Библиотека СОК

С. К. АБРАМОВ
Н. Н. БИНДЕМАН М. П. СЕМЕНОВ

ВОДОЗАБОРЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

СТРОЙИЗДАТ

1947

К. АБРАМОВ, Н. Н. БИНДЕМАН, М. П. СЕМЕНОВ

ВОДОЗАБОРЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО СТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва — 1947

Редактор *А. Р. Березинский*

В настоящей книге изложены принципиальные установки и содержание гидрогеологических изысканий для водоснабжения в различных природных условиях, а также приводится описание конструкций водозаборов, эксплоатирующих подземные воды, и методов их гидрогеологического проектирования.

Особенностью данной работы является комплексное изложение вопросов изысканий и проектирования.

Книга рассчитана на широкие круги инженеров-гидрогеологов и водоснабженцев. Кроме того, она может служить пособием для студентов втузов соответствующих специальностей.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 5

Первая часть. **Гидрогеологические изыскания**

Глава I. **Факторы, влияющие на объем и содержание гидрогеологических изысканий** 7
1. Стадии проектирования и изысканий . . . . . —
2. Степень изученности района 8
3. Гидрогеологические условия 9
4. Требования к количеству и качеству подземных вод и водообильность района 13

Глава II. **Состав гидрогеологических изысканий** 14
1. Общие установки . . . . . —
2. Подготовительные работы 16
3. Съемочные работы 17
4. Буровые работы 19
5. Опытные откачки 24
6. Изучение режима подземных вод 30
7. Лабораторные работы 33
8. Гидрогеологические изыскания при восстановлении или расширении водоснабжения 34
9. Гидрогеологические указания для опробования вертикальных водозаборов и наблюдения при их эксплоатации . . 36

Глава III. **Определение запасов подземных вод** 38
1. Основные понятия и термины . . . . . —
2. Методы определения запасов подземных вод 46
3. Классификация запасов подземных вод по степени их изученности и применительно к стадиям проектирования водоснабжения 60

Вторая часть. **Гидрогеологическое проектирование водозаборов**

Глава IV. **Общие положения** 66
1. Предварительные замечания . . . . . —
2. Этапы и элементы проектирования водозаборов . . . . —
3. Выбор участков для заложения водозаборов 69
4. Основные виды водозаборов и условия их применения . 71
5. Конструктивные типы водозаборов и их выбор . . . . —
6. Установление зон санитарной охраны 73

Глава V. **Буровые скважины** 75
1. Общие замечания . . . . . —
2. Конструкции буровых скважин 76
3. Способы бурения 89

Стр.

Глава VI. **Конструкции фильтров буровых скважин, их подбор и расчет** 94
1. Конструкции фильтров . . . . . —
2. Выбор типа фильтра 101
3. Определение основных размеров фильтра . . . . . —
4. Определение предельных входных скоростей 106
5. Определение величины разрыва уровней воды 110
6. Определение размеров фильтровых отверстий и подбор материала для фильтрующих обсыпок 111

Глава VII. **Расчет дебита буровых скважин** 113
1. Одиночные скважины . . . . . —
2. Взаимодействующие скважины 126
3. Скважины, расположенные поблизости от поверхностного водоема 132

Глава VIII. **Шахтные колодцы** 134
1. Конструкции шахтных колодцев, их элементы и размеры Способы производства работ . . . . . —
2. Расчет дебита шахтных колодцев 152

Глава IX. **Бесфильтровые скважины в водоносных песках** . 163
1. Общие замечания . . . . . —
2. Производство работ 165
3. Расчет дебита бесфильтровых скважин 166
4. Особенности эксплоатации бесфильтровых скважин . . . 178

Глава X. **Горизонтальные водозаборы** . . . . . —
1. Общие замечания . . . . . —
2. Конструкции горизонтальных водозаборов. Способы работ по их устройству 179
3. Трассирование горизонтальных водозаборов 192

Глава XI. **Расчеты горизонтальных водозаборов** 194
1. Гидрогеологические расчеты . . . . . —
2. Гидравлические расчеты 209

Глава XII. **Каптажи источников** 210
1. Общие замечания . . . . . —
2. Типы каптажных устройств 211

Глава XIII **Выбор типа водоподъемника** 216

Приложения I—V. Характеристики насосов 220
Перечень литературы 226

ПРЕДИСЛОВИЕ

Водозаборы, эксплоатирующие подземные воды для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения, применяются в СССР повсеместно.

Подземные воды, в противоположность поверхностным, обычно безупречны в санитарном отношении и поэтому являются наиболее желательным источником питьевого водоснабжения. Вместе с тем подземные воды представляют существенный интерес и для промышленного водоснабжения, особенно в тех случаях, когда возможные источники поверхностных вод значительно удалены от потребителя или имеют неудовлетворительные физико-химические характеристики.

Изыскания источников подземных вод для целей водоснабжения и проектирование водозаборов, эксплоатирующих эти воды, — довольно трудная задача. Это обусловливается многообразием природных условий нашей страны, а часто слабой или недостаточной изученностью того или иного района в гидрогеологическом отношении.

Вопросы изысканий и проектирования водозаборов подземных вод не нашли комплексного и достаточно полного освещения в литературе. Между тем отделять гидрогеологическое проектирование от гидрогеологических изысканий не только не целесообразно, но в большинстве случаев даже и невозможно.

Предлагаемая работа и имеет своей целью хотя бы частично восполнить этот пробел; разработана она в виде практического пособия и состоит из двух основных частей. В первой части работы освещаются факторы, влияющие на объем и содержание гидрогеологических изысканий для целей водоснабжения, и дается состав работ применительно к отдельным этапам изысканий, а также описываются методы определения запасов подземных вод. Во второй части рассматриваются: этапы и элементы проектирования водозаборов и выбор участков для их заложения, типы и конструкции водозаборов и условия их применения,

а также излагаются методы расчета водозаборов и вопрос о выборе способов производства работ. Значительное внимание в книге уделено вопросам, наименее освещенным в существующей литературе: определению запасов подземных вод и их классификации, расчетам дебита водозаборов, подбору и расчету фильтров, методам проектирования бесфильтровых скважин и т. д. Освещение указанных вопросов в предлагаемой работе дается с широким использованием авторами своих последних тематических и экспериментальных работ, проведенных ими в Институте Водгео.

Особенностью предлагаемой работы является комплексное изложение вопросов проведения гидрогеологических изысканий и проектирования водозаборов, эксплоатирующих подземные воды.

Книга рассчитана на широкие круги инженеров-гидрогеологов и водоснабженцев. Кроме того, она может служить пособием для студентов втузов соответствующих специальностей.

Работа составлена старшими научными сотрудниками Института Водгео: С. К. Абрамовым — главы IV (разделы 1—5), VI, VIII (раздел 1) X, XI, XII, XIII, Н. Н. Биндеманом — главы VII, VIII (раздел 2), IX и М. П. Семеновым — главы I, II, III, IV (раздел 6), V.

ПЕРВАЯ ЧАСТЬ

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Глава I

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Объем и содержание гидрогеологических изысканий зависят от стадии проектирования водоснабжения, требований к количеству и качеству подземных вод, сложности природных условий и степени изученности подземных вод района.

1. Стадии проектирования и изысканий

По постановлению СНК СССР от 28/II 1938 г. проект водоснабжения разрабатывается в трех стадиях: проектное задание, технический проект и составление рабочих чертежей. Кроме того, для очень крупных объектов или районного водоснабжения составляется иногда предварительный проект или генеральная схема водоснабжения.

Применительно к этим стадиям проектирования устанавливается объем гидрогеологических изысканий, которые должны иметь следующие целевые установки:

а) Изыскания к проектному заданию должны установить водообильность района и оценить возможность и экономическую целесообразность получения подземных вод, количество и качество которых удовлетворяют потребность проектируемого водоснабжения. На основании материалов изысканий выбираются наиболее водообильные участки, удобные для устройства водозаборов, и рекомендуется программа детальных изысканий к техническому проекту.

б) Изыскания к техническому проекту должны дать исчерпывающую характеристику водообильности выбранных в проектном задании водоносных горизонтов и рекомен-

довать конкретные пункты для окончательного проектирования отдельных водозаборных сооружений и всего водозабора в целом. Материалы изысканий должны освещать санитарно-технические условия района для проектирования зон санитарной охраны.

в) Целью гидрогеологических работ к стадии составления рабочих чертежей являются уточнение и проверка принятых в техническом проекте положений о динамических уровнях, дебите и расстоянии между отдельными водозаборными сооружениями, а также о режиме эксплоатации всего водозабора.

Кроме того, гидрогеологические изыскания производятся и вне перечисленных стадий проектирования, например для выяснения целесообразности поисков подземных вод в малоизученных районах, для расширения и реконструкции существующих водозаборов и для восстановления разрушенных водозаборов.

2. Степень изученности района

Необходимость организации гидрогеологических изысканий и содержание этих работ должны рассматриваться в зависимости от степени геолого-гидрогеологической изученности района. Район может считаться хорошо изученным, если имеются материалы (литературные или архивные), детально освещающие геологическое строение и гидрогеологические условия района, а также если имеются конкретные данные о водообильности и химизме водоносных горизонтов, динамических уровнях и дебите отдельных эксплоатируемых скважин или материалы длительных опытных откачек. Для этих районов полевые гидрогеологические изыскания к проектному заданию могут быть полностью или частично заменены камеральной обработкой собранных материалов и составлением расширенного гидрогеологического заключения к проекту. При значительной водообильности хорошо изученного района и небольшой потребности в воде в ряде случаев можно отказаться от полевых гидрогеологических изысканий и к техническому проекту или наметить их в небольшом объеме и только для уточнения отдельных менее ясных вопросов.

Если имеющиеся материалы освещают лишь геологическое строение и общие гидрогеологические условия данного района, конкретных же характеристик водоносных

горизонтов нет, то для обоснования проектного задания водоснабжения не только крупных, но (в отдельных случаях) и небольших объектов требуются полевые гидрогеологические изыскания, хотя и в уменьшенном объеме. Такие районы следует считать мало изученными.

И, наконец, следует считать неизученными те районы, по которым имеются литературные материалы, освещающие в общем виде лишь геологическое строение территории. В этих районах гидрогеологические изыскания необходимо производить в полном объеме.

3. Гидрогеологические условия

Объем и содержание гидрогеологических изысканий изменяются в зависимости от характерных особенностей формирования и режима подземных вод, состава водоносных пород и геологической структуры района.

Грунтовые воды залегают на сравнительно небольшой глубине и имеют питание по всей площади распространения водоносного горизонта и местное дренирование. Режим этих вод тесно связан с климатическими особенностями и топографией местности, а поэтому весьма изменчив. Залегают грунтовые воды чаще всего в толще четвертичных отложений, отличающихся обычно большой невыдержанностью литологического состава, вследствие чего мощность водоносного горизонта, водоотдача, водопроницаемость и гидравлические уклоны потока грунтовых вод претерпевают существенные изменения даже на небольших расстояниях. Грунтовые воды зачастую бывают связаны с поверхностными водами болот и торфяников и, кроме того, слабо защищены от поверхностного загрязнения.

