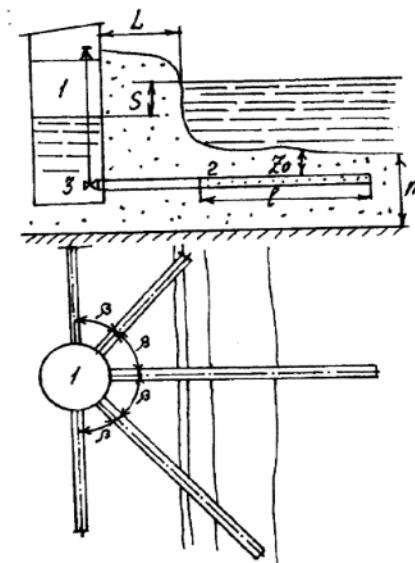


Рис. 5. Схема лучевого водозабора:
1 – шахтный колодец; 2 – лучи (филтровые пористые трубы); 3 – задвижка

Комбинированные водозаборы – это горизонтальные галереи с рядом вертикальных скважин или шахтные колодцы с трубчатыми горизонтальными водосборами. Применяют их при необходимости забора воды из неглубоко расположенных маломощных пластов или подрусловых вод с одновременным использованием глубоко расположенных водоносных горизонтов, если эти пласты в отдельности не обеспечивают расчетной производительности водозабора, либо по технико-экономическим показателям.

Каптаж представляют собой сооружения по сбору подземных вод для использования естественных их выходов на дневную поверхность из различных пород.

Родники, или ключи, представляют собой естественный выход подземных вод на поверхность. Высокие санитарные качества воды, а также относительно простые способы получения родниковой воды привели к широкому использованию ее для целей питьевого водоснабжения. Наряду с громадным количеством мелких населенных пунктов, использующих родниковую воду, даже ряд крупных городов имеет системы водоснабжения, основанные на питании их водой родников. Для крупных водопроводов обычно используется одновременно несколько групп мощных родников.

Родники бывают двух типов: *восходящие* и *нисходящие*. Первые образуются при проникании в поверхностные слои грунта напорных вод в результате нарушения целостности перекрывающих их водонепроницаемых пород. Вторые образуются в результате выклинивания на поверхность земли безнапорных водоносных пластов, покоящихся на водонепроницаемых породах.

При строительстве сооружений для приема родниковой воды необходимо обеспечить возможно более полный захват родника, расчистить места выхода воды и создать приемный резервуар, из которого вода может подаваться потребителю. Сооружения для приема родниковых вод получили название каптажных сооружений, а процесс сбора родниковой воды называют каптажем родников.

Для каптажа восходящих родников (рис. 6, а) водоприемные сооружения выполняются в виде резервуара или шахты, сооружаемых над местом наиболее интенсивного выхода родниковой воды. Собранная вода отводится к потребителю самотеком или к насосной станции по трубе 2. Во всех видах сооружений для сбора родниковой воды должна быть исключена возможность образования подпора поступающей из грунта воды.

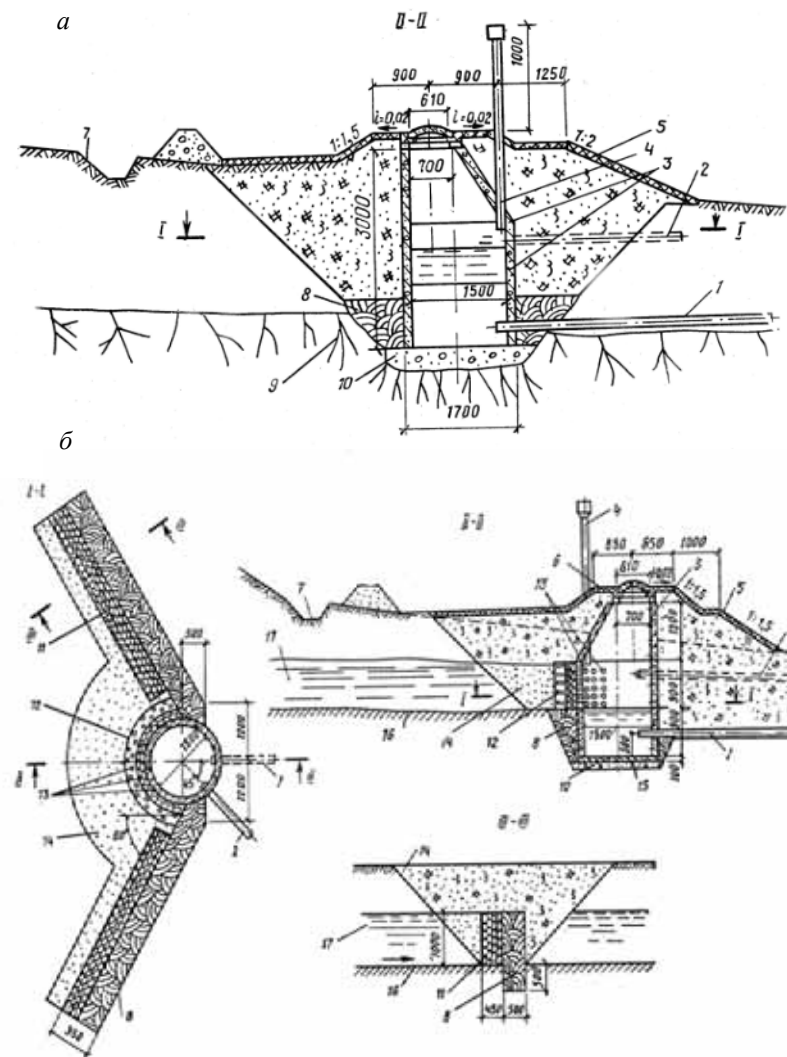


Рис. 6. Каптаж родников:

а – восходящих, б – нисходящих;

1 – расходная труба; 2 – переливная труба; 3 – железобетонный колодец; 4 – вентиляционная труба; 5 – одерновка; 6 – глинощебеночная отмостка; 7 – нагорная канава; 8 – плотно утрамбованный глинистый грунт; 9 – скальный грунт; 10 – слой гравия; 11 – гравийная дренажная обсыпка; 12 – фильтр из гальки и гравия; 13 – водоприемные отверстия; 14 – засыпка из песка; 15 – железобетонная плита днища; 16 – водоупорный пласт; 17 – водоносный слой

Создание искусственного подпора вызовет снижение дебита родника и может привести к тому, что родник вообще найдет себе другой выход на поверхность, обойдя каптажное сооружение. Для предотвращения подпора в сооружении устраивается переливная труба 1.

Если коренные породы, через которые поступает родниковая вода, перекрыты относительно тонким слоем наносного грунта (около 2 м), его удаляют. Когда коренные породы представляют собой плотные трещиноватые образования, их поверхность должна быть расчищена и, если наблюдается вынос частиц песка, засыпана слоем гравия. При выходе воды из песчано-гравелистых пород обязательно устройство для каптажного сооружения обратного гравийного фильтра.

Каптаж нисходящих родников (рис. 6, б) осуществляется путем устройства приемных камер, располагаемых в месте наиболее интенсивного выхода родниковой воды. Для увеличения дебита родника перпендикулярно основному направлению движения родниковой воды для ее перехвата и направления к приемной камере устраиваются сооружения в виде перемычек, подпорных стен и т. п. Иногда вдоль этих перемычек укладывают горизонтальные водосборные трубы или галереи, собирающие воду и облегчающие ее транспортирование к приемной камере.

Наиболее распространенным типом водозахватных устройств являются *скважины*. Их применяют в самых разнообразных гидрогеологических условиях для добычи подземных вод из водоносных пластов мощностью больше 5–6 м, залегающих на глубинах от 10 до 1000 м и более.

Скважины устраивают путем бурения в земле вертикальных цилиндрических каналов. В большинстве горных пород стенки скважин приходится укреплять обсадными трубами, образующими трубчатый колодец. В пределах водоносного пласта для возможности приема воды из грунта колодец оборудуют специальными фильтрами (кроме колодцев в трещиноватых скальных породах).

Трубчатые колодцы применяют обычно при сравнительно глубоком залегании (более 10 м) и значительной мощности водоносных пластов (не менее 5 м). В связи с этим их характерной особенностью являются относительно малый диаметр, облегчающий прохождение большой толщи пород, и относительно большая длина водосборной части. Они могут использоваться для приема как безнапорных (рис. 7, а и б), так и напорных (рис. 7, в и г) подземных вод. И в том, и в другом случае они

могут быть доведены до подстилающего водоупорного пласта – «совершенные колодцы» (см. рис. 7, а и в) или заканчиваться в толще водоносного пласта – «несовершенные колодцы» (см. рис. 7, б и г).

Конструкция трубчатого колодца зависит от глубины залегания подземных вод, характера проходных горных пород и способа бурения.

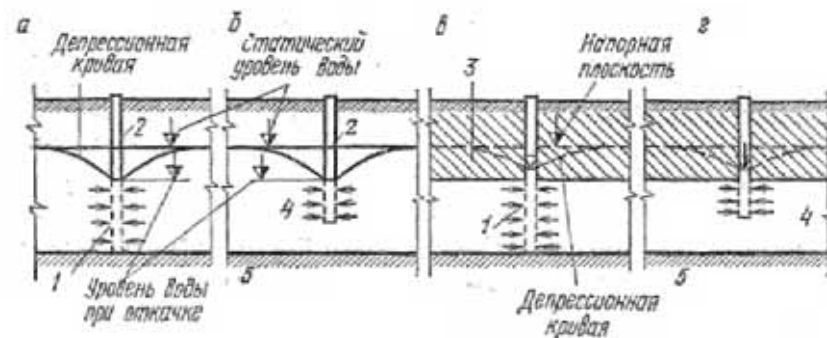


Рис. 7. Трубчатые колодцы:

1 – водоприемная часть (фильтр); 2 – трубчатый колодец; 3 – водоупорный пласт; 4 – водоносный пласт; 5 – уровень воды

Если питание водозаборов происходит из фильтрационных потоков, которые образуются за счет инфильтрации воды в пористую породу из поверхностных источников, то такие водозаборы называют *инфильтрационными*. В большинстве случаев эти водозаборы обеспечивают получение питьевой воды без дополнительной очистки (за исключением обеззараживания), не подвергаются воздействию наносов и шуги, обеспечивают надежный забор воды на реках с неравномерным и даже периодически прекращающимся поверхностным стоком, не требуют рыбозащитных устройств, обеспечивают практически постоянную температуру получаемой воды. Вместе с тем инфильтрационные водозаборы могут устраиваться только при наличии хорошо фильтрующих пород, слагающих берега и русла рек, озер, водохранилищ и морей.

Типы водоприемных сооружений подземных вод в зависимости от глубины залегания, мощности водоносных пластов и требуемой категории надежности подачи воды водопотребителям могут приниматься согласно данным табл. 1.

Для обеспечения указанной в табл. 1 категории надежности подачи воды водопотребителям необходимы резервные водоприемники (резерв

по источнику) и насосы (горячий резерв). Величина резерва определяется категорией системы водоснабжения, а средства резерва – типом водозабора и гидрогеологическими условиями. Резерв на водозаборе из скважин предусмотрен в СНиП 2.04.02–84 (табл. 2).

Таблица 1

Категория надежности подачи воды водозаборами подземных вод

Типы водоприемных устройств	Глубина залегания водоносного пласта от поверхности земли, м					
	< 5	5–10	10–30		> 30	
	Мощность водоносного пласта или глубина подземного потока, м					
	< 4	4–8	< 10	10–20	< 20	> 20
Скважины	–	–	2	2	1	1
Шахтные колодцы	3	2	2	–	–	–
Горизонтальные водозаборы:						
	3	2	–	–	–	–
	2	1	–	–	–	–
	3	–	–	–	–	–
Лучевые водозаборы	–	–	1	1	–	–

Примечание. Подача воды из родников производится каптажами и соответствует 3-й категории надежности.

Таблица 2

Количество резервных скважин (колодцев) и насосов на складе в зависимости от категории системы водоснабжения и числа рабочих скважин (колодцев)

Количество рабочих скважин на водозаборе	Категория системы водоснабжения					
	1	2	3	1	2	3
	Кол-во резервных скважин на водозаборе, шт.			Кол-во резервных насосов на складе, шт.		
1–4	1	1	–	1	1	1
5–12	2	1	–	1	1	1
13 и более	20 %	10 %	–	10 %	10 %	10 %

Необходимое число резервных шахтных колодцев назначается так же, как и для скважин. Резерв на горизонтальных водозаборах должен составлять 25 % от их производительности. На лучевых водозабо-

рах следует предусматривать или один резервный водозабор, или один резервный луч при 3–4 рабочих лучах и два – при 5–7 рабочих лучах.

Искусственное восполнение подземных вод водоносного горизонта должно осуществляться посредством сооружений поверхностной (открытой) или подземной инфильтрации.

При открытых инфильтрационных установках необходимо учитывать наличие водной растительности, которая может привести к трудностям эксплуатации и в некоторых случаях к изменению вкуса воды. На затопляемых территориях данные установки должны быть по возможности защищены от паводка.

Для снижения степени загрязненности и кольматажа инфильтрационных бассейнов следует проводить предварительную подготовку подаваемой воды. Инфильтрационные (поглощающие) скважины нужно сооружать в случаях, когда отсутствует возможность размещения инфильтрационных бассейнов при наличии мощных водонепроницаемых поверхностных слоев.

Водозаборы подземных вод в зависимости от глубины залегания и мощности водоносных горизонтов должны проектироваться и строиться при соответствующем обосновании на базе водозаборных скважин или горизонтальных трубчатых водозаборов, исключающих загрязнение воды [3].

При проектировании скважин для размещения бурового агрегата необходимо предусмотреть отвод земельных участков от 0,04 до 0,12 га. Размеры участков зависят от типа бурового агрегата.

2. КОНСТРУКЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

Конструкции водозаборных скважин зависят от глубины залегания подземных вод, характера проходимых горных пород и способа бурения.

Бурение скважин в зависимости от глубины и характера грунтов может осуществляться ударно-канатным или роторным (с прямой или обратной промывкой) способами.

Водозаборная скважина должна отвечать двум основным требованиям: обеспечивать заданное количество воды с качеством, соответствующим составу воды выбранного водоносного горизонта, и быть надежной в эксплуатации.

В практике сооружения скважин на воду наиболее широкое применение получили конструкции, представленные на рис. 8, и следующие способы бурения: ударно-канатный и вращательный с прямой или обратной промывкой.

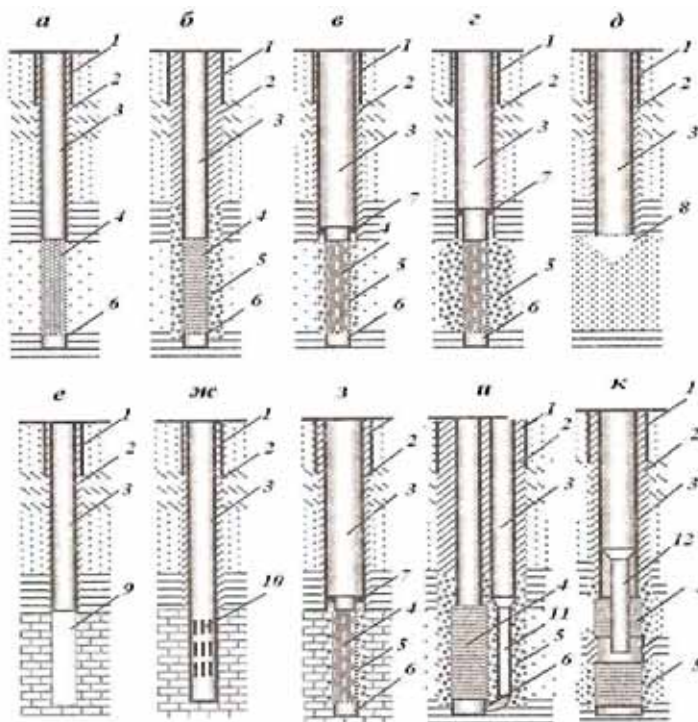


Рис. 8. Типовые конструкции водозаборных скважин:

а – одноколонная с сетчатым фильтром; *б* – одноколонная с фильтром с проволоочной обмоткой и гравийной обсыпкой; *в* – с фильтром, установленным в потай, и гравийной обсыпкой; *г* – с фильтром, установленным в потай, и расширенным контуром гравийной обсыпки; *д* – бесфильтровая скважина в рыхлых породах; *е* – бесфильтровая скважина в скальных породах; *ж* – с опорным каркасом в скальных породах; *з* – с фильтром, установленным в скальных породах, и гравийной обсыпкой; *и* – двухколонная скважина; *к* – с регулированием притока по длине фильтра; *л* – кондуктор; *2* – цементация; *3* – обсадная труба; *4* – фильтр; *5* – гравийная обсыпка; *6* – отстойник; *7* – сальник; *8* – каверна; *9* – ствол без фильтра; *10* – фильтр трубчатый с отверстиями (щелевыми или круглыми); *11* – обводная труба; *12* – труба для регулирования притока воды по длине фильтра

Небольшое количество водозаборных скважин бурится шнековым, колонковым и комбинированным способами.

Конструкцию водозаборных скважин следует выбирать исходя из общих геологических и гидрогеологических условий участка размещения водозабора:

глубин залегания водоносных горизонтов, подлежащих вскрытию и эксплуатации;

литологии пород, слагающих водоносный горизонт;

необходимого диаметра скважины и наибольшей технико-экономической целесообразности способа бурения в конкретных условиях.

2.1. Конструкция и обустройство водозаборной скважины

Скважины состоят из следующих основных элементов: шахтовой направляющей колонны (кондуктор), обсадных труб (эксплуатационная колонна труб), технической колонны труб, цементной или иной защиты, водоприемной части (фильтр) и отстойника (рис. 9).

Фильтровая колонна (в неустойчивых водоносных породах) состоит из рабочей части, надфильтровой колонны с сальником (при необходимости) и отстойника.

При выходе надфильтровой трубы до поверхности земли (эксплуатационная колонна), а также при оборудовании водоносного горизонта в скальных трещиноватых породах перфорированными трубами (фильтрами) устройство сальника не требуется.

Если водоносные породы устойчивы или если в кровле водоносных песков залегают устойчивые породы, проектируются бесфильтровые скважины.

Начальный и конечный диаметры скважины зависят от конструкции ее водоприемной части, насоса и способа бурения.