Поэтому для изучения грунтовых вод как источника водоснабжения требуется разнообразный, достаточно большой и полный комплекс гидрогеологических изысканий: геолого-гидрогеологические съемки площади распространения водоносного горизонта, большое количество разведочных скважин и опытных откачек, изучение режима и запасов подземных вод, гидрометрические работы на поверхностных водотоках и водоемах, детальное санитарно-техническое обследование территории.

Межпластовые (артезианские и ненапорные) воды обычно приурочены к коренным породам, литологический состав и водопроницаемость которых остаются более или

менее одинаковыми на значительном протяжении водоносного слоя. Области питания и дренирования этих вод занимают лишь часть общей площади распространения водоносного горизонта, поэтому на остальной площади общий расход потока подземных вод остается постоянным в любом поперечном сечении водоносного слоя.

Вследствие указанных причин для разведки и изучения межпластовых вод требуется иной комплекс гидрогеологических изысканий. Например, геолого-гидрогеологические съемки территории заменяются рекогносцировочным обследованием. Общее обследование области питания подземных вод производится лишь для крупного водоснабжения и только при недалеком расположении этой области (не свыше 25 *км*) от участка проектируемых водозаборов. Поскольку для разведки требуется глубокое бурение, а межпластовые воды имеют более или менее постоянные гидрогеологические и химико-бактериологические характеристики, число разведочных скважин и скважин для изучения режима подземных вод сокращается, причем в отдельных случаях предусматривается использование этих скважин для эксплоатации. Санитарно-техническое обследование заменяется рекомендацией общих технических мероприятий, предотвращающих возможность загрязнения подземных вод непосредственно в самих водозаборах.

Лишь при наличии участков местного дренирования межпластовых вод на этих участках организуется более полный комплекс гидрогеологических и гидрометрических изысканий.

Высказанные выше положения по поводу объема и содержания гидрогеологических работ при изучении грунтовых и межпластовых вод иллюстрируются табл. 1.

Так как степень и характер трещиноватости, а также процессы последующего заполнения трещин продуктами выветривания, чрезвычайно разнообразны и изменчивы, для изучения водообильности и фильтрационных свойств скальных пород, как правило, требуется более значительный объем изысканий, чем для пород зернистых. Результаты разведки и опытных работ, выполненных для изучения подземных вод в скальных породах, трудно, а иногда и невозможно в полной мере распространять на соседние участки.

Геологическая структура и дислоцированность горных пород определяют общие гидрогеологические особенности

Таблица 1

№ п/п	Наименование отдельных элементов работ	Грунтовые воды (со свободной поверхностью) и неглубоколежащие межпластовые воды (не глубже 30—50 *м*)	Межпластовые воды с недалекими областями питания и дренирования (не свыше 25 *км*)	Межпластовые воды с отдаленными областями питания и дренирования (свыше 25 *км*)
1	Геолого-гидрогеологическая съемка	Площадная съемка	Рекогносцировочное обследование	Съемки не производятся
2	Санитарно-техническое обследование	Площадное обследование		Общее заключение
3	Разведочные работы в помощь съемке	Производятся в полном объеме	Производятся в сокращенном объеме	Не производятся
4	Разведочные скважины на воду	Бурятся в полном объеме	Бурятся в небольшом количестве	Бурятся редко
5	Разведочно-эксплоатационные скважины	Бурятся	Бурятся	Бурятся
6	Особые скважины для опытных узлов	Бурятся с 1—4 лучами наблюдательных скважин	Бурятся изредка с одним лучом наблюдательных скважин	Не бурятся
7	Особые скважины для изучения режима подземных вод	Бурятся	Бурятся в небольшом количестве	Бурятся редко
8	Опытные откачки	Производятся из одиночных скважин и групповые		Из одиночных скважин, реже групповые
9	Полевые изыскания для определения условия питания и дренирования подземных вод	Производятся для всей территории	Производятся в небольшом объеме	Не производятся
10	Лабораторные анализы проб воды	Производятся в большом объеме	Производятся в менее значительном объеме	
11	Лабораторные анализы грунтов	Производятся	Производятся в меньшем объеме	

Таблица 2

Водообильность района	Потребность в воде (мощность водоснабжения)			
	А. Очень крупное водоснабжение, потребность свыше 100 *л/сек*	Б. Крупное водоснабжение, потребность 100—50 *л/сек*	В. Среднее водоснабжение, потребность 50—20 *л/сек*	Г. Мелкое водоснабжение, потребность менее 20 *л/сек*
I. Районы большой водообильности, дебит 1 скважины свыше 25 *л/сек*	Полный объём изысканий	Сокращенный объем изысканий к проектному заданию и полный к техническому проекту	Гидрогеологическое заключение к проектному заданию, сокращенный объем изысканий к техническому проекту	Гидрогеологическое заключение к техническому проекту
II. Районы водообильные, дебит 1 скважины 25—10 *л/сек*	Полный объем изысканий		Сокращенный объем к проектному заданию, полный объем к техническому проекту	Гидрогеологическое заключение к проектному заданию, сокращенный объем к техническому проекту
III. Районы маловодообильные, дебит 1 скважины 10—3 *л/сек*	Изыскания производятся лишь при отсутствии других источников водоснабжения	Полный объем изысканий		Сокращенный объем изысканий к проектному заданию, полный объем к техническому проекту
IV. Районы маловодные, дебит 1 скважины менее 3 *л/сек*	Производить изыскания практически нецелесообразно	Изыскания производятся лишь при отсутствии других источников водоснабжения	Полный объем изысканий	

района и могут создать весьма своеобразные условия питания, дренирования, изоляции или взаимосвязи различных водоносных горизонтов или отдельных частей одного и того же горизонта.

В ряде случаев водоносные горизонты оказываются приуроченными только к зонам тектонических нарушений или в этих зонах резко изменяют свое положение и пьезометрический напор.

Поэтому в дислоцированных районах необходим некоторый дополнительный объем изыскательных работ для установления тектонической структуры местности, а затем для изучения каждого структурного элемента, причем для этой цели иногда с успехом могут применяться геофизические методы разведки.

При чередовании в вертикальном разрезе водоупорных и водопроницаемых пород в толще земной коры образуется несколько изолированных друг от друга водоносных горизонтов или несколько этажей подземных вод, отличающихся той или иной взаимосвязью. Изучение нескольких водоносных горизонтов, особенно нескольких этажей подземных вод, связано с более значительным объемом работ и требует применения особой методики для установления условий питания и производительности каждого горизонта в отдельности, характера их взаимосвязи и практической возможности раздельного или комплексного использования различных горизонтов для водоснабжения.

4. Требования к количеству и качеству подземных вод и водообильность района

Требования к количеству воды или мощность проектируемого водоснабжения имеют весьма большое значение при планировании гидрогеологических изысканий. Эти требования неизбежно приходится сопоставлять со степенью водообильности района.

Можно предложить следующую условную градацию мощности водоснабжения:

А. Очень крупное водоснабжение — при потребности воды . . . . . свыше 100 *л/сек*
Б. Крупное водоснабжение — при потребности воды . . . . . 100—50 „
В. Среднее водоснабжение — при потребности воды . . . . . 50—20 „
Г. Мелкое водоснабжение — при потребности воды . . . . . менее 20 „

По степени водообильности можно предложить следующую градацию:

I. Районы большой водообильности, для которых дебит одной эксплоатационной скважины превышает . . . . . 25 *л/сек*
II. Районы водообильные — дебит одной скважины . . . . . 10–25 „
III. Районы маловодообильные — дебит одной скважины . . . . . 3–10 „
IV. Районы маловодные — дебит одной скважины . . . . . менее 3 „

При различных сочетаниях потребного количества воды и степени водообильности района гидрогеологические изыскания должны планироваться по-различному: в сокращенном объеме и для централизованного расположения водозабора — при большой водообильности района; в полном объеме и для ряда водозаборов, разбросанных на значительной территории, — при малой водообильности района и т. п. В отдельных случаях полевые изыскания явно нецелесообразны (малая водообильность — большая потребность в воде) или они могут быть заменены гидрогеологическим заключением по имеющимся материалам (большая водообильность района, но малая потребность в воде). Примерная схема влияния этих факторов на объем изысканий дана в табл. 2.

Требования к качеству подземных вод, предъявляемые потребителем, могут иногда вызвать большой объем поисковых работ для выбора источника подземных вод определенного химического состава. После выбора такого источника, объем дальнейших изысканий почти не зависит от требований к качеству воды, так как изыскания в этой части сводятся к химико-бактериологическим анализам и санитарно-техническому обследованию района.

Глава II

СОСТАВ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

1. Общие установки

В состав изысканий источников подземных вод входят следующие элементы гидрогеологических работ:

а) геолого-гидрогеологическая, геоморфологическая и санитарно-техническая съемка и обследования;

б) бурение скважин, проходка шурфов, канав и расчисток;

в) геофизическая разведка;

г) откачки воды из искусственных выработок;

д) изучение режима подземных (иногда и поверхностных) вод;

е) изучение запасов подземных вод;

ж) лабораторные анализы вод и грунтов;

з) топографические привязки искусственных выработок, источников и характерных обнажений;

и) камеральная обработка материалов и составление отчетов и заключений к проекту.

Программа гидрогеологических изысканий составляется в соответствии с техническим заданием проектирующей организации. Объем и содержание изыскательских работ устанавливаются в результате анализа имеющихся литературных и архивных материалов, но при сложных природных условиях района и крупном водоснабжении целесообразно перед составлением программы произвести рекогносцировочное обследование и сбор дополнительных материалов на месте.

В тех случаях, когда в одном и том же районе подземные воды уже эксплоатируются или будут эксплоатироваться рядом водопотребителей различных министерств, независимо от договорных обязательств с каким-либо одним водопотребителем, материалы должны быть собраны по всем водозаборам для более полной оценки водообильности и условий эксплоатации подземных вод.

Анализ этих материалов может привести к выводу о необходимости производства некоторого объема исследований и наблюдений и по указанным водозаборам для учета запасов подземных вод и дачи конкретных практических указаний к проекту новых водозаборов.

В техническом задании проектной организации должны быть отражены следующие вопросы:

а) стадия проектирования;

б) потребное количество воды с подразделением на хозяйственно-питьевое и техническое водоснабжение;

в) требования к качеству воды в зависимости от назначения водоснабжения;

г) сезонные колебания и суточный график потребления воды;

д) очередность осуществления проекта водоснабжения в зависимости от планируемого роста водопотребления;

е) условия, при которых возможна замена подземных вод водами поверхностных источников;

ж) желательное и допустимое по технико-экономическим соображениям расстояние от пункта водопотребления до водозаборных сооружений;

з) требования в отношении общего срока окончания изысканий, срока представления общего отчета и частные сроки отдельных элементов изысканий, а также сроки представления промежуточных записок и заключений в помощь текущему проектированию.

Программа изысканий должна быть согласована с проектирующей организацией и до приступа к изысканиям соответствующим образом утверждена.

Однако в процессе изысканий и проектирования объем и содержание гидрогеологических изысканий могут по согласованию заинтересованных организаций видоизменяться по мере накопления новых данных.

Ниже излагаются некоторые принципиальные и методические соображения по отдельным элементам гидрогеологических работ. Следует, конечно, иметь в виду, что эти указания не могут в полной мере отразить весьма разнообразные условия гидрогеологических изысканий и лишь облегчают самостоятельную и инициативную работу гидрогеолога при составлении программы и производстве полевых изысканий по тому или иному конкретному объему водоснабжения.