Крепление стенок скважин при бурении и на период их эксплуатации обычно выполняется обсадными стальными муфтовыми и электросварными трубами. Трубы с тонкими стенками (7–8 мм) следует применять при свободной посадке их в скважину, а с толщиной стенок 10–12 мм – при принудительной.

Крепление скважины обычно выполняется несколькими колоннами обсадных труб, при этом башмаки колонн обсадных труб, как правило, должны находиться в водоупорных породах, башмак эксплуатационной колонны – в водоносной породе.

Разницу в диаметрах предыдущей и последующей колонн обсадных труб следует принимать не менее 100 мм.

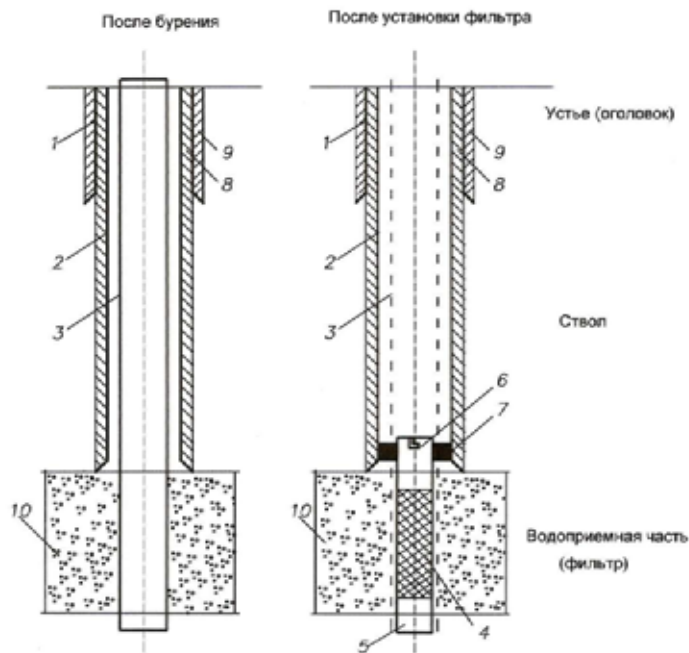


Рис. 9. Конструкция скважины глубиной до 30 м в рыхлых породах: 1 – шахтовое направление (кондуктор); 2 – обсадные трубы (эксплуатационная колонна труб); 3 – техническая колонна труб, посаженная при бурении до забоя скважины и извлеченная после установки фильтра; 4 – рабочая (водоприемная) часть фильтра; 5 – отстойник фильтра; 6 – надфильтровая труба; 7 – замок; 8 – межтрубная цементация; 9 – затрубная цементация; 10 – водоносный горизонт (пески)

В зависимости от местных условий и оборудования устье скважины следует, как правило, располагать в наземном павильоне или подземной камере.

Габариты и конструкция павильонной и подземной камер должны обеспечивать возможность размещения технологического и электротехнического оборудования, удобство его обслуживания и отбора проб воды из скважины для лабораторных исследований, защиту устья скважины от атмосферных осадков и грунтовых вод. Павильонная и подземная камеры должны иметь приямок или выпуск для воды, сливаемой при отборе проб, и соответствующий уклон пола от оголовка скважины.

Высоту наземного павильона и подземной камеры надлежит принимать в зависимости от габаритов оборудования, но не менее 2,4 м.

Конструкция оголовка скважины должна обеспечивать полную герметичность, исключая проникновение в межтрубное и затрубное пространство скважины поверхностной воды и загрязнений.

Верхняя часть эксплуатационной колонны труб должна выступать над полом не менее чем на 0,5 м.

Эти элементы следует принимать в том или ином сочетании при бурении скважин в зависимости от глубины ствола и гидрогеологических условий места его заложения.

С помощью водоподъемного оборудования осуществляется подъем воды из скважины и подача ее по трубопроводам и сборным водоводам в запасно-регулирующие емкости и сооружения водоподготовки (при необходимости).

Основной элемент водоподъемного оборудования – насос – характеризуется следующими параметрами: размерами (диаметр, длина), производительностью, напором, затрачиваемой мощностью и коэффициентом полезного действия (КПД). Схема обустройства скважины приведена на рис. 10.

Важнейшим элементом скважины является фильтр (рис. 11), предназначенный для защиты колодца от занесения частицами грунта из водоносного слоя. Фильтр состоит из каркаса и фильтрующей поверхности. Каркас может быть трубчатым, с перфорацией в виде отверстий или щелей, и стержневым.

Ниже фильтрующей поверхности фильтра предусматривается участок глухой трубы (отстойник), который служит сборником для проникших в колодец мелких частиц грунта.

Конструкция устья (оголовка) скважины зависит от способа подачи воды из скважины.

Вода из скважин может подаваться:

- самоизливом из напорных горизонтов (артезианские воды);
- артезианскими насосами;
- погружными насосами;
- эрлифтами;
- сифонными линиями.

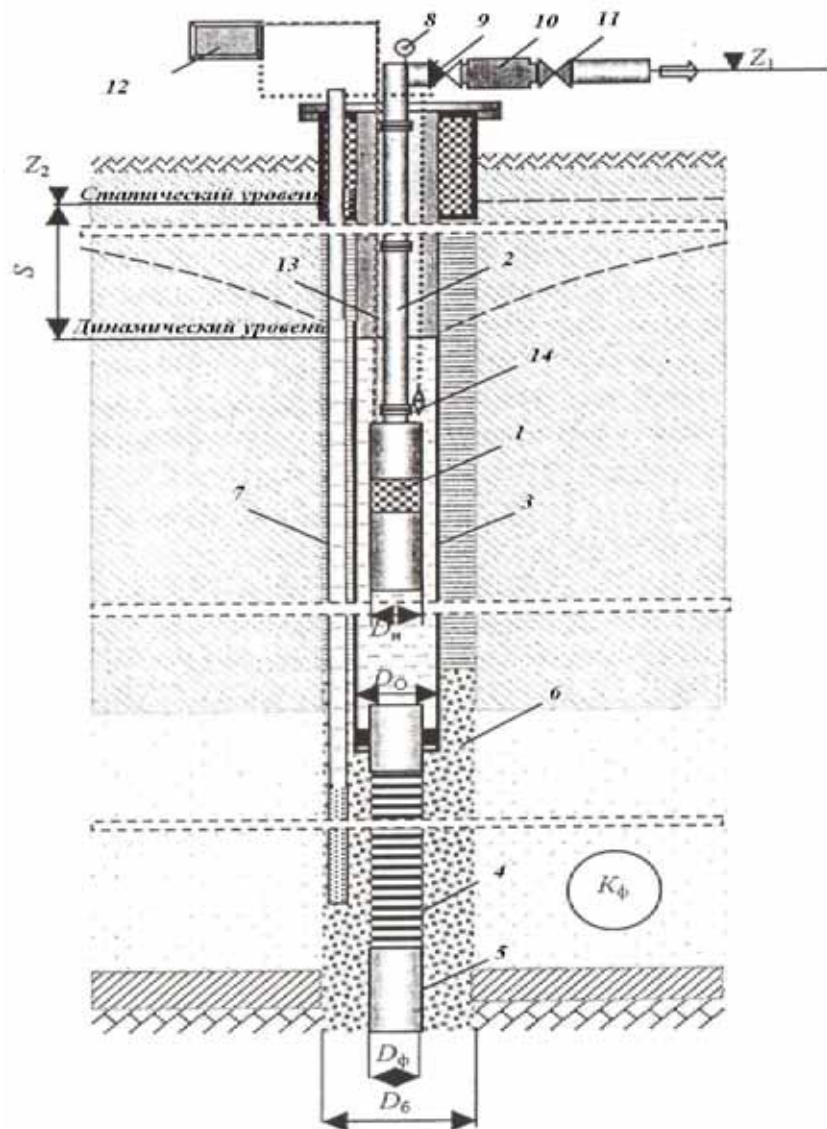


Рис. 10. Водоподъемное оборудование водозаборной скважины:
1 – погружной насос; 2 – водоподъемная труба; 3 – обсадная труба;
4 – фильтр; 5 – отстойник; 6 – гравийная обсыпка; 7 – пьезометр; 8 – манометр; 9 – обратный клапан; 10 – водомер; 11 – задвижка; 12 – станция управления; 13 – электрический кабель; 14 – датчик уровня

Скважины должны быть оборудованы:

- уровнемерами для наблюдения за динамическим уровнем воды в колодце;
- трубопроводом для отвода воды при прокачке;
- водомером для систематического измерения расхода (дебита) скважины;
- краном для отбора проб воды;
- клапаном для выпуска воздуха (вантузом);
- обратным клапаном и запорной арматурой.

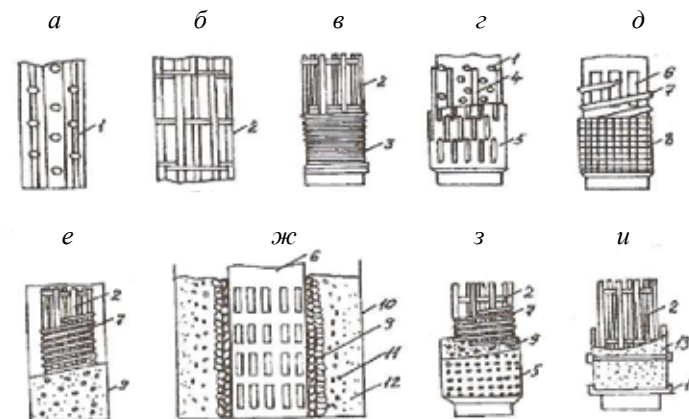


Рис. 11. Некоторые типы фильтров трубчатых колодцев:
а – трубчатый фильтр с круглой перфорацией; б – каркасно-стержневой фильтр;
в – проволочный фильтр со стержневым каркасом; г – фильтр из стального штампованного листа с трубчатым каркасом;
д – сетчатый фильтр с трубчатым каркасом со щелевой перфорацией и проволочной обмоткой; е – однослойный гравийный фильтр со стержневым каркасом и проволочной обмоткой;
ж – многослойный гравийный фильтр с трубчатым каркасом со щелевой перфорацией;
з – кожуховый гравийный фильтр со стержневым каркасом, проволочной обмоткой, однослойной гравийной обсыпкой и водоприемной поверхностью из стального штампованного листа;
и – блочный фильтр со стержневым каркасом; 1 – каркас трубчатый с круглой перфорацией; 2 – стержневой каркас; 3 – проволочная обмотка; 4 – подкладочные продольные стержни; 5 – стальной штампованный лист с продольными отверстиями; 6 – трубчатый каркас со щелевой перфорацией; 7 – подкладочная проволочная обмотка; 8 – сетка; 9 – гравийная обсыпка; 10 – обсадная труба; 11 – крупнозернистый песок; 12 – песок среднезернистый; 13 – блоки из пористого бетона; 14 – резиновые уплотнительные прокладки

Конструкция оголовка скважины должна обеспечивать полную герметичность, исключая проникновение в межтрубное пространство поверхностной воды и загрязнений. Верхняя часть труб должна выступать над уровнем пола не менее чем на 0,5 м.

Далее приведены примеры обустройства оголовка скважин (рис. 12).

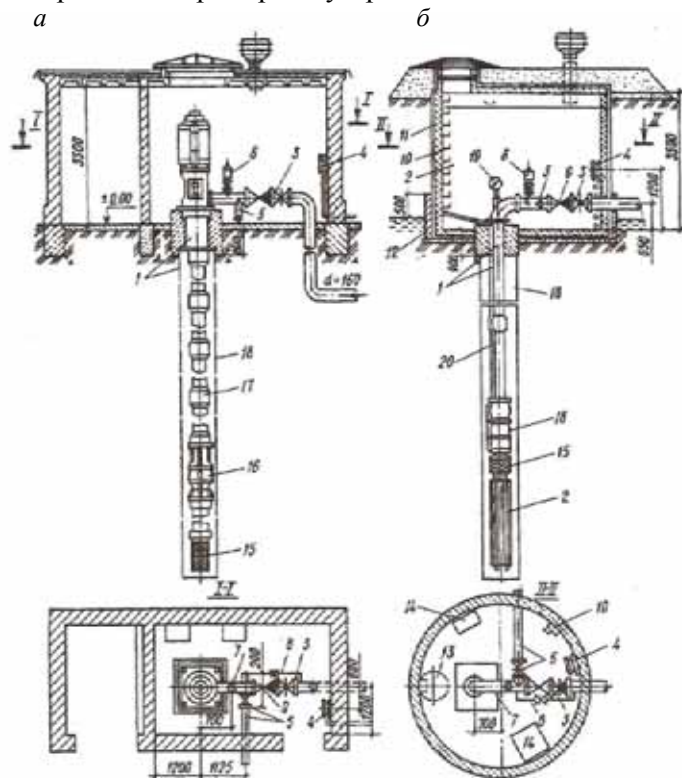


Рис. 12. Схемы оборудования скважин насосами и арматурой:

a – артезианскими насосами типа АТН с электродвигателем над скважиной в надземном павильоне; *б* – артезианскими насосами типа АП (погружные) с электродвигателем в скважине и подземным павильоном; 1 – устье (оголовок) скважины; 2 – электродвигатель; 3 – задвижка; 4 – расходомер; 5 – трубопровод с задвижкой для отвода воды при прокачке скважины; 6 – вантуз с задвижкой; 7 – кран для отбора проб воды; 8 – трубопровод с вентилем для заливки насоса; 9 – обратный клапан; 10 – скобы ходовые; 11 – битумная изоляция; 12 – днище; 13 – приямок; 14 – щит управления; 15 – сетчатый фильтр; 16 – насос; 17 – соединительная муфта; 18 – эксплуатационная колонна труб; 19 – манометр; 20 – электрокабель

Способ бурения при проектировании водозаборных скважин выбирается исходя из общих геологических и гидрогеологических условий участка размещения водозабора, глубины скважины, необходимого диаметра скважины и наибольшей технико-экономической целесообразности способа бурения в конкретных условиях (табл. 3).

Таблица 3

Основные виды фильтров и область их применения

Горные породы водоносных горизонтов	Гравийная обсыпка	Фильтры водозаборных скважин	Методы бурения
1	2	3	4
1. Неустойчивые рыхлые (пористые) крупнообломочные породы: галечниковые и щебенистые (более 50 % частиц крупнее 10 мм, $K_{\phi} = 70-500$) гравийные и древесяные (более 50 % частиц крупнее 2 мм, $K_{\phi} = 30-70$)	Не требуется Не требуется	1. Каркасно-стержневые и трубчатые фильтры из металлических и полимерных материалов с отверстиями (круглыми, прямоугольными, горизонтальными и вертикальными щелями) 2. Фильтры штампованные с отверстиями «мост» 3. Фильтры кольцевые из полимерных материалов	1. Ударно-канатный с опережением забоя вспомогательной колонной обсадных труб и последующим обнажением фильтра, $H = 100$ м. Под защитой тиксотропной рубашки, $H = 150$ м 2. Роторный с прямой промывкой, $H = 600$ м
2. Неустойчивые рыхлые (пористые) песчаные породы (пески): гравелистый (более 25 % частиц крупнее 2 мм, $K_{\phi} = 15-30$) крупный (более 50 % частиц крупнее 0,5 мм, $K_{\phi} = 10-15$) средний (более 50 % частиц крупнее 0,25 мм, $K_{\phi} = 5-10$) мелкий (более 75 % частиц крупнее 0,1 мм, $K_{\phi} = 2-5$)	Не требуется Возможна Возможна Обязательна	1. Каркасно-стержневые и трубчатые фильтры из металлических и полимерных материалов с отверстиями (круглыми, прямоугольными, горизонтальными и вертикальными щелями), с (без) дополнительной водоприемной поверхностью из антикоррозионных материалов (проволочная обмотка, сетка, фильтрующая оболочка).	1. Ударно-канатный с опережением забоя вспомогательной колонной обсадных труб и последующим обнажением фильтра, $H = 100$ м Под защитой тиксотропной рубашки, $H = 150$ м 2. Роторный с прямой промывкой, $H = 600$ м 3. Роторный с обратной промывкой, $H = 200$ м

1	2	3	4
пылеватый (более 75 % частиц крупнее 0,1 мм, $K_{\phi} = 0,1-2$)		2. Для всех суффозионно-устойчивых песчаных пород при наличии крепкой устойчивой кровли – бесфильтровые скважины с водоприемной частью	4. Комбинированный с прямой и обратной промывкой, $H = 600$ м
3. Слабоустойчивые пористо-трещиноватые, химические и органогенные породы: песчаники, известняки и доломиты, мел и уголь (крупнопористые, трещиноватые и кавернозные, $K_{\phi} = 70-500$) песчаники средне- и крупнозернистые, пористые известняки и доломиты, сланцы пористые и трещиноватые ($K_{\phi} = 10-70$) песчаники тонко- и мелкозернистые, алевролиты и аргиллиты с малой трещиноватостью ($K_{\phi} = 1-10$)	Не требуется	1. Без фильтра 2. Каркасно-стержневые и трубчатые фильтры из металлических и полимерных материалов с отверстиями (круглыми, прямоугольными, горизонтальными и вертикальными щелями), с (без) дополнительной водоприемной поверхностью из антикоррозионных материалов (проволочная обмотка, сетка, фильтрующая оболочка) 3. Фильтры штампованные с отверстиями типа «мост»	1. Ударно-канатный открытым забоем без крепления трубами, $H = 150$ м 2. Роторный с прямой промывкой, $H = 600$ м 3. Роторный с обратной промывкой, $H = 200$ м
4. Устойчивые трещиноватые, химические и органогенные породы: песчаники, известняки, сланцы, граниты, гнейсы, порфириды и сиениты с крупными пустотами, кавернами и зонами разлома ($K_{\phi} = 50-200$)	Возможна	Без фильтра	1. Ударно-канатный открытым забоем без крепления трубами, $H = 150$ м 2. Роторный с прямой промывкой, $H = 600$ м

1	2	3	4
песчаники, известняки, сланцы, граниты, гнейсы, порфириды, сиениты сильно трещиноватые с вертикальными и горизонтальными трещинами ($K_{\phi} = 10-50$) песчаники, известняки, сланцы, граниты, гнейсы, порфириды, сиениты ($K_{\phi} = 1-10$)	Не требуется		

Примечание. K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/сут; H – максимальная глубина бурения, м.

Способы бурения имеют определенные **преимущества** или **недостатки**.

Ударно-канатный способ (рис. 13) рекомендуется:

- при сооружении скважин глубиной до 150 м;
- бурении скважин на территории со слабо изученными геологическим строением и гидрогеологическими условиями;
- необходимости предварительного и отдельного опробования водоносных горизонтов в процессе бурения;
- бурении на слабонапорных и безнапорных водоносных горизонтах любой мощности;
- бурении скважин в относительно нетвердых породах и в валунно-галечниковых отложениях;

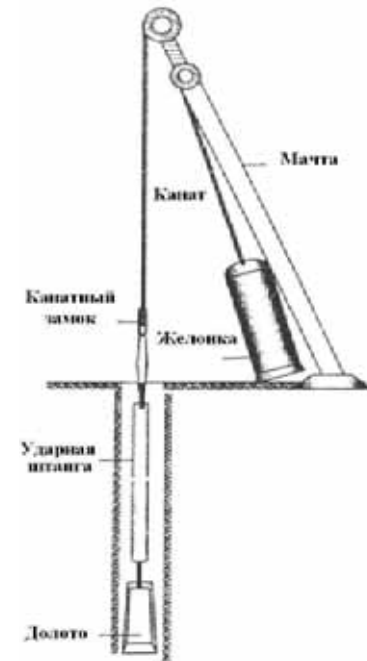


Рис. 13. Ударно-канатное бурение

- работе на территориях, на которые затруднительна доставка глины и воды для промывки скважин в процессе бурения.

Роторное бурение с прямой промывкой (рис. 14) рекомендуется применять при следующих условиях:

- при бурении скважин в районах с хорошо изученными геологическими и гидрогеологическими условиями;
- наличии напорных водоносных горизонтов в геологическом разрезе;
- возможности выполнения скважинного каротажа;
- возможности проведения эффективной разглинзации и освоения водоносного горизонта или проходке водоносного горизонта с промывкой чистой водой или безглинистыми буровыми растворами;
- необходимости бурения глубоких скважин (более 100–150 м);
- возможности организации непрерывного и недорогого снабжения буровой установки водой и глиной.

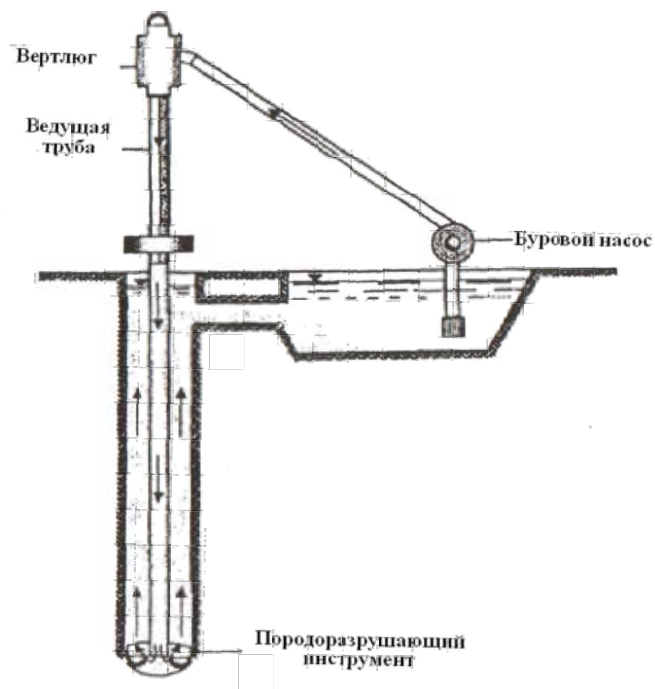


Рис. 14. Роторное бурение с прямой промывкой

Роторное бурение с обратной промывкой (рис. 15) может быть рекомендовано в следующих случаях:

- при необходимости бурения высокодебитных скважин большого диаметра;
- необходимости ускорить проходку скважин и до минимума снизить расход обсадных труб;
- для обеспечения надежного устройства мощных гравийных обсыпок с целью исключить пескование скважин.

Увеличение контура гравийной обсыпки существенно увеличивает водозахватную способность скважины, понижает входные скорости и, как следствие, уменьшает суффозионные явления и химический кольматаж.

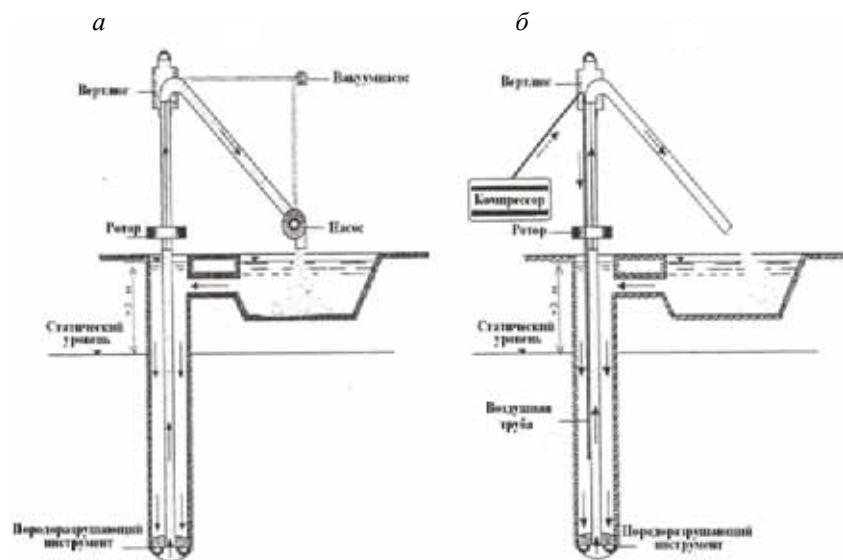


Рис. 15. Роторное бурение с обратной промывкой: а – с насосом; б – с эрлифтом

3. КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬТРОВ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

Фильтры каркасно-стержневые (ФКС) изготавливаются из стержневой прутковой стали марок Ст3, Ст5 и Ст7 (в агрессивной водной среде – из нержавеющей стали), приваренных по длине фильтра по образующей к соединительным патрубкам и опорным кольцам для жесткости каркаса.

Основные параметры каркасно-стержневых фильтров приведены в табл. 4 и на рис. 16. Соединительные патрубки и опорные кольца изготавливаются из стальных труб по ГОСТ 632–80 и ГОСТ 8732–78. Соединительные патрубки должны иметь резьбу по ГОСТ 632–80 и ГОСТ 8732–78, или фаску под сварку, или стопорное соединение.

Таблица 4

Основные параметры каркасно-стержневых фильтров

Наименование параметра	Величина параметра, мм									
Диаметр фильтра наружный D_{ϕ}	109	122	151	170	196	247	305	357	413	462
Диаметр патрубков и опорных колец D_o	89	102	127	146	168	219	273	325	377	426
Длина патрубка верхнего l_v	200	200	300	300	300	300	300	300	300	300
Длина патрубка нижнего l_n	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200
Ширина опорного кольца b	30	30	30	30	30	30	30	30	50	50
Расстояние между кольцами a	200	200	200	200	250	250	300	300	350	350
Диаметр стержня d_c	10	10	12	12	14	14	16	16	18	18
Количество стержней, шт.	8	8	10	12	14	16	16	20	24	32

Примечание. Длина фильтра должна быть не менее 1 м и не более 5 м.

Фильтры трубчатые стальные с отверстиями (щелевыми ФТСЩ или круглыми ФТСК) изготавливаются из стальных труб: обсадных – по ГОСТ 632–80, электросварных – по ГОСТ 10706–76, стальных бесшовных – по ГОСТ 8732–78. Длина фильтра не должна превышать 5 м.

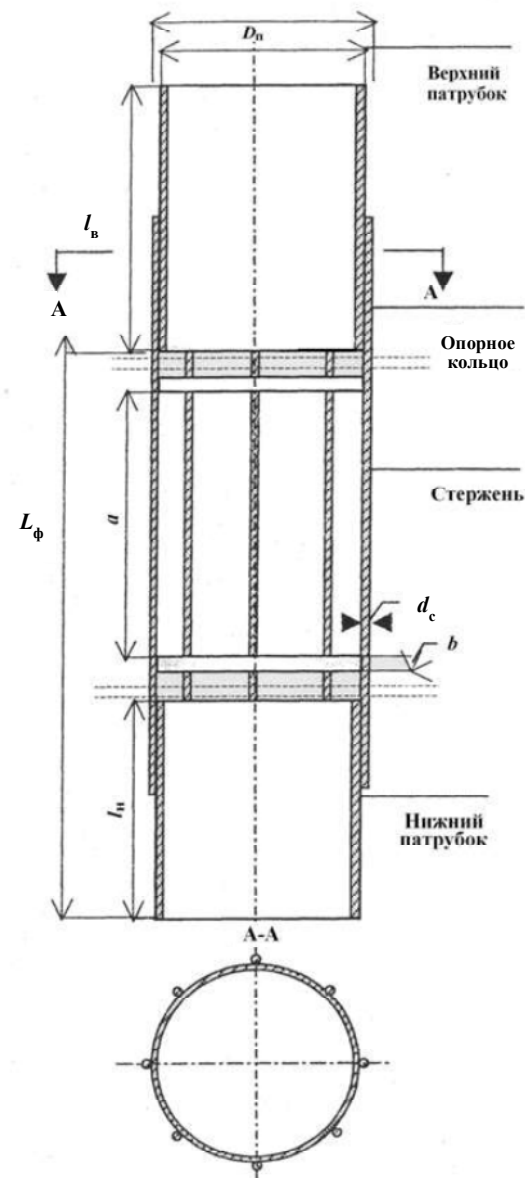


Рис. 16. Каркасно-стержневой фильтр

Отверстия (щелевые или круглые) выполняются в трубах в шахматном порядке. Щелевые отверстия должны иметь ширину 10–30 мм и длину 30–100 мм и располагаются продольно по длине трубы. Расстояния между щелями по горизонтали рассчитываются исходя из параметров щели и принятой скважности фильтра с учетом прочностных характеристик. Расстояние между щелями по вертикали принимается не менее 10–20 мм.

Круглые отверстия выполняются диаметром $d_{\text{отв}}$ 10–24 мм с расстояниями между отверстиями вдоль оси трубы $(1,55–1,7) d_{\text{отв}}$, по окружности трубы – $(2,1–3,5) d_{\text{отв}}$. Скважность фильтров с учетом прочностных характеристик не должна превышать 30 %. Фильтры должны иметь присоединительную резьбу по ГОСТ 632–80 или фаску под сварку.

Фильтры трубчатые полимерные с отверстиями (щелевыми ФТПЩ или круглыми ФТПО) изготавливаются из поливинилхлоридных, полиэтиленовых и винипластовых труб.

Фильтры из поливинилхлоридных труб со щелевыми отверстиями изготавливаются в соответствии с параметрами, приведенными на рис. 17 и в табл. 5 и 6. Диаметры и количество отверстий фильтров из полиэтиленовых и винипластовых труб, а также взаимное расположение отверстий определяются на основании расчетов на прочность исходя из глубины установки фильтра.

Соединяются фильтры с помощью муфт, сварки, на резьбах и на винтах.

Фильтры с проволоочной обмоткой изготавливаются на основе каркасов из каркасно-стержневых, трубчатых стальных или полимерных фильтров с щелевыми или круглыми отверстиями (рис. 18).

На фильтрах трубчатых стальных с отверстиями (щелевыми или круглыми) на расстоянии 40–65 мм должны устанавливаться по окружности продольные стальные стержни круглого или профильного сечения с поперечным размером не менее 8–10 мм.

Продольные стержни не должны перекрывать щелевые или круглые отверстия. На фильтры навивается проволока из нержавеющей стали трапецевидного или прямоугольного сечения с поперечными размерами по табл. 7.

При намотке проволоки трапецевидного сечения меньшее основание должно быть обращено к наружной стенке каркаса. Проволока укладывается с зазорами между витками 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 мм с отклонениями не более 0,1 мм. Она должна быть закреплена от продольного перемещения любым способом.

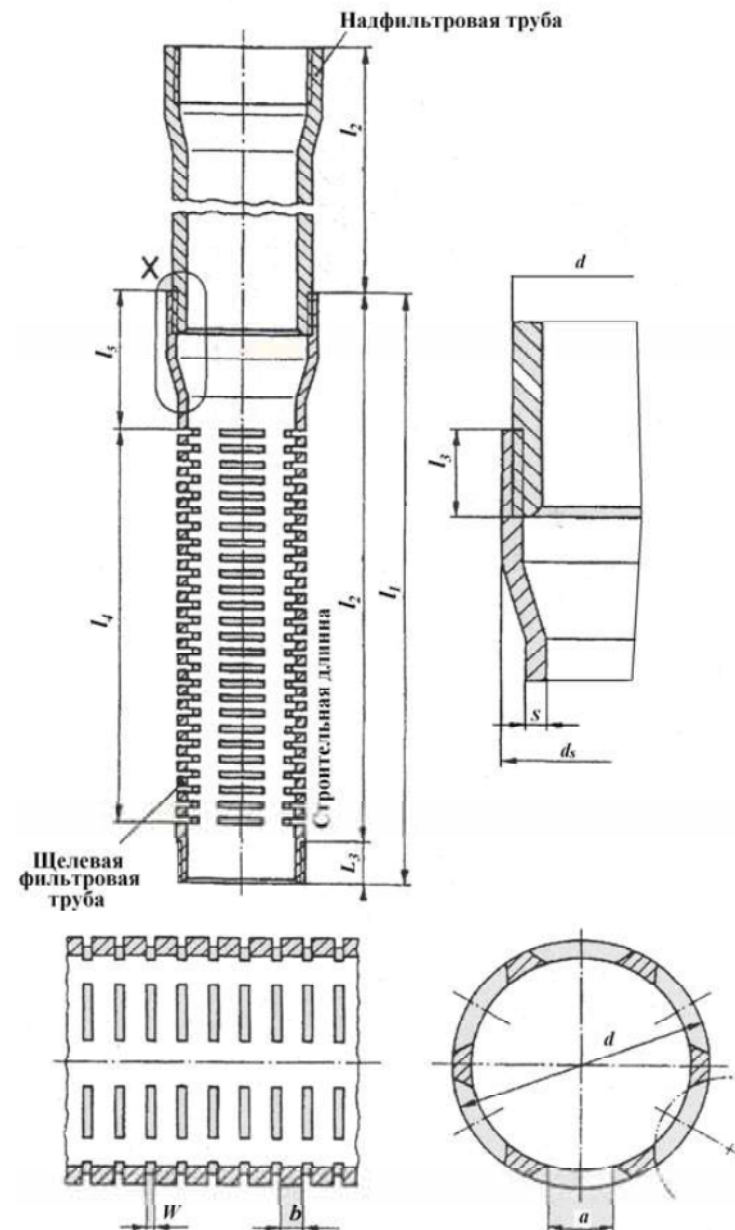


Рис. 17. Трубчатые поливинилхлоридные фильтры с щелевыми отверстиями

Таблица 5

Параметры щелевых фильтров

Условный проход D_y	d		Максимальный размер d_5	S		l_3	$l_2 \pm 10$			$l_4 \pm 25$			
	Номинальный размер	Предельное отклонение		Номинальный размер	Предельное отклонение		l_3			$l_5 \pm 25$			
							$l_2 = 2000$	$l_2 = 3000$	$l_2 = 4000$	$l_5 = 2000$	$l_5 = 3000$	$l_5 = 4000$	
40	48	+0,2	56	3,5	+0,5	25	0,97	1,91	—	60	880	1880	—
50	60	+0,2	68	4,0	+0,6	35	1,36	2,68	—	70	870	1870	—
80	88	+0,3	98	4,0	+0,6	50	2,05	4,03	—	80	860	1860	—
100	113	+0,3	125	5,0	+0,7	60	3,17	6,20	—	90	850	1850	—
125	140	+0,4	154	6,5	+0,8	60	9,6	14,25	18,9	160	1800	2800	3800
150	165	+0,4	183	7,5	+1,0	60	12,9	19,1	25,4	170	1770	2770	3770
200	225	+0,5	247	10,0	+1,2	70	22,7	33,7	44,7	180	1760	2760	3760
250	280	+0,5	297	12,5	+1,5	85	32,42	47,97	63,52	220	1720	2720	3720
300	330	+0,6	350	14,5	+1,7	85	44,30	65,55	86,80	220	1720	2720	3720
350	400	+0,7	430	17,5	+2,0	85	64,74	95,79	123,82	240	1700	2700	3700
400	450	+0,8	485	19,5	+2,0	95	81,53	120,25	159,37	240	1700	2700	3700

Таблица 6

Размеры щелей трубчатых фильтров

D_y , мм	Ширина щели w , мм		$0,3_{-0}^{+0,06}$	$0,5_{-0}^{+0,1}$	$0,75_{-0}^{+0,2}$	$1,5_{-0}^{+0,2}$	$2,0_{-0}^{+0,2}$	$3,0_{-0}^{+0,3}$
	n^*	$\sum a^{**} \pm 5\%$						
40	3	85	5	6	8,5	9,5	12	—
50	3	108	5	6	8,5	9,5	12	—
80	3	168	5	6	8,5	9,5	12	—
100	5	216	5	6	8,5	9,5	12	—
125	5	240	4,5	5,5	7,5	8,5	11	—
150	5	285	—	5,5	7,5	8,5	11	13,5
200	6	390	—	—	7,5	8,5	11	13,5
250	6	450	—	—	7	8	10	12,5
300	6	530	—	—	7	8	10	12,5
350	8	640	—	—	—	8	10	12,5
400	8	720	—	—	—	8	10	12,5
Ширина перегородки $b \pm 0,5$		4	4	5,5	5,5	9,5	9,5	11

* Минимальное число щелей по периметру сечения трубы.

** Общая длина щелей по внутреннему периметру сечения трубы.



Рис. 18. Фильтры с проволоочной обмоткой

Таблица 7

Размеры поперечного сечения проволоки

Диаметр фильтра D_y	Трапециевидного сечения, высотой h , мм			Прямоугольного сечения $a \times b$, мм		Квадратного сечения, мм
	a	b	h	a	b	a
50–175	2,5	2,3	2,5	2,5	2,3	2,5
200–300	3,5	2,3	3,5	3,5	2,3	3,5
350–450	4,2	2,7	4,2	4,2	2,7	4,2

Фильтры сетчатые изготавливаются на основе каркасов из каркасно-стержневых или трубчатых стальных фильтров с отверстиями (щелевыми или круглыми).

На трубчатых стальных фильтрах с отверстиями (щелевыми или круглыми) должны устанавливаться на расстоянии 40–65 мм по окружности продольные стальные стержни круглого сечения диаметром 5–8 мм.