2. Подготовительные работы

Начиная изыскания на новом объекте, гидрогеолог не может ограничиться общим ознакомлением с имеющимися материалами по району, которое выполняется для составления программы. Для более полного представления о природных особенностях и водообильности данного района обычно бывает необходимо собрать и подвергнуть предварительной обработке материалы по топографии, климату, геологии и гидрогеологии, а также материалы по бурению на воду и опытным откачкам не только по данному району, но и по прилежащей территории. Эти материалы приходится добывать в центральном геологическом фонде министерства геологии, в фондах Геологических управлений, а также в ведомственных архивах различных организаций; поэтому в программе изысканий должно быть запланировано некоторое время на сбор и разработку материалов. Эта работа должна продолжаться и в процессе производства изысканий, по мере обнаруже-

ния новых, не учтенных ранее литературных и архивных данных.

Изучение собранных материалов помогает более точно определить границы площади изысканий и конкретизировать методику их выполнения, а, кроме того, может послужить основанием для сокращения или изменения принятого в программе объема изыскательских работ.

Подготовительные работы к следующей стадии изысканий, если они выполняются тем же специалистом, естественно, резко сокращаются и сводятся к изучению состава проекта и новых материалов, которые накопились в различных организациях за последнее время. Если изыскания поручены другой организации, последняя, в порядке подготовки к полевым работам, должна иметь время на тщательное изучение материалов изысканий к предшествующей стадии проектирования.

Подготовительные организационные работы, которые необходимо сделать до выезда в поле, общеизвестны, но следует еще раз подчеркнуть важность тщательного и заблаговременного подбора бурового, насосного и силового оборудования, соответствующего целям и задачам изысканий.

3. Съемочные работы

Съемочные работы должны производиться в точном соответствии с инструкциями министерства геологии СССР. Поэтому излагаемые ниже методические соображения лишь подчеркивают особенности съемочных работ при изысканиях для целей водоснабжения.

В задачи геолого-гидрогеологической съемки входит изучение геологического строения, тектоники, литологического состава и трещиноватости пород, геоморфологических и гидрогеологических условий и особенно условий питания и дренирования подземных вод.

Для характеристики условий питания и дренирования грунтовых вод и неглубоких межпластовых вод при съемке оконтуриваются площади выхода водоносных слоев на поверхность земли и участки этой площади, где водоносные слои прикрыты фильтрующими породами.

Особенно тщательно обследуется гидрографическая сеть на тех участках, где возможна фильтрация поверхностных вод в водоносные горизонты или дренирование последних в поверхностные водотоки. При обнаружении таких участков на них производятся эпизодические гидро-

метрические замеры поверхностных водотоков и источников, а в отдельных случаях организуются временные гидрометрические посты и створы.

В помощь съемке выполняется некоторый объем разведочных работ в соответствии с указанием Единых типовых норм на геологоразведочные работы, утвержденных Экономсоветом при СНК СССР постановлением № 595 от 23/IV 1940 г. Зондировочное бурение и шурфовка при неглубоком залегании подземных вод могут служить и для уточнения гидрогеологических условий района, при более глубоком залегании подземных вод эти условия выясняются обследованием колодцев, скважин и глубоких горных выработок.

В районах, отличающихся большой сложностью геологических условий (сложная тектоника, дислокации, карст, залежи солей, зоны минерализованных вод, сложный древний рельеф), в помощь геолого-гидрогеологической съемке применяется геофизическая разведка и устраиваются разведочные скважины, не предусмотренные Едиными типовыми нормами.

Съемочные работы необходимо производить в начале изысканий, чтобы по материалам съемки можно было внести коррективы в план разведочного и эксплоатационного бурения. При изысканиях для крупного водоснабжения, особенно в сложных природных условиях, безусловно целесообразно выделять в первый этап изысканий съемочные работы и некоторый объем буровых разведочных работ.

При изысканиях в районе распространения грунтовых и неглубоких межпластовых вод съемочные работы общего характера производятся по всей площади, а детальные съемки — на участках возможного расположения водозаборов. Для общих съемок может быть принят масштаб 1 : 50 000, 1 : 100 000 и реже 1 : 200 000, для детальных съемок — масштаб 1 : 25 000, 1 : 10 000, реже 1 : 5 000.

Топографическая основа для этих съемок должна быть изготовлена заранее, так как при ее отсутствии может быть выполнено лишь общее рекогносцировочное обследование района.

При санитарно-технических исследованиях выясняется возможность загрязнения водоносного горизонта из открытых водоемов и водотоков, поглощающих колодцев, старых скважин, горных выработок, выгребных ям, свалок, кладбищ, полей орошения, за счет спуска промстоков

и т. д. К этим исследованиям целесообразно привлекать местные органы санитарного надзора, в крайнем случае от них должно быть получено заключение по материалам гидрогеологических изысканий по данному вопросу.

Для глубоко лежащих межпластовых вод площадная съемка может быть целесообразной лишь в случае совершенно недостаточной геологической изученности района и, в отдельных случаях, для областей питания или дренирования подземных вод, если какая-либо из этих областей находится в непосредственной близости от участков возможного расположения водозаборов. В остальных случаях площадная съемка заменяется рекогносцировкой, главным образом для сбора материалов по водоснабжению и описанию существующих скважин, колодцев и глубоких горных выработок.

Текущая камеральная обработка материалов съемочных работ обязательна, так как это дает возможность своевременно вносить нужные коррективы в программу изысканий.

4. Буровые работы

а) Назначение буровых скважин

В процессе гидрогеологических изысканий бурятся скважины, имеющие различное назначение:

1) зондировочные — в помощь геолого-гидрогеологической съемке;

2) разведочные — для разведки геологического строения, литологического состава и водоносности пород;

3) опытные — для производства опытных откачек;

4) наблюдательные — для определения характера и величины депрессионной воронки при откачке;

5) режимные — для изучения режима подземных вод;

6) разведочно-эксплоатационные — для разведки геологического строения, литологического состава и водоносности пород, опытных откачек и последующей эксплоатации разведанного и опробованного водоносного горизонта.

Необходимость и целесообразность бурения тех или иных скважин зависят от природных условий района, их изученности и стадии проектирования. Но независимо от прямого назначения, в целях экономии времени и средств, целесообразно каждую скважину использовать комплексно, например, опытные скважины могут быть использованы для разведки, а после откачек — для режимных наблюде-

ний, разведочные скважины могут быть использованы как наблюдательные или режимные и т. п.

При помощи буровых скважин должны быть установлены или уточнены:

1) тектоническая структура и геоморфологические особенности местности;

2) литологический состав пород;

3) число, положение и мощность водоносных горизонтов;

4) тип подземных вод (грунтовые или напорные) и положение их поверхности;

5) взаимосвязь водоносных горизонтов и связь подземных вод с водами поверхностных водотоков и водоемов;

6) качественная (при помощи анализов) и количественная (при помощи откачек и режимных наблюдений) характеристики подземных вод.

Зондировочные скважины бурятся при общих и детальных геолого-гидрогеологических съемках, т. е. в стадии изысканий к проектному заданию и реже к техническому проекту. Они заменяют расчистки, канавы и шурфы, когда эти выработки по техническим причинам не могут быть пройдены до необходимой глубины. При помощи зондировок устанавливается глубина залегания коренных пород под наносами, положение того или иного неглубоко лежащего песчано-глинистого слоя, или поверхности грунтовых вод. В последнем случае зондировочные скважины могут быть углублены в водоносный слой и использованы для временных наблюдений колебания поверхности грунтовых вод.

Разведочные скважины бурятся в наибольшем количестве преимущественно в стадии изысканий к проектному заданию и, главным образом, в районах распространения грунтовых вод со свободной поверхностью и неглубоко лежащих межпластовых вод. Они должны располагаться в основном на поперечниках: в крест простирания коренных пород, поперек морфологических элементов местности, по направлению течения и по простиранию потока подземных вод. На каждом разведуемом поперечнике должно быть пробурено не менее трех скважин, причем при большом протяжении поперечника на каждом морфологическом участке местности должно быть пробурено не менее одной скважины. Целесообразно разведочные скважины бурить в определенной последовательности, по разреженной сетке, чтобы в процессе работ

уточнять положение каждой новой скважины. Заданная в программе ориентировочная глубина скважин корректируется фактическим положением маркирующих горизонтов и глубиной залегания подземных вод. Следует иметь в виду, что разведочные скважины или часть скважин, по усмотрению гидрогеолога, должны вскрывать изучаемый водоносный горизонт на всю его мощность, что облегчает последующие расчеты дебита водозаборов и определение запасов подземных вод.

На участках детальных изысканий, когда природные условия района в основном уже изучены, разведочные скважины бурятся редко, так как дополнительные геолого-гидрогеологические материалы по участку могут быть получены при бурении скважин иного назначения.

Скважины опытные и наблюдательные бурятся лишь после изучения общих геолого-гидрогеологических условий района и только для того водоносного горизонта, который может представлять практический интерес для водоснабжения.

Обычно они устраиваются на участках детальных изысканий к техническому проекту или в конце изысканий к проектному заданию.

Для изучения глубоко лежащих межпластовых вод обычно устраиваются одиночные скважины или узлы из двух-трех одиночных скважин, для неглубоко лежащих межпластовых и грунтовых вод, кроме того, и опытные скважины со скважинами наблюдательными.

Количество последних принимается на каждом луче не менее двух. При однородном составе водоносного слоя луч наблюдательных скважин должен располагаться нормально к направлению потока подземных вод, а при неоднородном составе — устраивается второй луч, направленный вверх по потоку. Обычно достаточно двух наблюдательных скважин, которые устраиваются на интервале 15—25 *м* от опытной скважины; для изучения подземных вод, заключенных в сильно трещиноватых скальных породах, целесообразно иметь третью скважину в расстоянии 50—100 *м* от опытной.

Узел опытных скважин закладывается обычно в вершинах треугольника в зоне взаимного влияния опытных откачек, причем на участке детальных изысканий закладывается один, реже два-три таких опытных узла.

Опытные скважины должны вскрывать водоносный горизонт полностью, а при его большой мощности — на

глубину 20—25 *м*, наблюдательные — углубляются в водоносный горизонт на 2—3 *м* ниже максимального проектируемого понижения уровня воды в опытной скважине (для напорных вод — на 2—3 *м* в водоносный слой).

В устойчивых породах водоприемная часть скважины оставляется открытой, в рыхлых породах — оборудуется фильтром, типы и конструкции которых рассматриваются во второй части настоящей работы.

Особые режимные скважины бурятся, главным образом, во второй стадии изысканий, когда выяснена необходимость и составлен план изучения режима подземных вод. Режимные наблюдения для проектного задания осуществляются обычно путем использования пробуренных скважин иного назначения, а также существующих водозаборных скважин, колодцев и источников.

Сеть режимных скважин создается, главным образом, для изучения грунтовых вод и неглубоких межпластовых вод, причем эти скважины располагаются по потоку подземных вод и в поперечном направлении. Режимные скважины углубляются в водоносный горизонт на несколько метров ниже возможного падения горизонта подземных вод в меженнее время года, причем водоприемная часть скважины закрепляется соответствующим фильтром.

Ниже, в соответствующих разделах, посвященных рассмотрению методов производства опытных откачек и режимных наблюдений, даются некоторые дополнительные указания по устройству и размещению опытных, наблюдательных и режимных скважин.

б) Способы бурения и диаметры скважин

В зависимости от основного назначения скважин, геологических условий местности и состава пород, применяются следующие способы бурения скважин: ручной ударно-вращательный, ударный механический и колонковый.

Зондировочные скважины имеют небольшую глубину — 10—15 *м*, диаметр $2^1/_2$—3″ и бурятся ручным ударно-вращательным способом, зачастую без обсадных труб.

Для разведки литологического состава пород, фиксации появления и положения поверхности подземных вод наиболее удовлетворительные материалы дает бурение скважин без промывки: в песчано-глинистых породах — ударное бурение и в скальных породах — бурение

колонковое. Бурение разведочных скважин с подливкой воды и с промывкой, в том числе роторное бурение, может осуществляться лишь при проведении дополнительных гидрогеологических наблюдений по особой методике. Скважины опытные, наблюдательные и режимные, если геолого-литологический разрез и положение водоносных горизонтов уже установлены разведкой можно бурить любым способом, но применение глинистой промывки допускается лишь на интервале от поверхности земли до кровли изучаемого водоносного горизонта. Ручное бурение по технико-экономическим соображениям целесообразно применять лишь при небольшой глубине скважин и в песчано-глинистых породах, а также в скальных породах небольшой крепости. Сравнение различных способов бурения и технического оборудования скважин приводится во второй части настоящей работы.

Диаметр буровой скважины определяется техническими условиями ее проходки на заданную глубину и основным назначением скважины.

Для опытных скважин конечный ее диаметр должен обеспечить спуск насосных устройств и производство надежной опытной откачки. Для разведочных скважин, вообще говоря, может быть принят любой технически допустимый конечный диаметр, но обычно диаметр скважины должен обеспечить возможность производства одиночной пробной откачки из водоносного горизонта вблизи забоя скважины. Конечный диаметр наблюдательных и режимных скважин должен обеспечить спуск в скважину аппаратуры для замера уровня и температуры воды, а также отбор проб воды для анализов. Кроме того,

Таблица 3

Назначение скважины	Ударное бурение в песчаных породах	Колонковое бурение в скальных породах
1. Разведочные скважины	6″ (154 *мм*)	112 *мм*
2. Опытные	10—8″ (254—204 *мм*)	112—154 *мм*
3. Наблюдательные и режимные скважины . . .	$4^1/_2$—$3^1/_2$″ (115—78 *мм*)	60—77 *мм*

в песчаных и разрушенных скальных породах конечный диаметр должен обеспечить спуск и установку в скважине фильтра нужной конструкции. Примерные указания о конечном диаметре скважин приведены в табл. 3.

При определении начального диаметра скважин следует учитывать нормальную смену обсадных труб по глубине бурения, необходимость перекрытия обсадными трубами вышележащих водоносных горизонтов и возможность попутного опробования их в разведочных скважинах пробными откачками.

Буровые работы должны производиться при постоянном гидрогеологическом наблюдении и контроле и сопровождаться тщательной документацией процесса бурения, обсадки труб, отбора образцов грунтов, замера уровней и температуры воды и отбора проб воды для анализов.

Все скважины должны иметь координаты и высотные отметки.

5. Опытные откачки

а) Предварительное опробование водоносных горизонтов

В процессе бурения разведочных скважин, после некоторого углубления в водоносный горизонт и на разных интервалах проходки этого горизонта, целесообразно производить в течение нескольких часов тартание воды желонкой или поршнем Летестю, а также отбирать пробы воды для качественной характеристики водоносного горизонта. Расход воды, понижение уровня и продолжительность тартания, а также и последующего восстановления уровня воды, фиксируются в полевых документах.

Если это предварительное опробование или текущая документация скорости восстановления уровня воды при бурении показывают значительную водообильность данного горизонта, бурение следует приостановить и произвести из скважины пробную откачку на одно понижение уровня и максимальную производительность насоса.

Длительность этой откачки определяется временем полного осветления скважины и получением стабильных динамического уровня и дебита в продолжение не менее 3—4 час. непрерывной откачки. Общая продолжительность непрерывной откачки обычно колеблется в пределах от

8 до 24 час., причем после откачки периодически измеряется уровень воды в скважине до полного его восстановления. По документам наблюдений устанавливаются дебит скважины и соответствующее ему понижение уровня воды, строится кривая восстановления уровня и определяются температура и химико-бактериологический состав воды. Материалы предварительного опробования водоносных горизонтов служат для сравнительной их характеристики, планирования дальнейших опытных откачек и подбора насосного оборудования для этих откачек.

б) Опытные откачки

Опытные откачки производятся из одиночных скважин и из опытных узлов, в состав которых входит одна скважина опытная и несколько наблюдательных или две-три скважины опытных без особых наблюдательных скважин. Организуются опытные откачки по преимуществу на типичных гидрогеологических участках района изысканий, чаще всего на участках предполагаемого расположения водозаборов. В стадии изысканий к проектному заданию в качестве опытных или наблюдательных скважин по возможности используются разведочные скважины.

Откачку воды из трещиноватых и грубообломочных пород необходимо начинать с максимального понижения для прочистки трещин и пустот от мелкозема, в остальных случаях — с минимального понижения, во избежание закупорки фильтра.

Опытные откачки должны производиться не менее как на три стабильных понижения уровня воды: первое — не менее 1 *м*, третье — на максимальное понижение (по производительности насоса) и второе — на промежуточную глубину.

Общая продолжительность непрерывных откачек на каждое понижение уровня принимается для крупнозернистых и трещиноватых пород от 3 до 5 суток и для средне- и мелкозернистых песков — от 5 до 7 суток. Практически опытную откачку можно заканчивать через 1—2 суток после установления стабильности дебита и динамических уровней в опытной и наблюдательной скважинах.

Имеющиеся в литературе указания о допустимости весьма непродолжительных опытных откачек неправильны, что можно иллюстрировать рассмотрением некоторых фактических графиков.

Из графика на рис. 1 видно, что уровень воды и дебит более или менее стабилизировались через 25—30 час. после начала откачки.

Из графика на рис. 2 следует, что уровень примерно стабилизировался после 8 час. откачки и окончательно установился через 22 часа, когда установился и постоянный дебит откачки.

Согласно графику на рис. 3 откачка в течение около 3, 5 суток производилась с постоянным расходом, а уровень воды через 27 час. после начала откачки временно

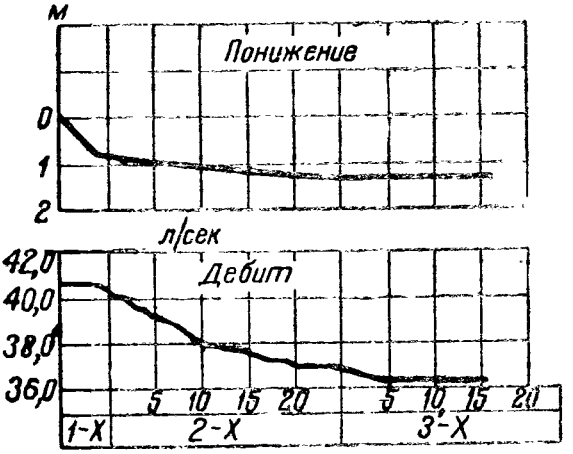


Рис. 1. График колебания уровня воды и дебита скважины при откачке

стабилизировался и затем в общем понижался ступенями в течение трех суток. Примерно в середине дня 28/VI дебит откачки уменьшился, но при этом снизился уровень. Эти стабильные дебит и уровень сохранялись далее в течение суток опытной откачки.

Из графика на рис. 4 видно, что уровень воды при откачке оставался в общем постоянным в течение 25 суток, расход в первые 5 суток тоже был стабильным, затем в течение 14—15 суток падал, далее установился на пониженных отметках, а через 7 суток стабильные уровень и расход вновь изменились.

Из этих и огромного количества других примеров следует, что ограничиваться кратковременными откачками нельзя, так как это может привести к весьма ошибочным

выводам, обычно к завышению водообильности водоносного горизонта.

Остановки откачки из-за производственных неполадок на срок более 2—3 час. вызывают необходимость повторения откачки на данное понижение.

Для фонтанирующих скважин пробные и опытные откачки могут быть заменены измерениями расхода при разных уровнях истечения воды из скважины путем обору-

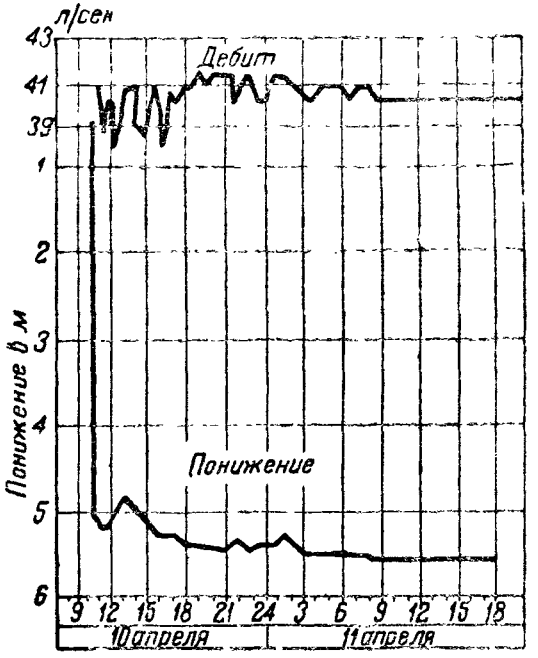


Рис. 2. График колебания уровня воды и дебита скважины при откачке

дования ее тройником с задвижкой и манометром (или наращиванием обсадных труб выше поверхности земли).

При неглубоком залегании подземных вод, близком положении области питания или тесной связи поверхностных и подземных вод, опытные откачки не следует производить в период снеготаяния, половодья и сильных дождей. Нельзя также допускать просачивания откачиваемой воды обратно в грунт на участке вблизи опытной скважины. Ее следует отводить по лоткам или трубам за пределы опытного участка.

Откачки воды из узла одиночных опытных скважин производятся сначала из каждой скважины в отдельности,

остальные скважины при этом являются контрольными, а затем — из двух и большего количества скважин, в различной комбинации. Откачки эти производятся на три понижения уровня, одинаковой величины как для одиночных, так и групповых откачек.

Для производства откачек применяются насосы: штанговые, центробежные и эрлифты. Насосы типа Фарко используются, главным образом, для постоянной эксплоатации. Условия применения различных насосов рассматриваются во второй части настоящей работы.