На каркас наматывается проволока из нержавеющей стали круглого сечения диаметром 2–3 мм с шагом 12–15 мм или полимерная решетка с толщиной каркаса 2–3 мм и ячейками 10×10 мм, поверх которых укладывается сетка из латуни, или нержавеющей стали, или полимерных материалов с размерами ячеек не более 0,1 мм. Поверх сетки может навиваться проволока диаметром 2–3 мм с шагом 20–30 мм.

Фильтры трубчатые с штампованными отверстиями типа «мост» ФТМ изготавливаются из листовой стали с толщиной листа 3–6 мм длиной 2000, 2500, 3000, 4000 и 5000 мм штамповкой отверстий типа «мост».

Секции фильтров соединяются с помощью муфт на винтах или сваркой, а также с помощью специальной резьбы.

Для защиты фильтров от коррозии производится их антикоррозионное покрытие материалами, разрешенными для использования в питьевом водоснабжении.

Фильтры полимерные кольцевые ФПК изготавливаются из колец клиновидного поперечного сечения, сужающегося в направлении к оси фильтра, путем набора на стальные стержни или перфорированные трубы, создающие поперечные щели и закрепляемые с двух сторон опорными фланцами с соединительными муфтами. Параметры фильтра приведены в табл. 8.

Таблица 8

Параметры и размеры секции фильтра

Диаметр, мм		Длина, мм	Ширина щели, мм	Скважность, %	Масса, кг
Наружный	Внутренний				
188	140	2035	$1 \pm 0,2$	20,0	31,8
255	203	2035	$1 \pm 0,2$	20,5	44,4
310	260	2035	$1 \pm 0,2$	21,0	55,3

Кольца изготавливаются из полимерных материалов: полистирола, полипропилена и полиэтилена.

Соединение секций фильтров осуществляется с помощью муфт с резьбами согласно ГОСТ 632–80. Кольца фильтров должны соответствовать требованиям ГОСТ 380–94.

4. ПОДБОР И РАСЧЕТ ФИЛЬТРОВ

Основные параметры фильтра (диаметр, длина, размер проходных отверстий) должны определяться с некоторым запасом при учете возможности внесения необходимых изменений в процессе сооружения скважины в соответствии с фактическими условиями.

Литологический состав водоносного пласта и его мощность уточняются или устанавливаются только после вскрытия и проведения геофизических исследований и анализов гранулометрического состава водоносных пород.

Размеры проходных отверстий фильтров назначаются в зависимости от гранулометрического состава контактирующей породы водоносного пласта или гравийной обсыпки. Максимальный размер отверстий фильтра должен быть не менее минимального диаметра частиц гравийной обсыпки, примыкающей к стенкам фильтра, и приниматься по табл. 9.

Таблица 9

Параметры песчано-гравийной и гравийной обсыпки для фильтров

Минимальный диаметр зерен $D_{\min}$, мм	0,5	0,75	1,0	2,0	3,0	5,5	8,0
Максимальный диаметр зерен $D_{\max}$, мм	1,0	1,5	2,0	3,0	5,5	8,0	16,0
Средний диаметр зерен D_{50} , мм	0,75	1,12	1,5	2,5	4,25	6,75	12,0
Максимальный размер отверстий фильтра, мм	0,5	0,75	1,0	2,0	3,0	4,0	4,0

В зависимости от гранулометрического состава водоносных пород в качестве обсыпки необходимо использовать хорошо обкатанные гравий, песчано-гравийные смеси и пески с $K_n < 1,5-3$, которые должны поставляться калиброванными и тарированными согласно табл. 9 со специальных карьеров. Основным требованиям при устройстве гравийно-обсыпных фильтров отвечают отсортированный и отмытый гравий и песок. Такой гравий обеспечивает создание хорошо проницаемых обсыпок с минимальными входными сопротивлениями.

Диаметр фильтра D_{ϕ} , мм, выбирают исходя из требуемого дебита скважины и параметров водоподъемного оборудования, который может быть равным или менее диаметра обсадных труб D_o , т. е.

$$D_{\phi} \leq D_o. \quad (1)$$

По условиям эксплуатации внутренний диаметр обсадных труб необходимо принимать исходя их диаметра устанавливаемого погружного насоса.

Согласно [3] параметры гравийной обсыпки определяются по формуле

$$D_{50} = d_g F_g, \quad (2)$$

где d_g – «эффективный» диаметр; F_g – коэффициент, определяемый как

$$F_g = 6 + K_n. \quad (3)$$

Здесь K_n – коэффициент неоднородности, который рассчитывается по данным ситового анализа пород водоносного пласта по формуле

$$K_n = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \quad (4)$$

где d_{10} и d_{60} – размеры частиц пород, меньше которых по весу в водоносном пласте содержится соответственно 10 и 60 %.

Выбираем по табл. 9 фракционный состав обсыпки, средний размер которой должен быть менее определенного по формуле (2). Соответственно максимальный размер щели фильтра должен быть равен или менее минимального размера частиц гравийной обсыпки.

Пример расчета

Исходные данные:

коэффициент фильтрации среднезернистого песка водоносного пласта на глубине 50 м от поверхности $K_n = 12$ м/сут;

мощность водоносного пласта $m = 15$ м;

требуемый дебит скважины $Q = 60$ м³/ч;

требуемое давление насоса (напор) $H = 7$ МПа;

статический уровень находится на глубине 5 м.

Исходя из параметров насосного оборудования (насос ЭЦВ10-63-65) обсадная труба скважины должна иметь диаметр 273 мм. Принимаем фильтр диаметром 188 мм (фильтр полимерный кольцевой ФПК-188), длиной 13,5 м, соответствующий мощности водоносного пласта.

По данным ситового анализа пород водоносного горизонта строится кривая гранулометрического состава песка (рис. 19).

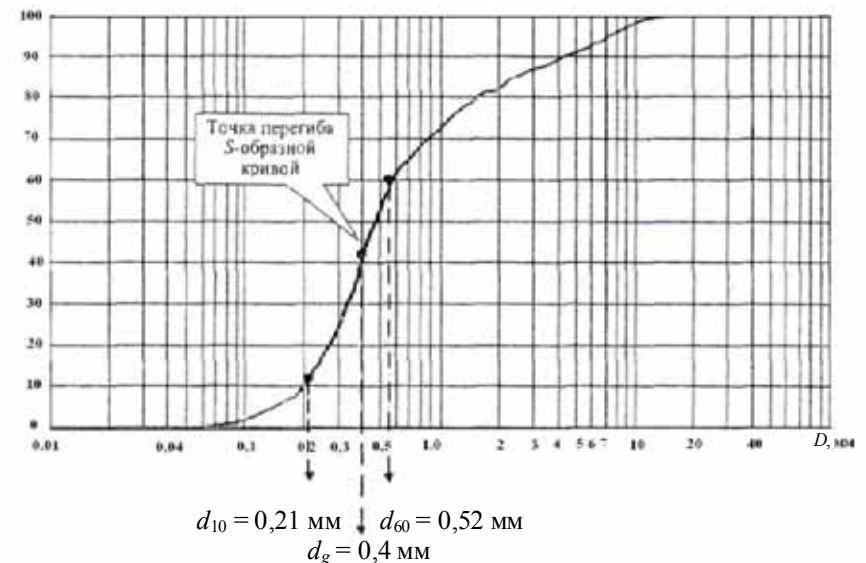


Рис. 19. График гранулометрической кривой для определения состава гравийной обсыпки

По кривой гранулометрического состава определяем, что $d_{10} = 0,21$ мм, $d_{60} = 0,52$ мм, и рассчитываем коэффициент неоднородности K_n :

$$K_n = d_{60} / d_{10} = 0,52 / 0,21 = 2,47.$$

По кривой гранулометрического состава находим точку поворота S-образной кривой и определяем соответствующий ей диаметр $d_g = 0,4$ мм. По формуле (3) вычисляем коэффициент фильтрации: $F_g = 6 + K_n = 6 + 2,47 = 8,47$.

По формуле (2) диаметр гравийной обсыпки составит

$$D_{50} = d_g F_g = 0,4 \cdot 8,47 = 3,39 \text{ мм.}$$

По табл. 9 определяем состав гравийной обсыпки, соответствующий диапазону 2,0–3,0 мм.

Толщину гравийной обсыпки принимаем исходя из рекомендуемых оптимальных значений $t_0 = 150$ мм.

Принимаем фильтр ФКП с поперечным размером щели $\delta = 1,5$ мм, максимальный размер T-образной щели которого $1,5 \times 1,25 = 1,875$ мм, что меньше минимального размера частиц гравийной обсыпки (2,00 мм). Сквозность фильтра $\eta = 20\%$.

Проверяем работу фильтра на условия сохранения в прифильтровой зоне ламинарного режима фильтрации, который характеризуется числом Рейнольдса $Re_{кр} \approx 60$, определив среднюю допустимую скорость притока воды в фильтр по формуле

$$u = \frac{Re_{кр} \nu}{D_{50}},$$

где D_{50} – средний диаметр зерен гравийной обсыпки у каркаса фильтра, м; ν – кинематический коэффициент вязкости воды, м²/с; u – средняя допустимая скорость притока воды в фильтр, м/с.

Для температуры воды $t = 10^\circ$, $\nu = 0,00000131$ м²/с, $D_{50} = 2,5$ мм.

$$u = \frac{60 \cdot 0,00000131}{0,0025} = 0,031 \text{ м/с.}$$

Вычисляем скорость притока воды в фильтр

$$v_{вх} = \frac{Q}{F} = \frac{60}{1,77} = 33,9 \text{ м/ч} = 0,0094 \text{ м/с,}$$

где рабочая площадь фильтра

$$F = \eta D_{\phi} l_{\phi} = 0,20 \cdot 3,14 \cdot 0,188 \cdot 15 = 1,77 \text{ м}^2.$$

Режим фильтрации соответствует ламинарному. Фильтр работает в требуемом режиме и соответствует $v_{вх} \leq u$.

Параметры гравийной обсыпки могут также определяться с учетом факторов физико-механического состояния песка продуктивного пласта одновременно со скоростью фильтрации и режимом откачки.

5. СНИЖЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

В процессе эксплуатации водозаборных скважин, как правило, происходит снижение их производительности. Одной из основных причин снижения дебита скважин является кольматация фильтров и прифильтровых зон водоносного пласта, которая вызывает увеличение гидравлических сопротивлений и снижение притока воды в скважины.

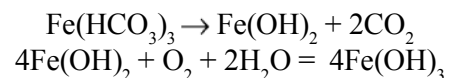
Различают три вида кольматации: механическую, химическую и биологическую.

Механическая кольматация наблюдается в сетчатых, щелевых и других фильтрах вследствие несоответствия проходных отверстий гранулометрическому составу водовмещающих пород. В результате механической кольматации водоприемные отверстия фильтров заклиниваются или перекрываются песком, глиной, гравием, в связи с чем дебит скважин снижается на 20–30 %. Уменьшению механической кольматации способствует создание дополнительного фильтра из крупнозернистого песка или правильно выполненная гравийная обсыпка вокруг водоприемной части искусственного фильтра.

К механической кольматации можно отнести глинизацию фильтра и прифильтровой зоны при роторном бурении скважин с промывкой глинистым раствором, когда на стенке скважины образуется плотная глинистая корка толщиной 3–6 мм, которая с течением времени уплотняется за счет усиления адсорбционных и молекулярных связей.

Химическая кольматация обусловлена нарушением химического состава подземных вод в результате изменения гидродинамических параметров фильтрационного потока. Наиболее распространенными кольтирующими отложениями являются железистые осадки, которые вы-

деляются при заборе подземных вод, содержащих закисное железо. Переход железа из закисного в окисное и выпадение в осадок происходит при наличии в воде растворенного кислорода. Этому способствуют также выделение CO_2 и повышение pH воды вследствие нарушения углекислотного равновесия:



Гидрат окиси железа, имеющий студнеобразный вид, откладывается на поверхности фильтров и в поровом пространстве прифильтровых зон пласта. Интенсивность выпадения железистых осадков возрастает при неравномерной откачке воды из скважины, использовании эрлифта или инжектора, способствующих насыщению подземной воды кислородом воздуха. Особенно активно происходит зарастание фильтров такими осадками при обнажении водоприемных отверстий и непосредственном контакте их с атмосферой. Железосодержащие осадки отличаются характерным желто-коричневым цветом, пачкают руки. Наличие их в подземных водах можно выявить визуально по осадкам на водоподъемных трубах и насосах.

Помимо выпадения осадков накопление отложений может происходить в результате коррозии самого фильтра вследствие агрессивности подземной воды, обладающей свойством электролита. Этот процесс протекает наиболее активно при наличии различных металлов в конструкциях фильтров и надежной антикоррозионной защиты. Электрохимические процессы могут быть значительно ослаблены путем изготовления каркасов фильтров из пластмасс или стальных труб с антикоррозионным покрытием, использования фильтрующей сетки из нержавеющей стали, применения вместо обмоточной проволоки шнуров из полимерных материалов.

Биологическая кольматация обусловлена жизнедеятельностью микроорганизмов. Наиболее активно бактерии размножаются вокруг фильтров, где в основном скапливаются осадки, образовавшиеся под действием химических и электрохимических процессов. В результате жизнедеятельности железобактерий выделяется гидрат окиси железа, что способствует переводу закиси железа в нерастворимую окись, осаждающуюся на рабочей поверхности фильтров, внутренних стенках ствола скважин и насосном оборудовании. Интенсивная биологическая кольма-

тация характерна для подземных вод с содержанием кислорода 5 мг/л и более, находящихся в первых от поверхности земли водоносных горизонтах. Бактерии обнаруживаются не только в водоносных пластах вблизи поверхностных водоисточников, но и на больших глубинах в зонах, значительно удаленных от водотоков и водоемов.

Благоприятные условия для развития железобактерий характерны для большинства скважин, поэтому для подавления их жизнедеятельности необходимо проводить не менее одного раза в 3-4 месяца хлорирование скважин.

В большинстве случаев осадки, кольматирующие фильтры и прифильтровые зоны скважин, являются многокомпонентными и могут содержать одновременно соли железа, марганца, карбонаты кальция и магния, а также песок и глину. Они осаждаются на поверхности фильтров и в порах прилегающих водоносных пород под действием силы тяжести или адсорбируются под действием сил поверхностного натяжения. Со временем осадки обезвоживаются и уплотняются.

В наибольшей степени механической и физико-химической кольматации подвержены сетчатые фильтры, имеющие небольшие входные сопротивления, способствующие увеличению скорости движения воды, турбулизации и сильному перемешиванию потока в прифильтровой зоне.

В меньшей степени подвержены кольматации щелевые и проволочные фильтры, которые имеют меньшие потери давления и оказывают не столь значительное влияние на физико-химические изменения в окружающем водоносном слое. Такие фильтры имеют значительную механическую прочность, что уменьшает опасность их повреждения или разрушения при использовании известных способов восстановления производительности скважин.

6. МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКАЖИН

Для восстановления и поддержания дебита водозаборных скважин широко применяются гидравлические методы разрушения и удаления рыхлых и мало прочных кольматирующих отложений, основанных на использовании кинетической и потенциальной энергии потока воды.

Наиболее распространенным и универсальным способом регенерации (восстановления производительности) скважин является откачка

эрлифтом, которая одновременно широко применяется при сооружении и ремонте скважин. При откачке воды из скважины на фильтр и прилегающий водоносный пласт воздействует поток воды, поступающий через водоприемную поверхность при создании в скважине пониженного давления с помощью эрлифта.

Недостатком регенерации скважин эрлифтной откачкой является невозможность создания больших перепадов давления в системе водоносный пласт–скважина. Максимальное понижение уровня воды при откачке эрлифтом не может превышать 30–50 % высоты столба воды в скважине. Так, при глубине скважины 100 м перепад давления будет не более 0,3–0,5 МПа. Столь низкий перепад давления не может обеспечить достаточно эффективного разрушения кольматирующих отложений даже при продолжительной откачке.

Для увеличения эффективности откачки рекомендуется выключать компрессор с одновременным выпуском воздуха из ресивера. При этом за счет перепада давлений в трубах и затрубном пространстве вода с большой скоростью движется вниз, проходит через водоприемную поверхность фильтра и ударяет в стенки скважины. Это способствует лучшей очистке фильтра и обрушению стенок скважины.

Для очистки фильтров скважин и прилегающих водоносных пород используется также метод свабиrowания, при котором установленный в скважине поршень или плунжер (сваб) совершает возвратно-поступательное движение. При подъеме сваба в скважине создается депрессия, в результате которой вызывается приток воды из пласта в скважину с частицами кольматирующих отложений. При движении сваба вниз давление в скважине возрастает, что приводит к разрушению кольматирующих отложений и способствует формированию естественного фильтра. Из отстойника песок удаляют желонкой с тарельчатым или пикообразным клапаном, обеспечивающим эффективное разрушение отложений при ударе желонки о забой, затем снова возобновляют свабиrowание до прекращения интенсивного пескования. После этого в обсадную трубу опускают сваб большего диаметра, производят им 80–100 возвратно-поступательных движений и очищают забой от песка. Свабиrowание выполняют до полного выноса мелких фракций песка, после чего производят откачку эрлифтом.

Для очистки фильтра и восстановления водоотдачи пласта при незначительных глубинах скважин применяют свабиrowание с одновременной откачкой эрлифтом.

Для увеличения водоотдачи закольматированной водоносной породы иногда производят промывку пласта потоком воды, нагнетаемым насосом в скважину через устье с герметизирующим устройством. Промывка обеспечивает гидроразрыв пласта, переукладку зерен, образование дренажных каналов, разрушение кольматирующих отложений и их удаление за пределы фильтра восходящим потоком воды по затрубному пространству.

При промывке вода должна подаваться в водоносный пласт под весьма высоким давлением $P = (0,5–0,7)P_r$, где P_r – горное давление, при этом расход промывной воды должен быть в 2–4 раза больше дебита скважины.

Широкое применение регенерации водозаборных скважин нагнетанием воды в пласт показало высокую эффективность при соблюдении обязательного условия – надежного и высококачественного цементирования колонны обсадных труб.

Для регенерации скважин можно использовать метод взрыва газовой смеси. От компрессора подают сжатый воздух и от баллона горючий газ (метан, водород и т. п.). Газовоздушная смесь поступает по трубе во взрывную камеру. После ее заполнения подачу газовой смеси прекращают, на спираль подают электрический ток, она накаляется и инициирует взрыв газовой смеси.