Пробные и опытные откачки производятся при постоянном участии или контроле гидрогеолога и сопровождаются тщательной документацией всех работ, связанных с орга-

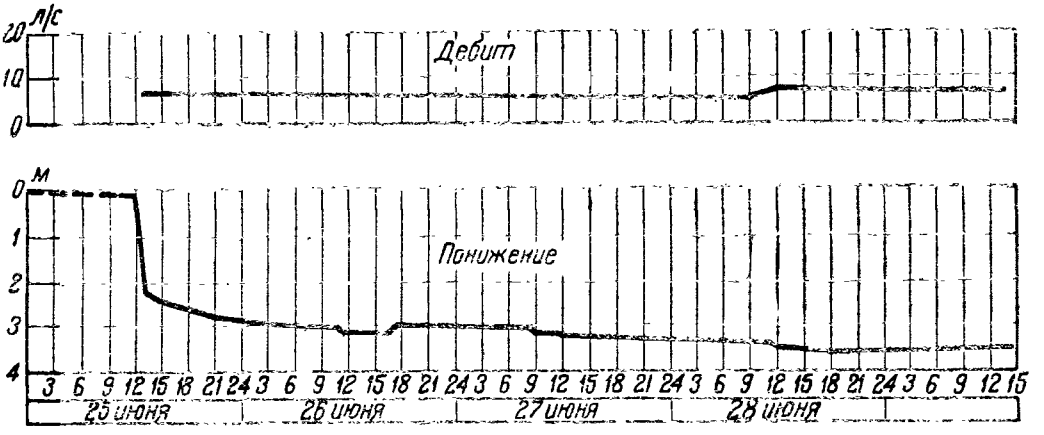


Рис. 3. График колебания уровня воды и дебита скважины при откачке

низацией откачек (коллекторские книжки, журналы откачек, акты и пр.).

В документах по каждой откачке необходимо иметь:

1) геолого-технические разрезы и абсолютные отметки скважин; описание фильтров и их положения в скважине; описание насосной установки, измерительной аппаратуры и способа отвода воды от опытной скважины;

2) статические уровни по опытной и ближайшим к ней скважинам как перед началом откачки, так и после восстановления уровней;

3) систематические записи расхода откачиваемой воды и колебания уровней во всех скважинах в процессе откачек с указанием точного времени указанных измерений;

4) систематические записи восстановления уровней воды после откачки;

5) описание неполадок; остановки откачек; дополнительные монтажные и иные работы в процессе откачек.

Одновременно с производством опытных работ указанные выше записи уточняются, составляются графики расхода и колебания уровня воды в опытной скважине в процессе откачки (рис. 1—4), график зависимости расхода скважины от понижения уровня, профили через опытную и контрольные скважины с показанием депрессионных воронок на каждое понижение и т. д.

Предварительная обработка полевых материалов необходима для проверки качества и надежности материалов

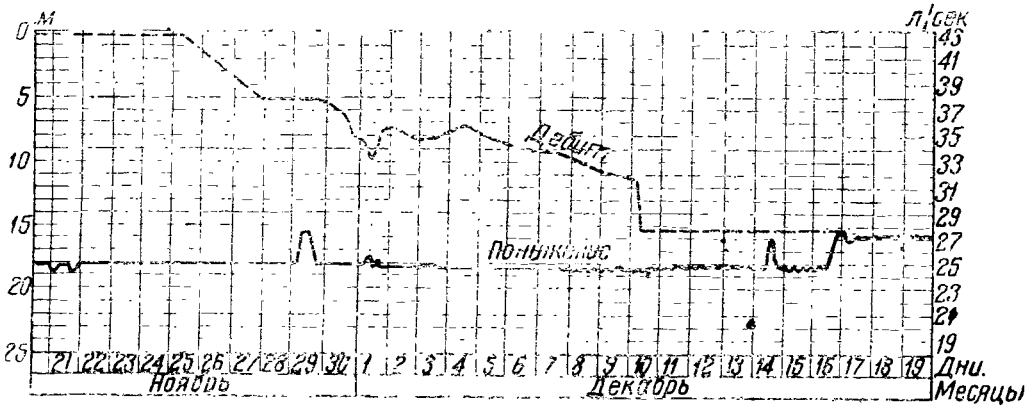


Рис. 4. График колебания уровня воды и дебита скважины при откачке

пробной и опытной откачек для последующих расчетов.

Если по полевым графикам будет установлено, что расход или динамические уровни на то или иное понижение не стабилизировались, откачку следует считать неудачной и снова ее повторить. Если удельный дебит скважины[1] по мере понижения уровня уменьшается или остается постоянным, откачка выполнена удовлетворительно, и, наконец, если удельный дебит увеличивается, откачка неудовлетворительна и материалами откачки для расчетов пользоваться нельзя.

[1] Т. е. отношение расхода к понижению уровня воды при откачке.

Материалы предварительного опробования водоносных горизонтов в процессе буровых работ, пробные и опытные откачки, а также материалы изучения действующих водозаборов используются при окончательной камеральной обработке для вычисления коэфициентов фильтрации и определения величины «срезки», т. е. взаимного влияния скважин при групповой их эксплоатации или опытной откачке, а также для определения величин радиуса влияния откачки и ширины зоны питания скважины.

Для предварительных расчетов могут быть использованы данные о величине коэфициента фильтрации, полученные лабораторным путем (песчаные породы); величина радиуса влияния принимается для этих подсчетов ориентировочно, по справочным данным.

6. Изучение режима подземных вод

Изучение режима подземных вод производится во всех стадиях изысканий и должно продолжаться после постройки водозаборов.

Наблюдения за режимом подземных вод осуществляются по буровым скважинам, колодцам и источникам, а при наличии связи подземных и поверхностных вод — комплексно сочетаются с гидрометрическими исследованиями последних.

Материалы режимных наблюдений в сочетании с данными по иным разделам изысканий могут быть использованы для установления:

1) положения поверхности грунтовых вод и пьезометрической поверхности напорных вод в районе изысканий и на участке детальных изысканий;

2) направления движения и уклонов потока подземных вод на площади распространения водоносных горизонтов;

3) сезонных колебаний поверхности подземных вод под влиянием различных природных факторов;

4) изменения химико-бактериологического состава подземных вод на площади распространения и по глубине водоносной толщи, а также сезонных изменений состава и температуры воды;

5) величины питания грунтовых вод за счет инфильтрации атмосферных осадков и фильтрации поверхностных вод, а также дренирования подземных вод путем подземного стока;

6) снижения поверхности подземных вод под влиянием эксплоатации существующих водозаборов, взаимного влияния отдельных водозаборов и величины зоны их питания.

7) поступления в водоносный горизонт (или «подсос» при откачках) загрязненных и минерализованных вод и определения участков, где это происходит.

При отсутствии в районе изысканий действующих водозаборов или глубоких выработок, дренирующих подземные воды, пункты режимных наблюдений должны образовать редкую сетку поперечников, обеспечивающую построение карты гидроизогипс (или изопьез) для всего района или хотя бы участков детальных изысканий.

При наличии действующих водозаборов (или глубоких горных выработок) режимные скважины, кроме того, должны располагаться по двум взаимно перпендикулярным поперечникам, проходящим через водозабор вверх и вниз по потоку и по простиранию. Конечные скважины должны выходить за пределы депрессионной воронки водозабора для увязки и анализа искусственного и естественного режима подземных вод.

Для изучения связи подземных и поверхностных вод и установления сезонных изменений этой связи необходимо иметь 1—2 нормальных к водотоку или водоему поперечника режимных скважин, причем каждый поперечник заканчивается водомерной рейкой или гидрометрическим створом (по усмотрению гидрогеолога) для одновременного изучения и режима поверхностных вод.

Если в изучаемом районе имеется несколько водоносных горизонтов, представляющих существенное значение для водоснабжения, режимные скважины устраиваются на более глубокий водоносный горизонт в меньшем количестве, причем дополнительные скважины по возможности располагаются рядом с основными или в одной скважине устраиваются раздельные пьезометры для каждого горизонта.

Все режимные скважины и колодцы после их устройства осветляются при помощи кратковременной откачки воды и в процессе режимных наблюдений регулярно проверяются и ремонтируются. Источники должны быть оборудованы водосливами для производства регулярных замеров дебита.

Режимные скважины, колодцы, источники и водомерные рейки точно наносятся на план и должны иметь коорди-

паты, высотные отметки и постоянные реперы; от которых производятся замеры уровня воды. Все пункты наблюдений должны быть тщательно задокументированы с составлением геолого-технических колонок и профилей, а также сводного справочного каталога, который в процессе работ должен дополняться и уточняться.

Замеры уровня воды производятся регулярно и одновременно, не реже 3—5 раз в месяц, а в период снеготаяния и половодья — ежедневно. Замеры выполняются однотипными измерительными приборами, точность которых регулярно проверяется гидрогеологом. Результаты замеров записываются в особые журналы и таблицы с одновременным составлением графиков по каждому пункту и по профилям.

По этим данным составляются сезонные карты гидроизогипс или изопьез для всего участка наблюдений.

При невозможности круглогодичных наблюдений, режимные наблюдения должны охватить наиболее характерный период года: от начала паводка до конца летней межени или от межени до конца паводка.

После окончания изысканий к техническому проекту, а иногда уже после изысканий к проектному заданию, сеть режимных наблюдений пересматривается и сохраняются, главным образом, те режимные скважины, которые будут характеризовать гидрогеологические особенности участка проектируемых водозаборов и последующее влияние последних на подземные воды. Постоянные наблюдения особенно важны для установления целесообразного режима эксплоатации подземных вод, гидрогеологических суждений и выводов при последующих неполадках в работе водозаборов и при возникновении необходимости в расширении и реконструкции водоснабжения.

Из режимных скважин эпизодически отбираются пробы воды для химико-бактериологических анализов, схема которых приводится ниже.

Если вблизи участка проектируемых водозаборов находится населенный пункт или промышленное предприятие, могущее, по общим гидрогеологическим соображениям, представлять опасность в отношении загрязнения подземных вод, необходимо между этим участком и населенным пунктом иметь 2—3 режимные скважины для более частых и тщательных наблюдений колебания уровней, температуры и химико-бактериологического состава подземных вод.

7. Лабораторные работы

Образцы горных пород и пробы поверхностных и подземных вод отбираются при гидрогеологических изысканиях, во-первых, как отчетные документы этих работ и, во-вторых, для полевых и лабораторных исследований и описаний.

Макроскопический осмотр и полевое описание всех образцов пород используются для составления полевых разрезов и профилей, а также для общих суждений о фильтрационных свойствах пород.

Для уточнения литологического состава образцы песчано-глинистых пород, отобранные из разведочных скважин и обнажений, подвергаются механическому анализу, причем для каждого типичного слоя производится не менее двух-трех анализов. Для водоносного слоя, кроме того, определяются пористость и коэфициент фильтрации при рыхлом и уплотненном состоянии образца. Образцы проб, отобранные на площади питания водоносного горизонта как из самого водоносного слоя, так и из покрывающей толщи, дополнительно исследуются на водоотдачу и содержание легко растворимых солей.

Для скальных пород на небольшом количестве образцов определяются минералогический состав и содержание легко растворимых веществ. Пластичность, угол трения и компрессионные свойства глинистых пород изучаются лишь по специальным заданиям, если породы обнажаются в строительных выемках или служат основанием водопроводных сооружений, а также для расчета устойчивости кровли водозаборных штолен и бесфильтровых скважин.

Пробы воды отбираются из ближайших поверхностных водотоков и водоемов, из колодцев, источников и существующих скважин не реже одного раза в сезон года, причем из колодцев и скважин пробы отбираются после непродолжительной откачки. Пробы отбираются из каждого встреченного при бурении водоносного горизонта и обязательно в конце каждой пробной откачки и в начале (после осветления скважины) и конце каждой опытной откачки. При помощи анализов необходимо установить характерный для каждого водотока, водоема и водоносного горизонта химико-бактериологический состав воды и изменения этого состава во времени и при откачках.

Материалы химико-бактериологических исследований проб воды необходимы для оценки степени пригодности

того или иного источника для питьевого или технического водоснабжения, а также используются для установления связи водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами. Для этой последней цели химико-бактериологические анализы производятся по сокращенной схеме полевой химической лабораторией, полные анализы в стационарной лаборатории производятся лишь для небольшого количества проб воды. Состав сокращенных и полных анализов определяется в соответствии с специфическими запросами водопотребителя. Для хозяйственно-питьевого водоснабжения сокращенный анализ предусматривает [9] следующие определения: температура, цвет, запах, прозрачность, муть, осадок, изменение при стоянии, карбонатная и общая жесткость, хлориды, сульфаты, окисляемость, нитраты, аммиак солевой, нитриты, сероводород и железо. Бактериологические анализы производятся обычно в стационарной лаборатории и дают оценку воды по общему числу содержащихся в ней бактерий и по количеству кишечных палочек (показателей фекальных загрязнений) или коли-титру, т. е. объему воды, в котором содержится одна кишечная палочка.

Общих норм, предъявляемых к качеству питьевых вод, нет, и их трудно предложить из-за чрезвычайного разнообразия состава поверхностных и подземных вод на территории Союза. В руководстве РККА [1] предлагаются следующие нормы: цветность — ниже 20°, прозрачность — 30*см*, температура 7—12°, реакция — нейтральная, плотный остаток — 500—1 000 *мг/л*, окисляемость — 2—3 *мг/л*, хлориды — 30—50 *мг/л*, сульфаты — до 60 *мг/л*, жесткость общая — 20—30°, аммиак — следы или до 0,1, NO_2 отсутствует или следы, NO_3 — от 15 до 40 *мг/л*, железо — до 0,5—1 *мг/л*.

В бактериальном отношении вода считается пригодной для питья при коли-титре не менее 300 $см^3$.

8. Гидрогеологические изыскания при восстановлении или расширении водоснабжения

При тех или иных повреждениях водозаборов гидрогеологические изыскания должны дать материалы для решений о возможности или необходимости:

[1] Руководство по санитарно-эпидемиологическому и лечебному обслуживанию РККА, 1939 г.

а) изменения режима эксплоатации подземных вод в восстановляемых водозаборах;

б) замены поврежденных скважин другими, оставшимися в сохранности, с более интенсивной эксплоатацией последних;

в) добурки и переоборудования скважин для полного использования водоносного горизонта в существующих скважинах;

г) бурения новых скважин с указанием их местоположения, глубины и конструкции;

д) каптажа ближайших источников.

Гидрогеологические изыскания для расширения или реконструкции водоснабжения производятся в тех случаях, когда существующие эксплоатационные скважины и другие каптажные сооружения не дают потребного количества подземных вод для текущих нужд или перспективного развития водоснабжения.

Гидрогеологические изыскания для капитального восстановления или расширения и реконструкции водоснабжения сводятся на первом этапе к тщательному изучению литературных и архивных материалов по геологии и гидрогеологии района, а также отчетов о гидрогеологических изысканиях к проекту водоснабжения данного объекта. При этом изучении особенно большое значение имеют следующие документы:

а) отчеты и акты по сооружению, техническому оборудованию и опробованию водозаборных сооружений;

б) материалы по эксплоатации каждой скважины и колодца и всего водозабора в целом: статические и динамические уровни воды; изменения интенсивности откачки воды; время эксплоатации; влияние скважин друг на друга при одновременной и раздельной эксплоатации; снижение (или увеличение) дебита в процессе эксплоатации; изменение минерализации воды;

в) техническое описание ремонтов и переоборудования скважин и колодцев в процессе эксплоатации: добурки, чистка, смена труб и фильтров, изменение типа насосов и глубины погружения всасывающих (у эрлифтов — воздушных) труб;

г) материалы о колебании уровня подземных вод в ближайших скважинах, а также о колебании расхода ближайших источников и т. д.

Поскольку служба гидрогеологических наблюдений на водозаборах обычно отсутствует и для нее узаконенных

или более или менее общепринятых методических и инструктивных указаний не имеется, при обследовании существующих водозаборов всякий раз возникает много неясных технических и принципиальных вопросов, требующих для своего освещения постановки специальных гидрогеологических изысканий, зачастую с производством опытов и наблюдений в существующих и вновь пробуренных скважинах.

При этих специальных изысканиях обследуются и описываются все действующие и заброшенные эксплоатационные скважины, режимные скважины, колодцы, источники. Эти пункты нивелируются, точно по координатам наносятся на план и по усмотрению гидрогеолога очищаются или ремонтируются и включаются в сеть режимных наблюдений. На действующих водозаборах по согласованию с водопотребителем производится серия опытных работ:

а) временная остановка эксплоатации и наблюдение за восстановлением статических горизонтов в скважинах; поочередное включение в эксплоатацию отдельных скважин, групп скважин и всего водозабора с регистрацией уровней воды и колебания дебита;

б) поочередное выключение из эксплоатации отдельных скважин или групп скважин с наблюдением уровней и дебита;

в) одновременная эксплоатация всех скважин, но с изменением динамических уровней и дебита в отдельных скважинах и группах скважин.

При этих опытах в отдельных случаях может оказаться необходимым бурение наблюдательных скважин между эксплоатируемыми скважинами для установления взаимного влияния водозаборов.

Разработка имеющихся материалов и опытных данных производится для определения возможности более значительного понижения уровня воды в действующих скважинах путем их переоборудования, целесообразности включения в эксплоатацию ныне бездействующих скважин или необходимости устройства новых скважин на той же или соседней с водозаборами территории.

9. Гидрогеологические указания для опробования вертикальных водозаборов и наблюдения при их эксплоатации

Опробование водозаборов и гидрогеологические наблюдения за ними представляют исключительно большое прак-

тическое значение, так как по материалам этих работ проверяются ранее сделанные гидрогеологические расчеты и прогнозы, уточняется проект водоснабжения и устанавливается наиболее целесообразный режим эксплоатации подземных вод. Гидрогеологические наблюдения, кроме того, представляют большой теоретический интерес, так как могут способствовать разработке более совершенных методов определения запасов подземных вод и расчета одиночных и взаимодействующих водозаборов.

Каждая водозаборная скважина (или колодец) перед включением в эксплоатацию должна быть опробована при помощи опытной откачки. При наличии нескольких взаимодействующих водозаборных скважин, кроме того, производятся групповые откачки и, наконец, одновременная опытная откачка из всех скважин и колодцев. По материалам гидрогеологических наблюдений за этими откачками проверяются и уточняются принятые в проекте динамические уровни и дебиты скважин, типы и положение насосных устройств. Опробование водозаборов заканчивается составлением подробных геологотехнических разрезов, актов опробования и сводных паспортов на каждую скважину.

Так как опробование водозаборов перед передачей их в эксплоатацию по необходимости является кратковременным и производится в более или менее случайный период года, гидрогеологические расчеты и прогнозы, основанные на этих материалах, неизбежно содержат в себе некоторые допущения и условности. Практика водоснабжения показывает, что влияние эксплоатации водозаборов весьма медленно распространяется по водоносному горизонту и постепенно сказывается на естественном режиме подземных вод прилежащей территории. И, наоборот, естественный режим подземных вод может по-разному влиять на работу водозаборов в различные сезоны года и различные годы. Поэтому, чтобы иметь достаточно надежные материалы для последующего регулирования работы водозаборов и обоснования реконструкции или расширения водоснабжения, необходимы специальные гидрогеологические наблюдения в процессе эксплоатации. Инструкция для этих наблюдений должна разрабатываться на основании материалов изысканий к технo-рабочему проекту и уточняется после опробования выстроенных водозаборов. В инструкции устанавливаются пункты наблюдений и их оборудование: водомеры, устройства для замера уровней и отбора проб воды — на водозаборных скважинах и колодцах; устрой-

ства для замера уровней, утепление (если нужно) и крышки — для наблюдательных скважин; водосливы — для источников; водомерные сваи и рейки — для поверхностных водотоков и водоемов.

Первый год работы водозаборов следует считать периодом опытной эксплоатации подземных вод; в этот период особенно важно проводить достаточно полные и детальные наблюдения. На основании последних проверяются и уточняются ранее сделанные гидрогеологические расчеты и прогнозы, вносятся необходимые коррективы в эксплоатационный режим водозаборов и устанавливается необходимый минимум постоянных гидрогеологических наблюдений на водозаборах, которые должны производиться аппаратом водопровода по определенной инструкции.

Объем и характер гидрогеологических наблюдений естественно изменяются в зависимости от количества водозаборных скважин и колодцев, типа подземных вод и гидрогеологических особенностей района.

При несложных гидрогеологических условиях, некрупном водоснабжении или на одиночных водозаборах указанные гидрогеологические наблюдения производятся в минимальном объеме. В более сложных случаях эти наблюдения целесообразно организовывать и выполнять при участии и методическом руководстве научно-исследовательских организаций.

Глава III

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

1. Основные понятия и термины

Хотя определение запасов подземных вод является одной из основных задач гидрогеологических изысканий для целей водоснабжения, тем не менее принципы классификации и методы определения запасов, а также вопросы терминологии остаются до настоящего времени недостаточно разработанными и до известной степени дискуссионными.

По поводу классификации запасов подземных вод и самого значения термина «запасы» в специальной литературе имеются различные предложения и замечания.

П. И. Бутов [11, 12] подразделяет запасы на пассивные, активные, общие и относительные.

Пассивные запасы характеризуют медленное накопление подземных вод или вековые запасы.

Активные запасы характеризуют годовое поступление воды в водоносный горизонт, т. е. ежегодно возобновляются.

Общие запасы характеризуют количество подземных вод «в пределах распространения всего водоносного горизонта».

Относительные запасы равны производительности опытной откачки из скважин или колодцев при определенном динамическом уровне воды.

По мнению автора, пассивные или вековые запасы характеризуют подземные воды, находящиеся в покое, при наличии же движения подземных вод они характеризуют пассивную зону, расположенную ниже депрессий, в которые дренируются воды из активной зоны.

Ф. П. Саваренский [38] выделяет постоянные запасы или «тот объем, который занимают подземные воды в земной коре, или бассейне, или водоносном слое» и ресурсы подземных вод, величина которых определяется ежегодным притоком воды из области питания.

По мнению Ф. П. Саваренского, «только в редких случаях можно строить водоснабжение из расчета изъятия постоянного запаса воды, когда эти запасы значительны, а потребность ограничена определенным временем и притом нет иного выхода для разрешения задачи водоснабжения».

М. Е. Альтовский [6] выделяет динамические и статические запасы подземных вод.

Динамические запасы характеризуют гравитационные подземные воды, обладающие некоторой скоростью движения — «поэтому они могут быть измерены единицами расхода».

Статические запасы характеризуют гравитационные подземные воды, имеющие «нулевую или близкую к нулю скорость, которые поэтому могут быть измерены только единицами объема для определенного момента».

В последующей своей работе[1] автор, кроме того, выделяет запасы:

---

[1] Технические условия на изыскания и проектирование водозаборов, эксплоатирующих подземные воды трещиноватых пород. Рукопись, архив Водгео. 1940 г.