При взрыве образуется ударная волна, которая воздействует на поверхность воды в скважине и передается на фильтр и прифильтровую область водоносной породы. Под действием импульса сжатия кольматирующие отложения разрушаются, а расширяющиеся продукты взрыва газовой смеси вытесняют находящуюся в скважине воду за контур фильтра, обеспечивая промывку прилегаемого к фильтру водоносного пласта. После взрыва газовой смеси в замкнутой камере образуется вакуум и вода вновь поступает в скважину с частицами разрушенных кольматирующих отложений, которые выносятся из скважины при последующей откачке воды эрлифтом.

7. ВОДОПОДЪЕМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

Выпуск агрегатов заводов-производителей погружных насосов стран СНГ, а также «Grundfos», «KSB», «EMU», «Pleuger», «Odesse» и других базируется на широком диапазоне мощностей большого ряда

электродвигателей. Это дает возможность при проектировании и эксплуатации использовать полную полезную нагрузку электродвигателей, а вместе с тем оптимизировать расход электроэнергии материалов для изготовления погружных электродвигателей и насосов.

На экономические показатели скважины значительно влияют диаметры погружных насосов, в которых определяющую роль играет электродвигатель.

Диаметры электродвигателей определяются:

- минимально допустимым зазором с внутренним диаметром обсадных труб скважины, в котором должны быть необходимые скорости движения воды для охлаждения электродвигателя;
- наличием номенклатуры диаметров обсадных труб;
- зависимостью КПД электродвигателя от его диаметра.

Необходимая мощность погружных электродвигателей зависит от количества ступеней рабочих колес в насосе. Количество насосов одного типоразмера с одинаковой производительностью определяется требуемым напором, т. е. числом ступеней. Для скважин число ступеней каждого насоса должно быть кратным 2 (4–6) до напоров 80–100 м, а свыше 100 м – 3–4. В связи с невозможностью и нецелесообразностью охвата всей гаммы насосов электродвигателями оптимальной мощности допускается использовать для насосов электродвигатели с мощностями не ниже 70 % их номинальной нагрузки. Это экономически выгоднее, так как электродвигатели в довольно широких пределах нагрузки сохраняют высокий КПД (максимальное снижение – 3 %), в то время как дросселирование напора задвижкой связано с потерями, превышающими более 10 % КПД системы скважина–насос.

Исходя из статистического и технического анализа соотношения размеров внутренних диаметров обсадных труб и наружных диаметров электродвигателей и насосов, обеспечивающих эффективность и надежность работы системы скважина–погружной насос, определены основные параметры, которые представлены в табл. 10 [8].

Использование погружных насосов с вакуумметрической высотой всасывания насосов ЭЦВ не было регламентировано, несмотря на их широкое применение в качестве повысительных насосов с беструбной подвеской в водозаборных скважинах.

Следует отметить, что под пакером (герметичным устройством, разделяющим зоны всасывания и нагнетания) возможно разрежение в 10 м вод. ст. в зависимости от барометрического давления, температуры и упругости паров подаваемой воды, поэтому насос должен быть по-

гружен под пакер на водоподъемной трубе определенной длины с обеспечением герметичности и требований кавитационного запаса и подпора. Если кавитационный запас менее величины подпора, заглубление должно быть дополнительно увеличено на глубину не менее подпора, если же величина кавитационного допустимого запаса больше подпора, то дополнительное заглубление должно быть не менее величины кавитационного запаса. При этом дополнительно необходимо смещение режима работы агрегата (без характеристик по кавитационному запасу это невозможно) с учетом возможных отклонений параметров скважины (изменение геологических характеристик, статического уровня, пропускной способности фильтра и т. п.).

Таблица 10

Основные параметры погружных насосов

Диаметр скважины, дюймы	4"	5"	6"	8"	0"	12"	14"	16"
Внутренний диаметр скважины, мм	100,1	123,2	149,5	199,0	249,2	301	352,3	394,7
Диаметр двигателя, мм	93	114	140	180	230	270	320	375
Диапазон подач насоса, м ³ /ч	1–10	4–25	5–65	16–160	65–320	65–500	100–630	160–800
Диапазон напоров, м	25–230	25–250	25–350	15–400	20–325	30–520	45–520	45–650

При использовании агрегатов с беструбными подвесками в скважинах, где существует возможность образования вакуума ниже пакера, необходимо иметь данные о величинах кавитационного запаса погружных насосов. Исследования кавитационных характеристик погружных насосов типа ЭЦВ не проводились.

В каталогах насосов имеются сведения только о подпоре (минимальном столбе воды над насосом), который необходим для обеспечения оптимальных условий смазки перекачиваемой водой опорных подшипников с одновременным охлаждением двигателя. Для насосов с производительностью свыше 200 м³/ч подпор увеличивается с целью исключить кавитационный срыв работы насоса.

При проектировании и установке погружных насосов с беструбной подвеской или использовании их в качестве повысительных насосов необходимо учитывать как подпор, так и кавитационный запас погружных насосов.

В каталогах погружных насосов зарубежных фирм, как правило, имеется кавитационный запас (NPSH), определяемый по первому критическому режиму работы, когда напор, развиваемый первой ступенью, из-за кавитационных явлений снизится на 3 % [8].

Допустимый кавитационный запас $\Delta h_{\text{доп}}$, приведенный в табл. 11, определяет условия работы насосов с вакуумметрической высотой всасывания и коэффициентом запаса k , равным 1,1–1,3, по отношению к NPSH с целью недопущения кавитации в насосе.

Таблица 11

Допустимый кавитационный запас $\Delta h_{\text{доп}}$ для номинального режима работы погружных насосов

Типоразмер агрегата	$\Delta h_{\text{доп}}$	Типоразмер агрегата	$\Delta h_{\text{доп}}$
ЭЦВ4-1	0,5	ЭЦВ6-16	1,7
ЭЦВ4-1,5	0,5	ЭЦВ6-25	2,3
ЭЦВ4-2,5	0,6	ЭЦВ6-40	3,1
ЭЦВ4	0,7	ЭЦВ6-65	4,1
ЭЦВ4-6,5	0,9	ЭЦВ8-16	1,7
ЭЦВ4-10	1,3	ЭЦВ8-25	2,3
ЭЦВ5-4	0,7	ЭЦВ8-40	3,1
ЭЦВ5-6,3	0,9	ЭЦВ8-65	4,1
ЭЦВ5-10	1,3	ЭЦВ8-100	5,6
ЭЦВ5-16	1,7	ЭЦВ8-150	7,4
ЭЦВ5-25	2,3	ЭЦВ10-65	4,1
ЭЦВ6-4	0,7	ЭЦВ10-65	4,1
ЭЦВ6-5	0,7	ЭЦВ10-100	5,6
ЭЦВ6-6,3	0,9	ЭЦВ10-120	6,5
ЭЦВ6-6,5	0,9	ЭЦВ10-160	7,4
ЭЦВ6-10	1,3	ЭЦВ10-200	8,5

Выбор погружного электронасоса для водозаборных скважин (см. рис. 20) производится по расчетным параметрам их производительности Q и давления H .

Максимально возможный дебит водоотбора определяется исходя из гидрогеологических условий залегания водоносного комплекса и допустимого понижения уровня воды в скважине.

Оптимальный диаметр обсадной трубы выбирается по величине дебита скважины (см. табл. 10).

Диаметр фильтра принимается равным диаметру обсадной трубы, т. е. $D_{\text{ф}} = D_{\text{о}}$.

Составляется расчетная схема водоотбора.

Определяется требуемое давление

$$H = (Z_4 - Z_2) + S + \Delta S_{\text{с}} + h_d + \sum h_l + H_{\text{св}}, \quad (5)$$

где H – давление насоса, м; Z_2 – отметка статического уровня, м; S – понижение уровня воды за стенкой скважины, м; Z_4 – наивысшая отметка точки водосброса, м; $\Delta S_{\text{с}}$ – дополнительное понижение, обусловленное степенью и характером вскрытия водоносного пласта, м; h_d – потери давления при обтекании электродвигателя, м; $\sum h_l$ – потери давления в трубопроводах и коммуникациях от устья насосной станции до водосброса, м; $H_{\text{св}}$ – необходимое избыточное давление в точке водосброса, м.

Потери давления при обтекании электродвигателя рассчитываются по формуле

$$h_d = (0,09 \frac{l_d(D_o + D_n)}{D_o D_n} + 0,4) \left(\frac{0,082 Q_i^2}{D_o^2 - D_n^2} \right)^2, \quad (6)$$

где l_d – длина электродвигателя насоса, м; D_o и D_n – диаметры соответственно обсадной трубы и погружного электронасоса, м.

По величинам Q_A и H_A на основе характеристик работы насосов выбирается требуемый насос.

Глубина установки погружного электронасоса с беструбной подвеской (с учетом возможной работы насоса с вакуумметрической высотой всасывания) определяется по выражению

$$L_n = (Z_1 - Z_2 - S) + \Delta h_{\text{доп}}, \quad (7)$$

где Z_1 – отметка устья водозаборной скважины, м; Z_2 – отметка статического уровня, м.

Минимально допустимая вакуумметрическая высота всасывания насоса принимается по табл. 11 или по ГОСТ 10481–63.

8. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОБОРУДОВАНИЯ СКВАЖИН ПОГРУЖНЫМИ НАСОСАМИ С УСТРОЙСТВАМИ БЕСТРУБНОЙ ПОДВЕСКИ

Устройство беструбной подвески погружных насосов позволяет существенно упрощать технологические схемы обустройства скважин. На рис. 20 представлены схемы оборудования скважин погружными насосами в водозаборных скважинах с беструбной подвеской и водоподъемными трубами.

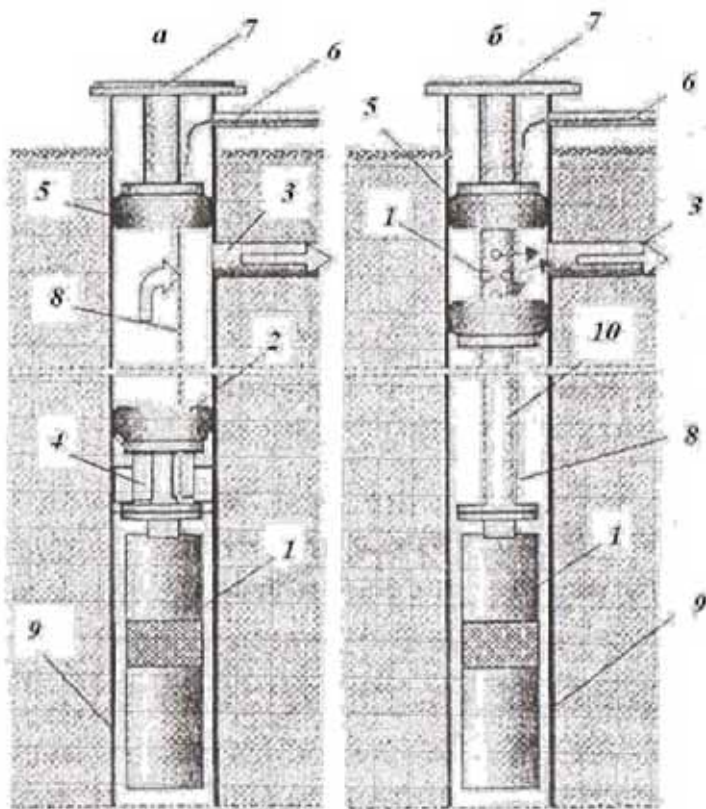


Рис. 20. Схема установки погружных насосов в водозаборных скважинах:

а – с беструбной подвеской; б – с водоподъемными трубами;
1 – погружной насос; 2 и 5 – соответственно нижний и верхний пакер; 3 – соединительный трубопровод; 4 – беструбная подвеска; 6 – трубка для кабеля; 7 – опорный фланец; 8 – электрический кабель; 9 и 10 – соответственно обсадная и водоподъемная труба

В результате установки дополнительного пакера 5 в скважине и соединения с обсадной трубой 9 напорного трубопровода 3 на глубине промерзания исключается необходимость строительства наземных павильонов или колодцев и соответственно их обогрева. Кроме того, улучшаются условия проведения технического обслуживания и ремонта скважин буроремонтными агрегатами, которые требуют установки оборудования непосредственно над оголовком скважины.

9. ЗАЩИТА ПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ ОТ ПЕСКОВАНИЯ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

В результате пескования водозаборных скважин возникает серьезная опасность интенсивного абразивного износа основных деталей погружных насосов и, как следствие, быстрый выход их из строя. Особенно это касается бесфильтровых скважин в рыхлых породах, где наиболее часто происходят процессы выноса песка из каверны.

Для защиты погружных насосов от процессов пескования американской компанией «Lakos» для этих целей разработано 16 модификаций гидравлических сепараторов, в основе которых – центробежный способ разделения песка и воды [8].

На рис. 21 представлена схема модернизированного устройства гидравлического сепаратора для защиты погружных насосов от пескования.

Устройство состоит из трубчатого корпуса 1, в котором располагаются следующие основные функциональные элементы: приемная камера 2, зона разделения воды и песка, зона осаждения и отвода песка, зона накопления и удаления песка. Приемная камера имеет входные прямоугольные каналы 4, разделенные перегородкой 5. Внутри по центру приемной камеры установлена сливная труба 3. В зоне разделения воды и песка расположен дисковый отражатель 6, ниже которого установлен выпрямитель потока 7 в виде вертикально расположенных пластин (Б-Б). Зона осаждения и отвода песка разделена на шлюзовые камеры дроссельными эластичными мембранами 8, закрепленными на стержне 9. Мембраны имеют по отношению к внутреннему диаметру корпуса зазор и по периферии вырезы (В-В). Зона накопления и удаления песка выполнена в виде конической камеры 10, в нижней части которой расположен в виде резиновой манжеты клапан 11. Крепится гидравлический сепаратор в скважине с помощью беструбной подвески 13 аналогично погруж-

ному насосу на рис. 22, *а*. Стержень 9, на котором закреплены отражатель 6, выпрямитель потока 7 и дроссельные мембраны, монтируется внутри корпуса устройства на опорной центрирующей крестовине 12.

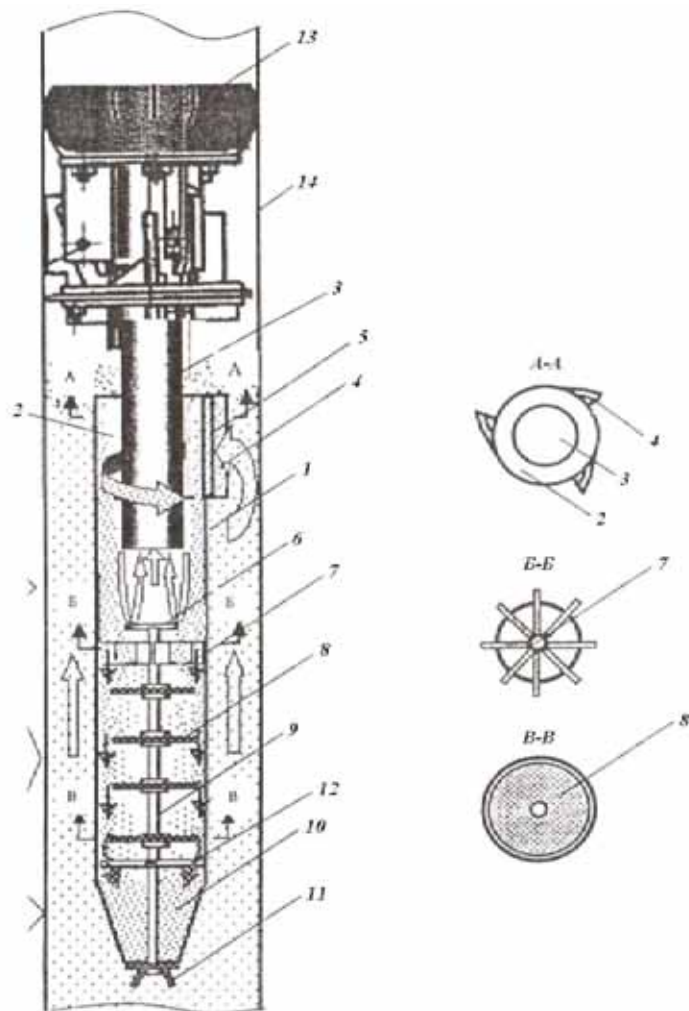


Рис. 21. Устройство для защиты погружных насосов от пескования водозаборных скважин:

1 – корпус устройства; 2 – приемная камера; 3 – сливная труба; 4 – входные каналы; 5 – перегородки; 6 – отражатель; 7 – выпрямитель потока; 8 – дроссельные эластичные мембраны; 9 – стержень; 10 – камера накопления песка; 11 – клапан; 12 – опорная центрирующая крестовина; 13 – беструбная подвеска; 14 – обсадная труба

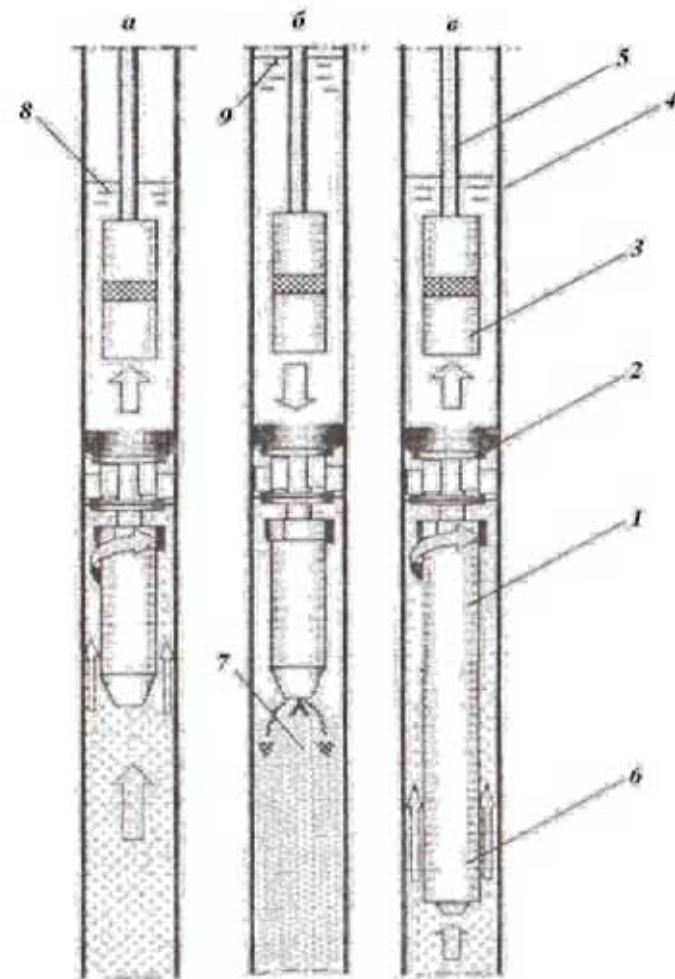


Рис. 22. Схемы оборудования скважин устройствами защиты погружных насосов от пескования:

а – с устройством клапана для сброса песка (при работающем насосе); *б* – с устройством клапана для сброса песка (при остановке насоса); *в* – с устройством трубчатой камеры накопления песка; 1 – устройство защиты погружных насосов от пескования; 2 – беструбная подвеска с пакером; 3 – погружной насос; 4 – обсадная колонна труб; 5 – водоподъемные трубы; 6 – труба сбора песка; 7 – клапан для сброса песка; 8 и 9 – динамический и статический уровни

Принцип работы гидравлического сепаратора состоит в следующем: водопесчаная пульпа поступает в отверстия входных каналов 4, которые выполнены по спирали Архимеда (А-А), являющейся гидравлически оптимальной при круговом движении реальной жидкости.