общие, которые представляют сумму запасов динамических и статических, если последние отнести к определенному времени их откачки;

минимальные, максимальные и средние динамические запасы;

полезные запасы, представляющие часть общих запасов, которая может быть откачена из водоносного слоя целесообразными в технико-экономическом отношении водозаборами;

частные запасы — запасы на участке изысканий при небольшой потребности в воде;

действительные полезные запасы, которые характеризуют суммарный расход водозаборов, устанавливаемый в процессе эксплоатации;

проектные полезные запасы, которые устанавливаются гидрогеологическими расчетами.

К. И. Маков [28, 29] для напорных вод мульды предлагает следующие типы запасов:

вековые запасы напорных вод — количество гравитационной воды, которое может быть получено при осушении данного водоносного горизонта при помощи тех или иных способов эксплоатации;

естественные динамические запасы напорных вод — количество воды, которое протекает в единицу времени через поперечное сечение потока напорных вод;

искусственные динамические запасы — количество воды, которое откачивается из данного водоносного горизонта в отдельных пунктах эксплоатации при определенных положениях динамического горизонта.

Проф. В. С. Оводов [35] подразделяет запасы подземных вод на динамические и статические.

Динамические запасы представляют то количество воды, которое протекает в течение определенного периода времени через какое-нибудь сечение водоносного пласта.

Статические запасы представляют все вековые накопления подземных вод в пустотах данного объема грунта, периодически пополняемые за счет инфильтрации или конденсации или непостоянного притока со стороны.

Другие авторы, кроме статических и динамических запасов, выделяют ряд других категорий запасов в зависимости от возможности их использования, практической значимости, потребности водоснабжения и т. д.

Внимательное рассмотрение возражений и предложений различных авторов показывает, что неопределенность клас-

сификации объясняется в значительной степени недостаточной четкостью принципиальных установок, положенных в основу классификации запасов подземных вод. В самом деле, запасы подземных вод не могут зависеть или определяться возможностью использования, обеспеченностью водозаборных сооружений, а тем более производительностью опытной откачки или потребностью воды для водоснабжения. Все эти характеристики несомненно нужны для обоснования водоснабжения, но они сами должны быть подкреплены данными по оценке запасов подземных вод или служат средством для этой оценки.

Поскольку подземные воды, в отличие от полезных ископаемых, не только занимают некоторый объем в водоносной толще, но обладают подвижностью и возобновляемостью, в классификации запасов подземных вод должны отражаться в первую очередь и преимущественно естественно-исторические особенности формирования и режима подземных вод.

Учитывая эти особенности, запасы подземных вод следует подразделять на два типа, характеризующих объем (статику) и расход (динамику) подземных вод, т. е. на статические и динамические, вкладывая в эти термины совершенно определенное содержание.

Статические запасы характеризуют объем гравитационной воды, находящейся в водоносном горизонте, независимо от времени и способа поступления ее в этот горизонт. Они могут быть подсчитаны по геометрическим размерам и водоотдаче водонасыщенного слоя.

Динамические запасы характеризуют расход воды данного водоносного горизонта и определяются различными методами.

В настоящее время схема подразделения запасов на статические и динамические пользуется широким распространением, эти типы запасов можно усмотреть и во всех изложенных выше классификациях, хотя иногда и под другими названиями (табл. 4).

Но формальное совпадение отдельных названий и даже схем классификации запасов не определяет в данном случае одинакового значения применяемых терминов, что особенно резко выявляется при сопоставлении значений термина статические запасы (или вообще первого типа запасов — см. табл. 4).

Во всех без исключения классификациях подчеркивается какая-либо специфическая особенность статических

запасов: они характеризуют или только постоянный объем подземных вод, или пассивные и неподвижные воды, или вековые накопления, или, наконец, ту или иную комбинацию этих особенностей статических запасов.

Таблица 4

И. И. Бутов 1931 г.	Ф. П. Саваренский 1935 г.	М. Е. Альтовский 1938 г.	К. И. Маков 1936 г.	В. С. Овод 1939 г.	Автор
Пассивные (вековые) запасы	Постоянные запасы	Статические запасы	Вековые запасы	Статические запасы	Статические запасы
Активные запасы	Ресурсы подземных вод	Динамические запасы	Естественные динамические запасы	Динамические запасы	Динамические запасы

Совершенно очевидно, что все водоносные горизонты и бассейны подземных вод сформировались в результате вековых геолого-гидрогеологических процессов, но отсюда не следует делать вывод о постоянстве статических запасов или об отсутствии движения подземных вод. На самом деле неподвижные («пассивные») и постоянные по величине запасы подземных вод, образование которых обусловлено вековыми процессами, характеризуют лишь погребенные подземные воды, полностью потерявшие в настоящее время связь со своей областью питания и не имеющие путей подземного стока. Во всех же других случаях статические запасы нельзя считать неподвижными и постоянными, так как, во-первых, уровни подземных вод претерпевают сезонные и многолетние колебания, что влечет за собой изменение объема водонасыщенной толщи, а, во-вторых, в движении потока подземных вод (хотя бы и очень медленном) в той или иной мере участвуют воды всего водоносного горизонта или бассейна.

Таким образом принципы выделения статических запасов нельзя основывать на тех особенностях питания или режима подземных вод, которые приводятся в различных классификациях — эти особенности могут служить лишь для дополнительной дальнейшей характеристики запасов.

Поэтому в каждом водоносном горизонте и бассейне подземных вод обязательно имеются как статические, так и динамические запасы (для погребенных вод — только статические запасы), причем величина этих запасов, теоретически рассуждая, никогда не бывает постоянной.

Характер изменения величины запасов можно рассмотреть применительно к следующей (сознательно утрированной) схеме годовых колебаний уровня грунтовых вод в наблюдательной скважине (рис. 5):

1) Ниже линии *0 — 0* в водоносном горизонте заключаются минимальные статические запасы, соответствующие

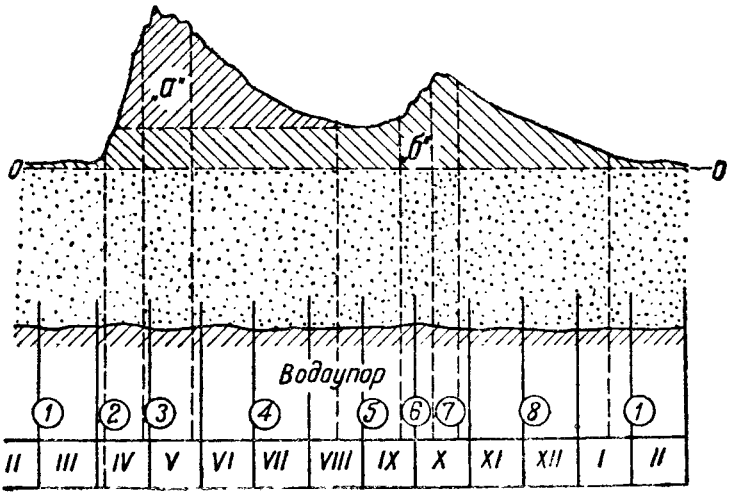


Рис. 5. Схема колебания уровня грунтовых вод в скважине

положению поверхности грунтовых вод в меженнее время года. В меженний период подземный сток не прекращается (участок *1*) и характеризует минимальные динамические запасы.

2) На участках *2* и *6* отражаются весенний и осенний подъемы поверхности грунтовых вод, т. е. увеличение статических запасов. В эти периоды года увеличивается и подземный сток, так как подъем уровней объясняется усиленным питанием грунтовых вод за счет весеннего снеготаяния и осенних дождей.

3) Участки *3*, *5* и *7* отражают весенний максимум, летний меженний минимум и осенний максимум положения поверхности, а стало быть, и статических запасов грунтовых вод. Полной стабилизации положения поверхности грунтовых вод, а следовательно, и величины запасов, в эти

периоды года обычно нет, но некоторое среднее значение для них выбрать можно.

4) Участки *4* и *8* отражают постепенное падение поверхности грунтовых вод, т. е. уменьшение величины статических запасов. В эти и последующие интервалы времени, вследствие прекращения (или сокращения) питания грунтовых вод, происходит постепенное дренирование ранее накопившихся статических запасов: в летний период — в объеме контура *а*, а в зимний период — в объеме контура *б*.

Величина подземного стока, характеризующего динамические запасы, достигает наибольшего и наименьшего значений точно так же в периоды повышенного и пониженного положений поверхности грунтовых вод, что связано с изменением площади поперечного сечения и уклона потока. Но годовой подземный сток всегда превышает величину дренируемых статических запасов, так как в периоды их накопления (участки 2 и 6, рис. 5) и временной стабилизации подземный сток не прекращается и объясняется не дренированием статических запасов, а естественным дополнительным питанием водоносного горизонта.

Поскольку величины статических и динамических запасов изменяются, при характеристике этих величин необходимо указывать даты подсчета запасов.

Колебания величины статических и динамических запасов должны ограничиваться некоторыми пределами среднемноголетнего весеннего максимума и зимнего минимума, которые могут быть установлены при помощи изучения режима грунтовых вод.

Так, например, если по материалам длительных наблюдений установлено, что наивысшая и низкая поверхности грунтовых вод ограничиваются кривыми *abc* и ab_1c (рис. 6), подсчеты по контуру водоупора и кривой ab_1c характеризуют минимальные, а по контуру водоупора и кривой *abc* — максимальные статические запасы. В пределах контура, ограниченного кривыми *abc* и ab_1c, статические запасы переменны и дренируются в течение года при посредстве подземного стока (т. е. переходят в запасы динамические).

В большинстве случаев водоснабжение проектируется на постоянный график водопотребления, а следовательно, на постоянный дебит водозаборов, полностью обеспеченный и в меженний период года. Поэтому по практическим соображениям, условно, меженние

минимальные статические и динамические запасы подземных вод можно называть постоянными, а в остальные периоды года — переменными.

Постоянные статические запасы во много раз превосходят запасы переменные, так как амплитуда колебания поверхности подземных вод обычно очень мала по сравнению с общей мощностью водоносного горизонта, особенно в артезианских бассейнах.

Между прочим, для напорных вод по всей площади их распространения (между областями питания и дренирования) статические запасы всегда представляют постоянную величину, поскольку колебание поверхности напорных вод (изменение объема водонасыщенной толщи) может иметь

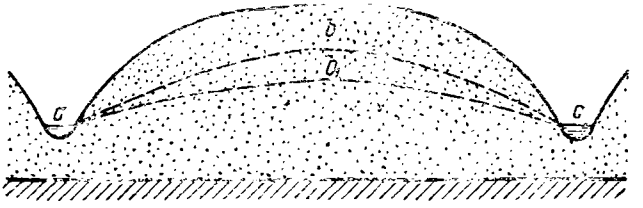


Рис. 6. Схема положения поверхности грунтовых вод для определения статических запасов

место лишь в области питания и иногда в области дренирования этих вод. При постоянном и равномерном питании подземных вод, а также при большой регулирующей емкости бассейна и динамические запасы практически можно считать постоянными, в остальных же случаях они могут быть подразделены на постоянные и переменные.

При проектировании водоснабжения возникают вопросы об опасности истощения водоносного горизонта, о динамических уровнях в эксплоатационных скважинах и о возможности использования статических запасов. Совершенно очевидно, что при откачке воды тотчас же извлекается часть статических запасов в объеме депрессионной воронки. Дальнейший приток воды в эту воронку связан с использованием переменных статических и динамических запасов подземных вод, притекающих с прилежащих участков. Наконец при откачке воды с понижением уровня ниже меженнего горизонта поверхности подземных вод в эксплоатацию неизбежно включаются постоянные статические и динамические запасы.