Сепаратор должен быть установлен ниже насоса не менее чем на 1,5 м и выше верхней части фильтра водозаборной скважины на 1 м.

10. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТАНОВОК ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ И ДЕМАНГАЦИИ ВОДЫ В ВОДОНОСНОМ ПЛАСТЕ

Обезжелезивание воды заключается в удалении из подземной воды растворенного двухвалентного железа.

Технология обезжелезивания и демангации воды в водоносном пласте состоит в насыщении воды кислородом и закачке в водоносный пласт, в котором происходят химические (за счет увеличения окислительно-восстановительного потенциала водоносного пласта E_h до 200–600 мВ) и микробиологические процессы окисления и осаждения железа и марганца, после чего очищенная вода забирается и подается потребителю.

Вода из водозабора, водопровода или резервуаров насыщается кислородом воздуха посредством специальной конструкции эжектора или компрессора. Обогащенная кислородом вода закачивается в пласт через скважину и вытесняет вокруг нее подземную воду на величину закаченного объема воды, создавая тем самым зону окисления. В этой зоне вначале кислород O_2 вступает в реакцию с растворенным в подземной воде двухвалентным железом и образует на породе водоносного пласта нерастворимые отложения гидроокиси железа $Fe_2(OH)_3$, при этом увеличивается выделение углекислого газа CO_2 . (На окисление 1 мг Fe^{+2} идет 0,143 мг O_2 , сопровождается оно выделением 1,6 мг CO_2 .)

В период последующей откачки воды эти отложения гидроокиси железа водоносного пласта адсорбируют ионы растворенного Fe^{+2} из неочищенной подземной воды до момента истощения его адсорбционного потенциала, после чего начинается рост содержания железа в воде.

На следующем этапе закачки в водоносный пласт воды содержащийся в ней кислород вступает в реакцию с адсорбированным Fe^{+2} , образуя новые отложения гидроокиси железа и новый адсорбционный потенциал, при этом вокруг скважины возникает зона окисления и осажде-

ния железа. Закачка в скважину воды, обогащенной кислородом воздуха, длится от одних до пяти суток. После 3–5 часов выдержки, в течение которой происходят окислительные процессы по внешней границе зоны, начинается откачка чистой воды, так как подземная вода проходит через зону окисления и осаждения, и растворенное железо Fe^{+2} снова адсорбируется гидроокисью железа.

При откачке находящиеся в подземных водах растворимые соединения железа Fe и марганца Mn частично оседают на большом расстоянии от скважины на породе водоносного пласта, тем самым несколько снижая его проницаемость. Однако с каждой последующей закачкой обогащенной воды зона окисления и осаждения Fe, где происходят окислительные процессы, постоянно расширяется и отодвигается все дальше от водозаборной скважины, чем практически исключается кольматация водоносного пласта.

Железобактерии (*Galionella ferruginea*, *Leiptorrix ochraceae*, *Crenotrix polispora*), синтезируя органические вещества из неорганических для своей жизнедеятельности, получают энергию для обмена веществ от окисления железа. Для получения 1 мг синтезированного органического вещества железобактерии должны окислять 279 мг Fe^{+2} , образуя при этом 534 мг гидроокиси железа.

Для обезжелезивания и демангации воды в водоносном пласте применяются две технологические схемы: с отдельной и совмещенной системами нагнетания и забора подземных вод.

Характерным для первой схемы («Vyredox») является наличие центральной водозаборной скважины для закачки воды (рис. 23). Эту схему целесообразно применять для неглубоких водоносных горизонтов (до 50 м).

Во второй схеме и для забора, и для закачки воды эксплуатируемого водоносного пласта используется одна скважина (рис. 24). Данную схему обезжелезивания следует применять при содержании железа в подземной воде до 10 мг/л и марганца – до 0,5 мг/л.

Проектирование системы обезжелезивания и демангации воды в водоносном пласте на водозаборе необходимо осуществлять только после проведения предпроектных исследований (пробное обезжелезивание и демангация) в процессе или после выполнения работ по детальной разведке месторождения подземных вод.

Фильтры и обсадные трубы должны иметь антикоррозионное покрытие или изготавливаться из некоррозионных материалов.

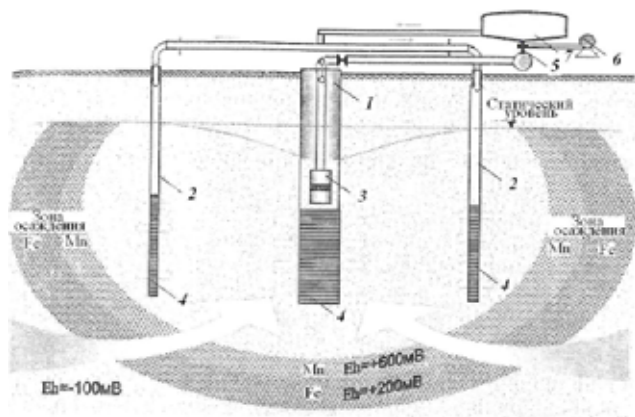


Рис. 23. Принципиальная схема обезжелезивания и деманганации воды в водоносном пласте с раздельной системой нагнетания и забора подземных вод:
1 – нагнетательная скважина; 2 – водозаборная скважина; 3 – погружной насос;
4 – фильтр; 5 – водовоздушный смеситель; 6 – компрессор; 7 – бак-деаэратор

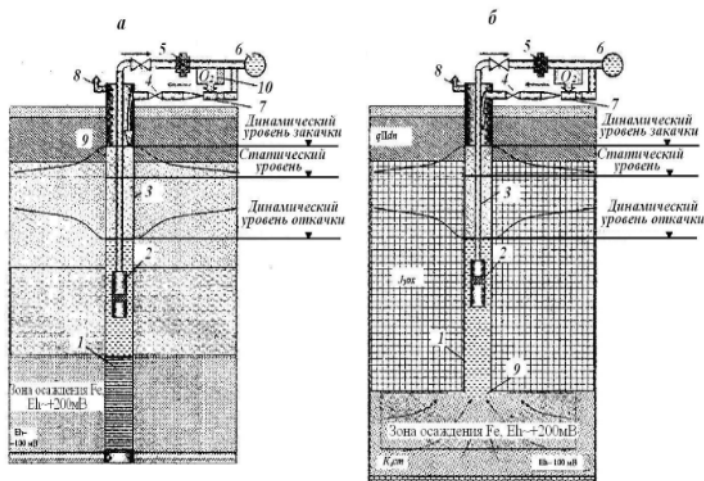


Рис. 24. Принципиальная схема обезжелезивания воды в водоносном пласте с совмещенной системой нагнетания и забора подземных вод:
а – с фильтровой скважиной; б – с бесфильтровой скважиной; 1 – обсадная труба;
2 – погружной насос; 3 – водоподъемная колонна труб; 4 – задвижка; 5 – водомер;
6 – напорный трубопровод; 7 – водовоздушный смеситель (эжектор); 8 – клапан для выпуска воздуха; 9 – каверна; 10 – компрессор

11. ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ВОДОЗАБОРА

11.1. Гидрогеологическая характеристика водозабора

Источник водоснабжения относительно границ населенного пункта находится на расстоянии 3 км.

Проектом предусматривается бурение одиннадцати скважин (девяти рабочих и двух резервных). Суточный расход каждой скважины составляет 1500 м³/сут, часовой – 62,5 м³/ч.

Способ бурения скважин – роторный.

Проектная глубина скважин – 200 м.

Категория сооружений по степени обеспеченности подачи воды – I, класс ответственности здания – 2, степень огнестойкости – II, категория здания по взрывопожарной и пожарной опасности – Д (по НПБ 105–95).

Исходными материалами для разработки проекта послужили:

- кадастр подземных вод г. Санкт-Петербурга;
- СанПиН 2.1.4. 1110–02;
- ГОСТ Р 22.6.01–95;
- материалы инженерных изысканий.

Инженерно-геологические условия

Поверхность территории площадки водозаборных скважин ровная, спланирована насыпными грунтами. Абсолютные отметки поверхности составляют 17,20–17,70 м.

В геологическом строении площадки принимают участие озерно-ледниковые отложения, представленные суглинками различной консистенции, перекрытые с поверхности слоем техногенных грунтов.

Насыпные грунты представлены суглинками (реже песками и супесями) со строительным мусором. Насыпные грунты не могут быть использованы в качестве основания и обратной засыпки проектируемых сооружений из-за неоднородного сложения и недостаточной плотности, и подлежат удалению.

Основанием фундаментов будут служить суглинки ленточные полутвердые, реже тугопластичные, желтовато-коричневые, с прослоями пылеватого песка и супеси.

Приняты следующие нормативные физико-механические свойства грунтов: $\rho = 1,88 \text{ г/см}^3$; $\phi = 28^\circ$; $C = 0,016 \text{ МПа}$; $E = 10,8 \text{ МПа}$.

По степени морозной пучинистости суглинки относятся к среднепучинистым грунтам. Нормативная глубина сезонного промерзания данных грунтов составляет 145 см.

Гидрогеологическая характеристика

В геологическом строении проектируемых площадок принимают участие (снизу вверх):

- породы архейского кристаллического фундамента;
- осадочные породы верхнего протерозоя;
- комплекс четвертичных образований.

Архейский кристаллический фундамент (А) характеризуется сложным геологическим строением. Наиболее распространенными породами являются гнейсы, биотитовые гнейсы, гранито-гнейсы и кристаллические сланцы.

В Санкт-Петербурге архейские образования вскрыты буровыми скважинами на глубинах 190–230 м. Общее погружение архейских пород прослеживается с севера на юг, при этом отмечаются значительные колебания отметок поверхности архея, амплитуда которых достигает 37,0 м.

Верхнепротерозойские ($Pt_2kt_2 + kt_1$) осадочные породы залегают непосредственно на неровной поверхности архейских пород. По литологостратиграфическим признакам выделяются:

а) нижняя песчаниковая толща (Pt_2kt_1), имеющая повсеместное распространение. Кровля песчаников вскрыта на глубинах 100,0–180,0 м, мощность песчаников составляет 45,0–110,0 м. Толща представлена светло-серыми, иногда пестро-цветными кварцевыми трещиноватыми песчаниками.

Переход к вышезалегающим ляминаритовым глинам постепенный, и верхняя граница гдовских слоев часто устанавливается по переслаиванию кварцево-слюдистых песчаников с зеленовато-серыми песчанистыми глинами;

б) ляминаритовые глины (Pt_2kt_1), залегающие на глубине 18,0–74,0 м. Мощность их изменяется от 52,0 до 106,0 м. Представлены тонкослоистыми сланцеватыми глинами зеленовато-серого цвета. Ляминаритовые глины, особенно в нижней части разреза, переслаиваются с маломощными прослойками кварцевых и полевошпатовых песков и песчаников мощностью от 0,5 до 2,0 м.

Четвертичные отложения ($Q_{\text{ш}}$) имеют повсеместное распространение. Породы представлены ледниковыми, позднеледниковыми, пос-

ледниковыми и современными песчано-глинистыми отложениями.

Мощность четвертичных отложений составляет 38,0–45,0 м.

Подземные воды находятся:

- в четвертичных отложениях,
- верхнепротерозойских отложениях.

Водоносные горизонты в четвертичных отложениях характеризуются незначительной водообильностью и практического значения как источник водоснабжения не имеют.

Среди верхнепротерозойских отложений выделяются два водоносных горизонта:

верхнепротерозойский ляминоритовый водоносный горизонт (Pt_2kt_1), приуроченный к маломощным прослоям песчаников и песков в толще ляминоритовых глин. Мощность прослоев составляет 0,5–2,0 м. Ляминоритовый водоносный горизонт характеризуется ограниченной площадью распространения и незначительной мощностью песчаников (песков), обладающих невысокой обводненностью, запасы подземных вод незначительны;

верхнепротерозойский водоносный горизонт (Pt_2kt_1), являющийся единственным мощным водоносным горизонтом в пределах рассматриваемой территории и приуроченный к нижней песчаниковой толще. Кровля горизонта погружается в направлении с северо-запада на юго-восток.

В Санкт-Петербурге кровля горизонта вскрыта на глубинах 100,0–180,0 м. Мощность горизонта достигает 48 м. Горизонт представлен кварцевыми песчаниками разной зернистости, которые местами расчленены локальными маломощными (10,0–1,0 м) прослоями глин.

С песчаниками связаны трещинно-пластовые и пластовые высоконапорные воды. Вследствие различной водопроницаемости вмещающих пород, зависящей от их гранулометрического состава, трещиноватости, дебит скважин, эксплуатирующих горизонт различен.

Коэффициент фильтрации песчаников в среднем составляет 20–30 м/сут, а удельные дебиты скважин достигают 0,5–2,3 л/с-м.

Эксплуатационные дебиты большинства скважин составляют 40,0–60,0 м³/ч при понижении уровня воды на 20,0–30,0 м.

Пьезометрический уровень горизонта в настоящее время устанавливается на глубине 30,0–40,0 м.

По химическому составу вода не соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1074–01, так как содержит ионы двухвалентного железа (табл. 12).

Таблица 12

Требования потребителя к качеству воды

Показатели	Допустимые нормы	Фактические показатели
Мутность, мг/дм ³	1,5	1,5
Цветность, град.	20,0	18,0
Водородный показатель, pH	6–9	6,5
Сухой остаток, мг/дм ³	1000	800
Общая жесткость, мг-экв/дм ³	7,0	5,0
Железо, мг/дм ³	0,3	9,5
Марганец, мг/дм ³	0,1	0,08
Фтор, мг/дм ³	1,5–0,7	1,0
Окисляемость перманганатная, мг O ₂ /дм ³	2,0	1,5
Запах, баллы	2,0	1,5
Привкус при 20 °С, баллы	2,0	1,5
Число бактерий групп кишечных палочек (БГКП) в 1 дм ³	3,0	2,0
Вывод		Требуется очистка

11.2. Оценка эксплуатационных запасов воды

Продолжительность использования источника определяется эксплуатационными запасами самого источника и расчетной производительностью водозабора.

Расчетная производительность водозабора при его равномерной работе

$$Q_{\text{сут.р}} = \alpha \cdot Q_{\text{сут}} = 1,03 \cdot 11723,6 = 12075 \text{ м}^3 / \text{сут},$$

$$Q_{\text{ч.р}} = \frac{Q_{\text{сут.р}}}{24} = \frac{12075}{24} = 503 \text{ м}^3 / \text{ч},$$

где α – коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды очистных сооружений; $Q_{\text{сут}}$ – полезная производительность водозабора, м³/сут; $Q_{\text{ч.р}}$ – полезная производительность водозабора, м³/ч.

Объем эксплуатационных запасов подземных вод, м³, в общем виде определяется из выражения

$$Q_3 = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{дин}}, \quad (8)$$

где $Q_{\text{ст}}$ – статические запасы подземных вод; $Q_{\text{дин}}$ – динамические

запасы подземных вод.

Статические запасы включают объем воды в порах и трещинах водоносного пласта

$$Q_{\text{ст}} = \mu \cdot V, \quad (9)$$

где V – объем водоносной породы, м³; μ – коэффициент водоотдачи (коэффициент запаса).

Статические запасы приняты по заданию: $Q_{\text{ст}} = 202\,124\,308 \text{ м}^3$.

Динамические запасы представляют собой объем подземных вод, характеризующий естественную производительность водоносных горизонтов в том размере, в котором забор воды из них компенсируется поступлением в них воды из областей питания:

$$Q_{\text{дин}} = b \cdot m \cdot K \cdot i, \quad (10)$$

где b – ширина потока подземных вод, м; m – мощность водоносного пласта; K – коэффициент фильтрации, зависящий от породы водоносного пласта, м/сут; i – гидравлический уклон.

Динамические запасы приняты по заданию $Q_{\text{дин}} = 110\,000 \text{ м}^3$.

$$Q_3 = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{дин}} = 202\,124\,308 + 110\,000 = 202\,234\,308 \text{ м}^3.$$

Продолжительность использования источника водоснабжения

$$t = \frac{Q_3}{365 \cdot Q_{\text{сут.р}}} = \frac{202\,234\,308}{365 \cdot 12\,075} = 46 \text{ лет}.$$

11.3. Выбор типа водозахватных устройств и состава сооружений водозабора

В результате гидрогеологических и геологических изысканий были получены следующие исходные данные для проектирования и расчета водозабора:

- мощность водоносного пласта $m = 48 \text{ м}$;
- водоносный пласт сложен кварцевыми песчаниками разной зернистости;
- подошва водоносного пласта залегает ниже поверхности земли на 262 м;
- статический уровень находится на глубине 30–40 м от поверхности земли, т. е. источником водоснабжения являются напорные воды.

В качестве водозахватного сооружения в данном проекте принята

водозаборная скважина как наиболее распространенный тип водозахватного устройства, соответствующего данным условиям залегания водоносного пласта и его мощности.

Состав и схема расположения сооружений водоснабжения, принятых в проекте, приведены на рис. 25

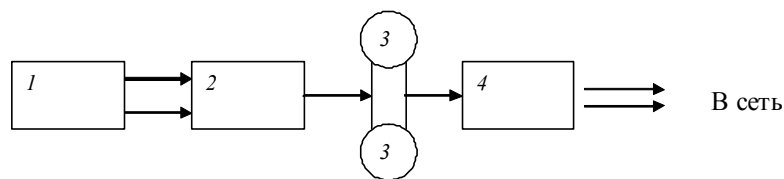


Рис. 25. Схема расположения сооружений водоснабжения:

1 – водозаборное сооружение (скважины); 2 – сооружения для очистки и подготовки воды; 3 – резервуары чистой воды; 4 – насосная станция II подъема

Рабочая конструкция скважины

Прежде чем принять окончательную эксплуатационную конструкцию скважины, составляют ее схему (рабочую конструкцию), затем производят расчет основных параметров (притока воды к скважине и пропускной способности фильтра).

Конструкция скважины включает в себя следующие основные элементы:

- кондуктор;
- технические колонны труб;
- эксплуатационную колонну;
- цементную защиту;
- фильтр скважины (водоприемная часть с отстойником и надфильтровой трубой).

Начальный и конечный диаметры скважины принимаются в зависимости от сортамента труб, способа бурения, размеров и конструкции фильтра и насоса. Скважины крепятся несколькими колоннами обсадных труб, число которых зависит от глубины скважины и выхода колонн труб. Колонна обсадных труб наибольшего диаметра называется кондуктором. Эти трубы не входят в число непосредственных технических колонн. Глубина опускания кондуктора назначается до первого водонепроницаемого пласта (серая глина) с заходом в этот пласт на 1 м.

Приток воды к скважине в большей степени зависит от диаметра

рабочей части фильтра, чем от его длины. Поэтому для увеличения притока $Q_{\text{скв}}$, а следовательно для уменьшения числа скважин сначала назначаем максимальное значение диаметра труб, чтобы получить максимально допустимый при этом способе бурения диаметр фильтра.

Максимально возможный диаметр кондуктора согласно сортаменту стальных труб, а также ограничению диаметров погружаемых труб, обусловленных выбранными выше типами бурового станка и вибромашины, равен 530 мм. Разница в диаметрах между кондуктором и первой колонной, а также между предыдущей и последующей колоннами обсадных труб должна быть не менее 100 мм. При установке фильтра с заходом в нижерасположенный водоупорный слой верх его надфильтровой трубы устраивается на 5 м выше башмака эксплуатационной колонны труб и закрепляется сальником. Башмак (конец) колонны трубы кондуктора входит в водоупорную породу на 1 м, а башмак последней колонны – кровли используемого водоносного пласта – на 1 м.

После анализа гидрогеологических условий в проекте выбран вариант бурения скважин на основной водоносный горизонт верхнепротерозойских песчаников (бывший гдовский водоносный горизонт).

Проектные параметры скважин:

- способ бурения – роторный;
- глубина скважин – 200 м;
- статический уровень – 30,0–40,0 м;
- удельный дебит – 0,5–0,8 л/с·м;
- эксплуатационный дебит – 60,0–65,0 м³/ч;
- потребный дебит – 1500 м³/сут;
- расчетный динамический уровень воды в скважине – 65–75 м.

Представлен проектный геолого-технический разрез скважины. Глубина, конструкция скважины и тип фильтра корректируются в процессе бурения.

Бурение скважин

Бурение скважин рекомендуется производить вращательно – роторным способом. Начальный диаметр бурения $D = 490$ мм, конечный – $D = 243$ мм.

Бурение ведется:

от 0,0 до 45,0 м трехшарошечным долотом $D = 490$ мм (19I), от 45,0 до 150,0 м трехшарошечным долотом $D = 394$ мм (15I), от 150,0 до 200,0 м трехшарошечным долотом $D = 243$ мм (9I).

Бурение сопровождается гидрогеологическими наблюдениями

за литологическим составом пород, их мощностью, поглощением промывочной жидкости, параметрами глинистого раствора и другими явлениями, возникающими в процессе бурения скважины.

Отбор образцов (шлама) производится через каждые 2-3 м и при смене пород.

1-я колонна обсадных труб $D = 426$ мм устанавливается на глубину 45,0 м с последующим затрубным цементированием колонны и подъемом цементного раствора до устья скважины.

2-я колонна обсадных труб $D = 273$ мм устанавливается на глубину 150,0 м с последующим затрубным цементированием колонны и подъемом цементного раствора до устья скважины.

Для предупреждения попадания в скважину поверхностных вод эксплуатационная колонна $D = 273$ мм выводится на 0,5 м над дневной поверхностью.

3-я колонна, фильтровая $D = 219 \times 168$ мм, устанавливается в интервале 145,0–200,0 м.

Тип и конструкция фильтра

При отборе воды из рыхлых пород в скважинах устанавливаются фильтры. Фильтр состоит из водоприемной (рабочей) части, надфильтровой трубы и отстойника. Длина надфильтровой трубы зависит от конструкции скважины.

Геофизические исследования. Расчет фильтровой колонны. Выбор типа фильтра

Геофизические исследования (стандартный каротаж и гаммакаротаж) производятся при глубине скважины 200,0 м для получения большей информации о геологическом строении.

Длина рабочей части фильтровой колонны, м, определяется по формуле

$$L = \frac{Q \cdot \lambda}{d}, \quad (11)$$

где Q – проектный дебит скважины – 65,0 м³/ч; λ – эмпирический коэффициент – 90; d – наружный диаметр фильтра – 168 мм.

$$L = \frac{68 \cdot 90}{168} = 35 \text{ м.}$$

В качестве водоносного пласта рассматривается песок среднезернистый. Согласно справочным данным могут быть использованы следующие фильтры: фильтр стержневой, спирально-проволочный, с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки, сеток квадратного плетения, штампованного листа из нержавеющей стали с песчано-гравийной обсыпкой.

Принимаем фильтр на основе стержневых каркасов с проволочной обмоткой из нержавеющей стали 2–4 мм. Крепление проволочной обмотки производится эпоксидной смолой ЭД-5 или ЭД-6.

11.4. Гидрогеологический расчет водозабора

Основной задачей гидрогеологического расчета является определение дебита скважин и понижения уровня подземных вод в процессе эксплуатации водозаборного сооружения. Одновременно с решением этих задач на основе расчетов уточняют схему расположения водозаборных скважин, их количество и размеры.

Определение притока воды к скважине

В связи с тем, что потребное число скважин еще не установлено, оценка производительности водозабора, м³/сут, производится применительно к одной скважине:

$$Q_{\text{скв}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot m \cdot S_{\text{доп}}}{R}, \quad (12)$$

где $S_{\text{доп}}$ – допустимое понижение уровня подземных вод, м.

$$S_{\text{доп}} \approx H - (0,3 \cdot m + \Delta H_{\text{нас}} + \Delta H_{\text{ф}}). \quad (13)$$

Здесь H – напор над подошвой водоносного горизонта, м; $\Delta H_{\text{нас}}$ – максимальная глубина погружения насоса под динамический уровень воды в скважине, м. Принимаем $\Delta H_{\text{нас}} = 25$ м; $\Delta H_{\text{ф}}$ – потери напора на входе в скважину (приблизительно 1,5 м.

$$S_{\text{доп}} \approx 77 - (0,3 \cdot 48 + 25 + 1,5) = 36 \text{ м;}$$

k – коэффициент фильтрации, $k = 20$ м/сут; R – гидравлическое сопротивление, зависящее от гидрогеологических условий и типа водозаборного сооружения;

$$R = R_0 + \beta \cdot \xi = 11 + 1 \cdot 13 = 24. \quad (14)$$

Здесь R_0 – гидравлическое сопротивление R в точке расположения скважины;

$$R_0 = \ln \frac{R_{\text{ск}}}{r} = \ln \frac{4963,6}{0,084} = 11, \quad (15)$$

где r – радиус фильтра, м;

$$r = \frac{d_{\phi}}{2} = \frac{0,168}{2} = 0,084 \text{ м.}$$

$R_{\text{ск}}$ – радиус влияния скважины, определяемый из выражения

$$R_{\text{ск}} = 1,5\sqrt{c \cdot t} = 1,5\sqrt{1200 \cdot 9125} = 4963,6. \quad (16)$$

Здесь c – коэффициент пьезопроводности водосодержащих пород, м³/сут;

$$c = \frac{k \cdot m}{\mu} = \frac{2,5 \cdot 48}{0,1} = 1200; \quad (17)$$

t – время, на которое рассчитывается эксплуатация скважины (25 лет), сут; $t = 9125$ сут.

β – отношение расхода рассматриваемой скважины $Q_{\text{скв}}$ к суммарному

расходу водозабора $Q_{\text{сут.р}}$, т. е. $\beta = \frac{Q_{\text{скв}}}{Q_{\text{сут.р}}}$; в случае рассмотрения одиночной

скважины $\beta = 1$; ξ – дополнительное сопротивление, учитывающее фильтрационное несовершенство скважины, величина которого определя-

ется в зависимости от соотношения $\frac{l_{\phi}}{m} = \frac{45}{48} = 0,9$ и $\frac{m}{r} = \frac{48}{0,084} = 571,4$; $\xi = 13$.

$$Q_{\text{скв}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 48 \cdot 36}{24} = 9043,2 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Выбор места расположения насоса

Погружной насос может быть установлен по одной из четырех схем:

1) установка выше кровли водоносного пласта в одной из колонн обсадных труб;

2) расположение насоса в пределах водоносного пласта и конечной колонне обсадных труб;

3) установка насоса в пределах надфильтровой трубы выше рабочей части фильтра;

4) установка насоса ниже рабочей части фильтра над отстойником.

Наилучшим вариантом является первая схема, так как можно получить максимальную длину фильтра, что обеспечивает большую его пропускную способность. При рассмотрении высоконапорного водоносного пласта применение первой схемы оправдывается, если выполнимо условие

$$H > h_{\text{необх}} + 0,5 \cdot m, \quad (18)$$

где $h_{\text{необх}}$ – необходимая высота столба воды над кровлей пласта, м;

$$h_{\text{необх}} = h_1 + h_2 + L_{\text{нас}} + \Delta H_{\text{нас}}. \quad (19)$$

Здесь h_1 – высота надфильтровой трубы относительно башмака последней колонны, $h_1 = 5$ м; h_2 – расстояние от верха надфильтровой трубы до низа насоса, $h_2 = 2$ м; $L_{\text{нас}}$ – общая длина погружного насоса, равная 2 м.

$$h_{\text{необх}} = 5 + 2 + 2 + 3 = 12 \text{ м.}$$

$$44 > 12 + 0,5 \cdot 48 = 36.$$

В этом случае принимается максимальная длина фильтра, м,

$$l_{\phi} = m - h_3 - h_4, \quad (20)$$

где h_3, h_4 – расстояние до фильтра соответствующей подошвы и от кровли водоносного пласта, $h_3 = h_4 = 1,5$ м.

$$l_{\phi} = 48 - 1,5 - 1,5 = 45 \text{ м.}$$

Применение первой схемы возможно для совершенных и несовершенных систем.

Для эксплуатации скважин выбраны насосы марки ЭЦВ 10-63-110 при глубине загрузки 100,0–110,0 м. Диаметр водоподъемных труб равен 114 мм.

Марка насоса и глубина его установки уточняются после производства опытной откачки в соответствии с фактическим статическим уровнем и удельным дебитом скважины.

Скважина оборудуется уровнемером и расходомером для периодических замеров динамического уровня и дебита.

Установка погружного насоса в скважину проводится после сооружения над ней павильона насосной станции.

Строительная откачка воды из скважины проводится в течение трех суток с дебитом не менее проектного.

После установки насоса производится герметизация устья скважины.

Определение пропускной способности фильтра

Пропускная способность фильтра, м³/сут, определяется по формуле

$$Q_{\phi} = \pi \cdot d_{\phi} \cdot l_{\phi} \cdot V_{\phi} \cdot \eta, \quad (21)$$

где V_{ϕ} – максимально допустимая скорость притока воды к фильтру, определенная по эмпирической зависимости

$$V_{\phi} = 65\sqrt[3]{k}; \quad (22)$$

$$V_{\phi} = 65\sqrt[3]{20} = 176,4;$$

η – скважность фильтра, т. е. отношение площади фильтра к площади его боковой поверхности; $\eta = 0,35$.

$$Q_{\phi} = 3,14 \cdot 0,168 \cdot 45 \cdot 176,4 \cdot 0,35 = 1465,9 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Если возникает необходимость в получении заданного количества воды Q_{ϕ} при условии ограниченной мощности водоносного слоя, а следовательно, и ограниченной длины фильтра l_{ϕ} , то приведенная формула решается относительно диаметра d_{ϕ} . В условиях практически неограниченной мощности водоносного слоя аналогично может быть определена требуемая длина фильтра l_{ϕ} .

Решение вопроса о возможности применения одиночной скважины

Вопрос возможности применения одиночной скважины решается сопоставлением расчетной производительности водозабора $Q_{\text{сут.р}}$, максимального притока воды к скважине $Q_{\text{скв}}$ и пропускной способности фильтра Q_{ϕ} .

$$\begin{aligned} Q_{\text{сут.р}} &= 12\,075 \text{ м}^3/\text{сут}; \\ Q_{\text{ч.р}} &= 503 \text{ м}^3/\text{ч}; \\ Q_{\text{скв}} &= 9042,7 \text{ м}^3/\text{сут}; \\ Q_{\phi} &= 1465,9 \text{ м}^3/\text{сут}. \end{aligned}$$

Если одновременно при круглосуточной работе скважины $Q_{\text{ч.р}} < \frac{Q_{\phi}}{24}$

и $Q_{\text{ч.р}} < \frac{Q_{\text{скв}}}{24}$, то принимают водозабор в виде одиночной скважины.

В данном случае

$$Q_{\text{ч.р}} > \frac{Q_{\phi}}{24};$$

$$503 \text{ м}^3/\text{ч} > \frac{1465,9}{24} = 61 \text{ м}^3/\text{ч},$$

т. е. необходим групповой водозабор.

Определение числа скважин в групповом водозаборе

Ориентировочное число скважин в групповом водозаборе определяется по формуле

$$n = \frac{Q_{\text{сут.р}}}{Q_{\phi}}; \quad (23)$$

$$n = \frac{12075}{1465,9} = 8,2 \text{ скв.}$$

Округлив величину n до ближайшего целого числа, получаем 9 скважин. Количество резервных скважин согласно табл. 10 [1] принимается равным 2.

Часовая производительность одной скважины, м³/ч, определяется по формуле

$$Q = \frac{Q_{\text{ч.р}}}{n}, \quad (24)$$

$$Q = \frac{503}{9} = 55,9 \text{ м}^3/\text{ч} = 1341,3 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Действительное понижение уровня S , м, определяется по формуле

$$S = \frac{R \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot m}. \quad (25)$$

При этом в формуле (20) изменится значение гидравлического сопротивления R_0 , входящего в состав общего гидравлического сопротивления R и определяемого в зависимости от типа водозабора.

При линейном расположении скважин гидравлическое сопротивление определяется по формуле

$$R_0 = \ln \frac{2,7 \cdot R_{\text{ск}}}{l} + \frac{1}{n} \cdot \ln \frac{l}{\pi \cdot r \cdot n}, \quad (26)$$

где l – расстояние между скважинами, м; $l = 100$ м.

$$R_0 = \ln \frac{2,7 \cdot 4963,6}{100} + \frac{1}{9} \cdot \ln \frac{100}{3,14 \cdot 0,084 \cdot 9} = 5,3.$$

Общее гидравлическое сопротивление определяем по формуле $R = R_0 + \beta \cdot$. При этом коэффициент

$$\beta = \frac{Q_{\text{скв}}}{Q_{\text{сут.р}}} = \frac{1341,3}{12 \cdot 075} = 0,12;$$

$$R = R_0 + \beta \cdot = 5,3 + 0,12 \cdot 13 = 15 \text{ м.}$$

Тогда действительное понижение уровня

$$S = \frac{15 \cdot 1341,7}{2 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 48} = 3,3 \text{ м.}$$

Определяем длину водопроводной трубы от насоса до верха скважины:

$$l_{\text{водопр.тр}} = C + S_{\text{ф}} + 3 = 113 + 3,3 + 3 = 119,3 \text{ м.}$$

$$C = \sum_5 -H = 157 - 44 = 113 \text{ м.}$$

Выбор водоподъемного оборудования

Расчетная производительность насосов на водозаборах подземных вод зависит от потребности в воде и схемы водоснабжения объекта. В проекте принята равномерная работа насосов, рассчитанная на производительность скважины, величина которой была определена по формуле (24).

$$Q = 55,9 \text{ м}^3/\text{ч} = 15,5 \text{ л/с.}$$

При отборе воды из скважины напор насоса $H_{\text{нас}}$, м, определяется с учетом геометрической высоты подъема воды $H_{\text{г}}$, понижения уровня S

и потерь напора в водоподъемной трубе $h_{\text{в.т}}$, в насосной станции $h_{\text{н.с}}$ и на напорном водоводе $h_{\text{н}}$, т. е.

$$H_{\text{нас}} = H_{\text{г}} + S + h_{\text{в.т}} + h_{\text{н.с}} + h_{\text{н}}, \quad (27)$$

где

$$H_{\text{г}} = Z_{\text{р.о.с}} - Z_{\text{с.у}}, \quad (28)$$

$Z_{\text{с.у}}$ – отметка статического уровня подземных вод, м; $Z_{\text{с.у}} = 40$ м; $Z_{\text{р.о.с}}$ – отметка уровня воды в сборном резервуаре на очистной станции.

$$H_{\text{г}} = 113 + 17 - 40 = 90 \text{ м;}$$

$h_{\text{в.т}}$ – потери напора в водоподъемных трубах длиной $l_{\text{в.т}}$;

$$h_{\text{в.т}} = \frac{A \cdot Q^2 \cdot l_{\text{в.т}}}{86 \cdot 400^2}. \quad (29)$$

Здесь Q – расход, подаваемый скважиной, м³/сут; A – коэффициент сопротивления водоподъемных труб, который определяется в зависимости от диаметра D по формуле

$$A = k/D^p. \quad (30)$$

Значения коэффициентов k и p , определяющих коэффициент сопротивления водоподъемных труб в зависимости от материала, для стальных труб следующие: $k = 0,001736$ и $p = 15,3$.

Определяем диаметр водоподъемной трубы:

$$d = 150 \text{ мм; } v = 0,81 \text{ м/с.}$$

Поправочный коэффициент для $v = 0,81$ м/с $k = 0,958$.

$$h_{\text{в.т}} = \frac{22,04 \cdot 1341,7^2 \cdot 119,3}{86 \cdot 400^2} = 0,6 \text{ м;}$$

$h_{\text{н.с}}$ – потери в насосной станции, $h_{\text{н.с}} = 2$ м; $h_{\text{н}}$ – потери напора в сборном напорном водоводе от скважины к месту подачи воды, м, определяемые по формуле

$$h_{\text{н}} = 1,05 \cdot i_{\text{н}} \cdot l_{\text{н}}, \quad (31)$$

где $l_{\text{н}}$ – длина сборного водовода, м; $i_{\text{н}}$ – потери напора на 1 пог. м длины водовода, принимаемые по таблицам [10].

Длина сборного водовода определяется принятой линейной схемой водовода. При определении длины сборного водовода помимо расстояния между водозаборными скважинами $l = 100$ м дополнительно учитываем расстояние от скважины до сборного водовода (5 м).

Для устройства напорных водоводов применяют стальные трубы с внутренней изоляцией. Диаметры напорных водоводов принимаем исходя из скорости движения воды в них: 0,4–0,7 м/с – для диаметров 100–400 мм; 0,7–1 м/с – для диаметров 500–1000 мм.

Линейные сборные водоводы проектируем по телескопической схеме с постепенным увеличением диаметров по мере подключения скважин (рис. 26).

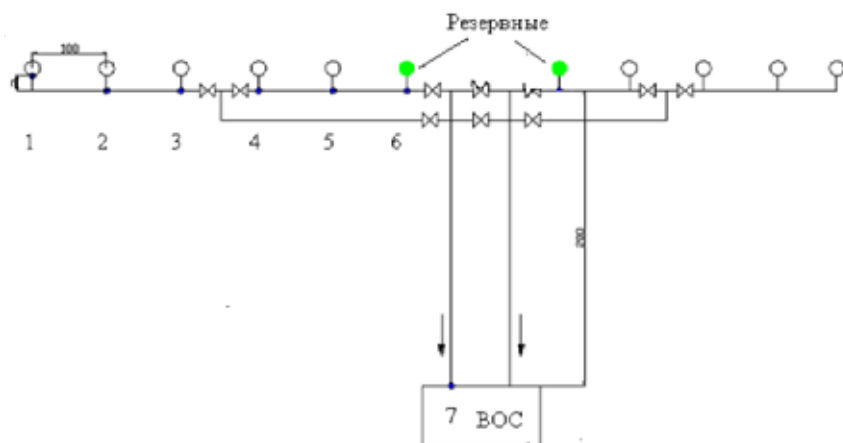


Рис. 26. Расчетная схема линейных сборных водоводов

Данные по участкам сведены в табл. 13.

Таблица 13

Расчетные данные по участкам напорного водовода

№ участка	Длина участка	Расход, л/с	$d_{тр}$, мм	v , м/с	1000i	$h=1,05 il$
1–2	100	15,5	180	0,68	5,4	0,6
2–3	100	31	250	0,58	2,4	0,25
3–4	100	46,5	300	0,61	2	0,21
4–5	100	62	350	0,6	1,6	0,17
5–6	100	77,5	400	0,58	1,3	0,14
6–7	230	93	400	0,7	1,8	0,19
Итого	–	–	–	–	–	1,56

$$H_{нас} = 90 + 3,3 + 0,6 + 2 + 1,56 = 97,46 \text{ м.}$$

Подбор насосного оборудования производим по следующим параметрам:

$$Q = 55,8 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$H = 97,46 \text{ м.}$$

Для эксплуатации скважин рекомендуются погружные насосы марки ЭЦВ 10-65-110 с расходом 65 м³/ч и напором 110 м с электродвигателем 6 ПЭД 32-219 мощностью 32 кВт при глубине загрузки 100,0–110,0 м. Диаметр водоподъемных труб составляет 114 мм.

Марка насоса и глубина его установки уточняются после производства опытной откачки в соответствии с фактическим статическим уровнем и удельным дебитом скважины.

Скважина оборудуется уровнемером и расходомером для периодических замеров динамического уровня и дебита.

Установка погружного насоса в скважину производится после сооружения над ней павильона насосной станции.

Строительная откачка воды из скважины проводится в течение трех суток с дебитом не менее проектного.

После установки насоса производится герметизация устья скважины.

Скважинный водозабор включает водозаборную скважину и здание насосной станции на скважине.

Здание насосной станции запроектировано в наземном исполнении. В здании размещены пульт управления насосом, водомерный узел, регулирующая и запорная арматура, оборудованы узлы для подачи воды в передвижную тару.

Герметизация устья скважины осуществлена с помощью оголовка, конструкция которого принята по типовому решению серии 4.901-16 «Герметизированные оголовки трубчатых колодцев», и достигается созданием уплотнений из резиновых прокладок. Уплотнение кромки устья скважины происходит под действием веса насоса и водоподъемных труб на резиновую прокладку через фланец опорного колена. Уплотнение в местах проходки электрокабеля и пьезометрической трубки через фланцы осуществляется сжатием резиновой прокладки болтами, скрепляющими фланцы, и при помощи сальниковых ниппелей.

Устьевой патрубком бетонируется в фундамент устья скважины.

Учет объема откачиваемой воды осуществляется счетчиками холодной воды.

Трубопроводы и трубопроводная арматура, установленные в здании станции, обеспечивают подачу воды в резервуары чистой воды.

Здания павильонов над скважинами запроектированы из кирпича с продольными несущими стенами. Габаритные размеры в плане в осях 2,7×3,4 м, высота здания до низа плит покрытия – 3,0 м.

Огнестойкость здания – II степени, категория здания по взрывопожарной и пожарной опасности – Д (по НПБ 105–95).

Стены здания толщиной 510 мм – из кирпича М125 (ГОСТ 530–95) на растворе М50, облицованные лицевым кирпичом М150 (ГОСТ 7484–78).

Покрытие – из сборных железобетонных многпустотных плит. В покрытии здания предусмотрен люк для обслуживания погружных насосов.

Кровля – скатная, четырехслойная рулонная по утеплителю и пароизоляции с поверхностным слоем из гравия, втопленного в битумную мастику.

Полы – из керамической плитки по подстилающему слою из бетона В7,5.

Заполнение дверных проемов – металлический глухой однопольный блок утепленный.

Отмостка вокруг здания – асфальтовая по щебеночному основанию.

Внутренняя отделка:

- потолков – затирка швов, клеевая побелка;
- стен – штукатурка и клеевая окраска, низа стен – глазурованная плитка.

Фундаменты здания павильона – ленточные из сборных бетонных блоков.

Устье скважины располагаем в наземном павильоне из кирпича. Габариты павильона в плане принимаем из условия размещения в нем оголовка скважины, контрольно-измерительных приборов, расходомера и арматуры.

Верхняя часть эксплуатационной колонны выступает над полом на 0,5 м. Конструкция оголовка скважины обеспечивает полную герметизацию, исключаящую проникновение в межтрубное и затрубное пространство скважины поверхностной воды и загрязнений.

Диаметр обводной линии $d = 150$ мм.

Вантуз, установленный над оголовком скважины, имеет следующие технические характеристики:

- условный проход присоединительного патрубка $D_y = 100$ мм;
- диаметр выпускного отверстия $d = 2 \times 5$ мм;
- давление $P_{\max}$, при котором вантуз работоспособен, равен 2,3 атм;

- марка манометра ВМТ-100;
- масса $m = 71$ кг;
- завод-изготовитель – «Водоприбор».

Размеры павильона скважины в плане составят 2,7×3,4 м.

Оборудование наземного павильона скважины и конструкция оголовка скважины представлены на рис. 12, а.

11.5. Зона санитарной охраны водозабора

В соответствии со СНиП 2.04.02–84 и СанПиН 2.1.4.1110–02 зона санитарной охраны (ЗСО) источника водоснабжения (скважин) должна состоять из трех поясов: первого – строгого режима, второго и третьего – режимов ограничения.

Санитарно-оздоровительные и защитные водоохранные мероприятия устанавливаются для каждого пояса ЗСО в соответствии с его назначением и выполняются как единовременные меры, осуществляемые до начала эксплуатации водозабора (например, снос строений, устройство ограды и др.), либо как постоянные мероприятия режимного характера (запрещение любого строительства, использование ядохимикатов и др.).

В окрестности водозабора устанавливается зона санитарной охраны (ЗСО), в которой осуществляются специальные мероприятия, исключаяющие возможность поступления загрязнений в водозабор и водоносный пласт в районе водозабора.

При организации ЗСО учитывается вид загрязнений (микробное, химическое), определяющий их устойчивость (стабильность) и возможную длину пути продвижения в водоносном пласте.

Если время нисходящего движения загрязнений к месту водозабора меньше 400 сут, водоносный горизонт является не защищенным от микробных загрязнений, фильтрующихся через перекрывающую толщу пород. Если время движения меньше 25–50 лет, то водоносный горизонт не защищен от нейтральных химических загрязнений.

В случаях, когда залегающая над водоносным горизонтом толща пород не обеспечивает естественной защищенности подземных вод от поверхностного загрязнения, защита водозабора в пределах ЗСО реализуется специальными мероприятиями так, чтобы возможные источники загрязнений были удалены от границ ЗСО на расстояние, при котором длительность движения загрязнений по пласту будет не меньше заданной.

Бурение скважин проектируется на водоносный горизонт протерозойских песчаников. Горизонт надежно защищен от поверхностного загрязнения мощной толщей вышележающих водоупорных пород (суглинки четвертичных и глины плотные аргиллитоподобные протерозойских отложений) в пределах всех трех поясов зоны санитарной охраны скважин и относится по гидрогеологическим характеристикам к типу защищенных.

Кроме того, проектируемая конструкция скважин предусматривает ряд технических мероприятий, обеспечивающих надежность санитарного состояния скважин:

- интервал 0,0–45,0 м (четвертичные отложения, грунтовые воды) перекрываются колонной обсадных труб $D = 426$ мм с цементированием затрубного пространства и подъемом цементного раствора до устья скважины; колонна выводится на 0,5 м выше дневной поверхности;

- интервал 0,0–150,0 м перекрывается колонной обсадных труб $D = 273$ мм с цементацией затрубного пространства и подъемом цементного раствора до устья скважины; колонна выводится на 0,5 м выше дневной поверхности.

В состав ЗСО входят три пояса:
 первый – строгого режима;
 второй и третий – ограниченный.

Граница первого пояса ЗСО устанавливается на расстоянии не менее 30 м от водозабора при использовании защищенных подземных вод (защищенными являются напорные воды). Так как рассмотрен групповой водозабор, граница первого пояса удалена от крайних скважин на 30 м.

Зона строгого режима запрещает строительство промышленных предприятий, сельскохозяйственной деятельности и т. п.

Размеры зон ограничений определяются гидрогеологическими условиями расположения скважин и временем движения частиц загрязненной жидкости от границ зоны до водозабора, в течение которого происходит естественная очистка бактериально или химически загрязненных вод.

Границы второго и третьего поясов ЗСО устанавливаются на таких расстояниях, чтобы загрязнения, проникшие в водоносный горизонт за пределами зон ограничений, не могли при эксплуатации скважин достигнуть водозабора в концентрациях, не допустимых по СанПиН 2.1.4.1110–02.

Граница второго пояса ЗСО устанавливается гидродинамическими расчетами. Основным параметром, определяющим расстояние от границы второго пояса ЗСО до водозабора, является расчетное время T_m продвижения микробного загрязнения с потоком подземных вод к водозабору, которое должно быть достаточным для эффективного самоочищения воды. Поскольку скважины находятся во II климатическом районе и не имеют непосредственной гидравлической связи с открытым водоемом, то принимаем $T_m = 200$ сут.

Удаление границ ЗСО вверх по течению потока определяется по формуле

$$T = \frac{\mu}{K \cdot i} \cdot \left[R_b - \frac{0,366 \cdot Q_{\text{сут.ф}}}{0,8 \cdot m \cdot K \cdot i} \cdot \lg \left(\frac{6,28 \cdot 0,8 \cdot m \cdot K \cdot i \cdot R_b}{Q_{\text{сут.ф}}} + 1 \right) \right] =$$

$$= \frac{0,3}{20 \cdot 0,02} \cdot \left[R_b - \frac{0,366 \cdot 1465,9}{0,8 \cdot 48 \cdot 20 \cdot 0,02} \cdot \lg \left(\frac{6,28 \cdot 0,8 \cdot 48 \cdot 20 \cdot 0,02 \cdot R_b}{1465,9} + 1 \right) \right]. \quad (32)$$

При принятом расчетном времени $T_m = 200$ сут радиус влияния R_b составит 350 м.

Принимаем $R_b = 350$ м, т. е. граница второго пояса устанавливается на расстоянии 350 м.

Третий пояс предназначен для защиты подземных вод от химических загрязнений. Расчетное время T_x продвижения загрязнений должно быть больше проектного срока эксплуатации водозабора, но не менее 25 лет. $T_x = 46$ лет. Расположение границы третьего пояса ЗСО определяется гидродинамическими расчетами.

Удаление границ ЗСО вверх по течению потока рассчитывается по формуле

$$T = \frac{\mu}{K \cdot i} \cdot \left[R_b - \frac{0,366 \cdot Q_{\text{сут.ф}}}{0,8 \cdot m \cdot K \cdot i} \cdot \lg \left(\frac{6,28 \cdot 0,8 \cdot m \cdot K \cdot i \cdot R_b}{Q_{\text{сут.ф}}} + 1 \right) \right] =$$

$$= \frac{0,3}{20 \cdot 0,02} \cdot \left[R_b - \frac{0,366 \cdot 1465,9}{0,8 \cdot 48 \cdot 20 \cdot 0,02} \cdot \lg \left(\frac{6,28 \cdot 0,8 \cdot 48 \cdot 20 \cdot 0,02 \cdot R_b}{1465,9} + 1 \right) \right]. \quad (33)$$

$$T = T_m = 16790 \text{ сут (46 лет)}.$$

$$R_b = 23 \text{ 000 м, фактически } T = 17 \text{ 167 сут (47 лет)}.$$

Принимают $R_b = 23\ 000$ м, т. е. граница третьего пояса устанавливается на расстоянии 23 000 м.

Удаление границ ЗСО вниз по течению потока подземных вод определяется по формуле

$$r_b = \frac{Q_{\text{сут.ф}}}{2 \cdot \pi \cdot K \cdot 0,8 \cdot m \cdot i} = \frac{1465,9}{2 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 0,8 \cdot 48 \cdot 0,02} = 15,2 \text{ м.} \quad (34)$$

Граница ЗСО в поперечном сечении, проходящем через скважину перпендикулярно направлению движения потока,

$$2d = \frac{Q_{\text{сут.ф}}}{2 \cdot 0,8 \cdot m \cdot K \cdot i} = \frac{1465,9}{2 \cdot 0,8 \cdot 48 \cdot 20 \cdot 0,02} = 47,7 \text{ м.} \quad (35)$$

С учетом возможности расширения границ ЗСО до нейтральной линии тока в процессе длительной эксплуатации водозабора величина $2d_{\text{max}}$, м, в сечении, отстоящем от скважины на расстоянии R_b , подсчитываем по формуле

$$2d_{\text{max}} = \frac{Q_{\text{сут.ф}}}{0,8 \cdot m \cdot K \cdot i} = \frac{1465,9}{0,8 \cdot 48 \cdot 20 \cdot 0,02} = 95,4 \text{ м.} \quad (36)$$

Таким образом, границы зон санитарной охраны определены.

Рекомендуемая литература

1. СНиП 2.04.02–84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М., 1985.
2. Водозаборно-очистные сооружения и устройства / под. ред. М. Г. Журбы. – М.: Астрель, 2003. – 568 с.
3. Пособие по проектированию сооружений для забора подземных вод / ВНИИ ВОДГЕО. – М.: Госстройиздат, 1989. – 270 с.
4. Гуринович, А. Д. Системы питьевого водоснабжения с водозаборными скважинами / А. Д. Гуринович. – Минск: УП «Технопринт», 2004.
5. Курганов, А. М. Водозаборные сооружения систем коммунального водоснабжения / А. М. Курганов. – М.: АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 1998. – 246 с.
6. Водоснабжение Санкт-Петербурга / под ред. Ф. В. Кармазинова. – СПб.: Изд-во «Новый журнал», 2003.
7. Гаврилко, В. Н. Фильтры буровых скважин / В. Н. Гаврилко, В. С. Алексеев. – М.: Недра, 1985. – 334 с.
8. ГОСТ 10428–84. Агрегаты электронасосные центробежные скважинные для воды. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1989.
9. Lakos pump protection Seeparators // Lacos separators. – 1992. – 22 с.
10. Курганов, А. М. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения / А. М. Курганов. – Л.: Стройиздат, 1986. – 440 с.
11. СанПиН 2.1.4.1110–02. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения. – М., 2002.
12. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М., 2001.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
1. Выбор схемы и системы питьевого водоснабжения из подземных источников	7
2. Конструкции водозаборных скважин	17
2.1. Конструкция и обустройство водозаборной скважины	19
3. Конструкции фильтров водозаборных скважин	29
4. Подбор и расчет фильтров	37
5. Снижение производительности водозаборных скважин	41
6. Методы восстановления производительности водозаборных скважин	43
7. Водоподъемное оборудование водозаборных скважин	45
8. Технологические схемы оборудования скважин погружными насосами с устройствами беструбной подвески	50
9. Защита погружных насосов от пескования водозаборных скважин	51
10. Особенности проектирования установок обезжелезивания и деманганации воды в водоносном пласте	54
11. Пример проектирования и расчета водозабора	57
11.1. Гидрогеологическая характеристика водозабора	57
11.2. Оценка эксплуатационных запасов воды	60
11.3. Выбор типа водозахватных устройств и состава сооружений водозабора	61
11.4. Гидрогеологический расчет водозабора	65
11.5. Зона санитарной охраны водозабора	75
Рекомендуемая литература	79

Учебное издание

Курганов Анатолий Матвеевич
Вуглинская Евгения Эдуардовна

ВОДОЗАБОРЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Редактор А. В. Афанасьева
Корректор К. И. Бойкова
Компьютерная верстка И. А. Яблоковой

Подписано к печати 23.12.09. Формат 60×84 1/16 Бум. офсетная.
Усл. печ. л. 4,7. Уч.-изд. л. 5,0. Тираж 300 экз. Заказ 163. «С» 81.
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4.
Отпечатано на ризографе. 190005, 2-я Красноармейская ул., 5.