Использование переменных запасов не представляет опасности в отношении истощения водоносного горизонта, так как эта группа запасов ежегодно возобновляется. Изъятие постоянных запасов может повлечь за собой прогрессирующее снижение поверхности подземных вод, падение динамических уровней в скважинах и связанные с этим технические затруднения в эксплоатации.

Таким образом вопрос о возможности использования переменных и постоянных запасов может разрешаться в каждом конкретном случае особо, путем сопоставления запросов водоснабжения с балансом запасов подземных вод в различные сезоны года. При большой мощности и хорошей водопроницаемости водоносного слоя, а также при благоприятных условиях питания грунтовых вод принципиально возможно допустить сезонное использование статических запасов с расчетом на их восстановление в периоды снеготаяния или длительных дождей.

Для крупных бассейнов подземных вод, учитывая их большую регулирующую емкость и сравнительно небольшие расходы водозаборов (по сравнению с величиной постоянных статических запасов), повидимому, можно допускать и многолетнее использование этих запасов без существенных технических затруднений в эксплоатации.

2. Методы определения запасов подземных вод

Вследствие большого разнообразия природных условий и факторов, влияющих на формирование и режим подземных вод, определение запасов представляет очень трудную задачу, для которой нельзя предложить какие-либо типовые решения. Тем не менее, схематизируя задачу, можно сделать ряд практических указаний, облегчающих выбор методов подсчета запасов и оценку степени их надежности и практической целесообразности.

Прежде всего необходимо констатировать, что определения запасов всего водоносного горизонта и участка проектируемых водозаборов имеют различное практическое значение для водоснабжения.

Характеристика водообильности участка является важнейшим исходным материалом для проектных расчетов водозаборов и поэтому должна быть достаточно надежно обоснована данными гидрогеологических изысканий. Запасы же всего водоносного горизонта в большинстве случаев имеют лишь общее значение для проектирования водоснаб-

жения и определяются обычно ориентировочно, с производством минимального объема полевых изысканий и широким применением метода аналогий и общих гидрогеологических соображений.

Специальные полевые изыскания и подсчеты запасов всего водоносного горизонта или большого района могут потребоваться лишь в особых случаях, например:

1) когда мощность и площадь распространения водоносного горизонта невелики, а потребность в воде значительна;

2) когда эксплоатация существующих в данном районе водозаборов уже вызывает перенапряжение водоносного горизонта, другие же источники водоснабжения отсутствуют;

3) когда предполагается строительство ряда мощных водозаборов в различных пунктах площади распространения водоносного горизонта для водоснабжения крупных населенных пунктов и промышленных предприятий с большим и растущим водопотреблением;

4) когда площадь распространения водоносного горизонта отличается большой сложностью геологического строения и гидрогеологических условий и при этом очевидных признаков достаточной водообильности района нет.

Обычно после производства общего обследования территории специальные изыскания для определения запасов всего водоносного горизонта или больших районов приурочиваются к типичным в гидрогеологическом отношении пунктам и участкам, а результаты определения водообильности этих пунктов и участков тем или иным способом распространяются на весь водоносный горизонт в целом. В основном такие же изыскания и расчеты производятся для определения водообильности и участков проектируемых водозаборов.

Существующие методы определения запасов можно подразделить на пять групп, именно, определение запасов подземных вод:

1) по величине водоотдачи водоносного слоя;
2) по величине инфильтрации атмосферных осадков;
3) по материалам гидрометрических наблюдений;
4) по дебиту источников;
5) по поперечному сечению потока подземных вод.

Подсчеты по водоотдаче водоносного слоя характеризуют статические запасы, по остальным методам — динамические запасы подземных вод.

По вполне понятным причинам для целей водоснабжения нельзя завышать величину запасов подземных вод. Поэтому необходимо стремиться получить характеристику запасов в различные сезоны года, во всяком случае обязательно в меженний период. Учитывая неизбежную условность ряда исходных данных, подсчеты запасов целесообразно производить несколькими способами и принимать для проектирования осредненные, а при резком расхождении — наименьшие результаты подсчетов, с поправками на возможное снижение величины запасов в меженний период маловодного года.

Необходимо учитывать, что существующие методы определения запасов трудно применять к трещинным подземным водам, а тем более к водам, циркулирующим по карстовым пустотам.

Наиболее обоснованные исходные данные для подсчета запасов можно получить, главным образом, по материалам:

а) эксплоатации опытных водозаборов, водозаборов первой очереди водоснабжения и постоянных водозаборов;

б) длительных и мощных опытных откачек в особенности из опытных узлов скважин;

в) длительных (особенно многолетних) наблюдений режима уровней подземных вод и дебита источников;

г) многолетних гидрометрических наблюдений на реках и водоемах, дренирующих или питающих изучаемый водоносный горизонт.

Следует также заметить, что подсчитанные тем или иным методом запасы подземных вод, помимо сезонных колебаний их величин, о чем говорилось ранее, могут в процессе последующей эксплоатации водозаборов существенно увеличиться, иногда с одновременным ухудшением качества воды.

Например, при наличии связи подземных вод с поверхностными (болото, озеро, море, река, канал, пруд) отбор воды из водозабора и понижение около него уровня подземных вод может повлечь за собой усиленное поступление поверхностных вод в водоносный горизонт. Извлечение подземных вод водозабором может повлечь за собой осушение источников, которые переливались или вообще изливались из водоносного слоя выше по потоку, и поэтому не входили в подсчеты запасов по данному поперечному сечению потока.

1) Определение запасов подземных вод по водоотдаче водоносного слоя

Этот метод применяется лишь для определения запасов статических, величина которых подсчитывается по формуле:

$$Q = \beta V, \qquad (1)$$

где Q — статические запасы в $м^3$, V — полный объем водонасыщенного слоя в $м^3$ и β — величина водоотдачи в долях объема породы.

Для определения объема водонасыщенной породы при съемочных и разведочных работах устанавливается площадь распространения водоносного горизонта и его мощность. Площадь можно определить планиметрированием по геолого-гидрогеологической карте.

Если водоносный горизонт отличается переменной мощностью или водоотдачей, подсчеты запасов делаются сначала для отдельных участков, а затем суммируются для всей изучаемой площади.

Водоотдача грунтов определяется лабораторными опытами и представляет собой отнесенное к объему породы количество воды, которое может свободно вытекать из водоносного горизонта.

Для скальных и полускальных пород статические запасы подземных вод определяются условно по трещиноватости пород, обнаруженной при изысканиях.

Так как определение статических запасов имеет обычно лишь общее значение для водоснабжения, все подсчеты можно производить ориентировочно и принимать для этих подсчетов величину водоотдачи: для супеси — от 10 до 15%; глинистых песков — от 15 до 20%; среднезернистых песков — от 20% до 25% и крупнозернистых и гравелистых песков — от 25 до 30%.

2) Определение запасов по величине инфильтрации атмосферных осадков

производят по следующей формуле:

$$Q = 10\alpha kF, \qquad (2)$$

где Q — динамические запасы, ежегодно пополняемые за счет инфильтрации атмосферных осадков, в $м^3/год$;

α — коэфициент инфильтрации в % от слоя атмосферных осадков;

h — годовое количество атмосферных осадков в *мм* (по данным ближайших метеорологических станций);

F — область питания подземных вод в $км^2$.

Формула эта рекомендуется в учебниках, но пользоваться ею практически нет возможности, так как для определения коэфициента инфильтрации достаточно обоснованной методики не имеется. Лизиметрические опыты, помимо своей громоздкости и малой точности, вообще говоря, не характеризуют величину непосредственного питания водоносного горизонта; рекомендуемое в некоторых литературных источниках подразделение годовых осадков на три равные части не имеет никакого обоснования.

Поэтому подсчеты запасов по формуле (2) можно производить лишь иногда для условных суждений и сопоставлений, например, чтобы доказать недостаточность запасов даже при $\alpha = 100\%$, или достаточное пополнение запасов при минимальной величине инфильтрации, например, при $\alpha = 5—10\%$:

По материалам изучения режима грунтовых вод можно в отдельных случаях определить так называемую величину фильтрации атмосферных осадков W, которая выражается в метрах за год и связана с коэфициентом инфильтрации следующим соотношением: $\alpha\,\% = 10^5 \frac{W}{h}$. Зная величину фильтрации, можно подсчеты запасов производить по видоизмененной формуле (2):

$$Q = 10^3 WF. \qquad (2')$$

Способы подсчета W предложены в работах Кене [23] и Г. Н. Каменского [19—22] лишь для грунтовых вод междуречного массива и пока не освоены практикой гидрогеологических изысканий для водоснабжения. Метод определения запасов подземных вод по величине фильтрации требует дальнейшей специальной разработки, так как несомненно представляет исключительный теоретический и практический интерес.

Следует заметить, что величина области питания F определяется обычно весьма условно, так как контуры ее распространения и изменение фильтрационных свойств покровных отложений в области питания, а также положение водораздела, грунтовых вод установить очень трудно.

3) Определение запасов подземных вод по материалам гидрометрических наблюдений

Фильтрация поверхностных вод в данный водоносный горизонт или, напротив, дренирование подземных вод в поверхностные водотоки и водоемы могут быть количественно охарактеризованы при помощи систематических наблюдений на гидрометрических створах и постах. Участки фильтрации и дренирования устанавливаются при гидрогеологических изысканиях, по материалам которых определяется необходимость организации гидрометрических наблюдений и выбираются пункты расположения гидростворов, ограничивающих эти участки. Гидрометрические наблюдения следует считать обязательными при изучении запасов и режима карстовых вод.

Определяя одновременно расход реки на верхнем и нижнем гидрометрических створах, по разности можно подсчитать для данного момента времени величину питания или дренирования водоносного горизонта.

При длительном цикле этих наблюдений можно устанавливать характерные значения динамических запасов для отдельных сезонов и различных по водности лет. Однако гидрометрические измерения на крупных водотоках вообще не обеспечивают надежного определения величины фильтрационных потерь и подземного стока, а в половодье и периоды сильных дождей эти измерения не надежны и для малых рек.

Кроме того, следует иметь в виду, что часть подземного стока при неглубокой врезке речной долины может проходить под водотоком и что водоносный горизонт может иметь комбинированное питание за счет фильтрации из реки и инфильтрации атмосферных осадков. Поэтому материалы гидрометрических наблюдений обычно дают ориентировочную характеристику запасов и чаще всего только для меженнего периода года.

Тем не менее при наличии в районе изысканий станций и постов Единой гидрометслужбы материалы гидрометрических наблюдений целесообразно использовать для определения величины подземного стока или динамических запасов подземных вод. Такие определения возможны в простых гидрогеологических условиях и при наличии одного дренируемого водоносного горизонта; при наличии

двух сменяющихся по реке горизонтах необходимо устраивать дополнительные гидростворы.

Принимается, что наши равнинные реки в меженнее время целиком питаются за счет дренирования подземных вод, и тогда меженние расходы, измеренные на гидропостах, должны характеризовать минимальные или постоянные динамические запасы.

Если гидроствор полностью улавливает подземный сток всего изучаемого водоносного горизонта, меженний по-

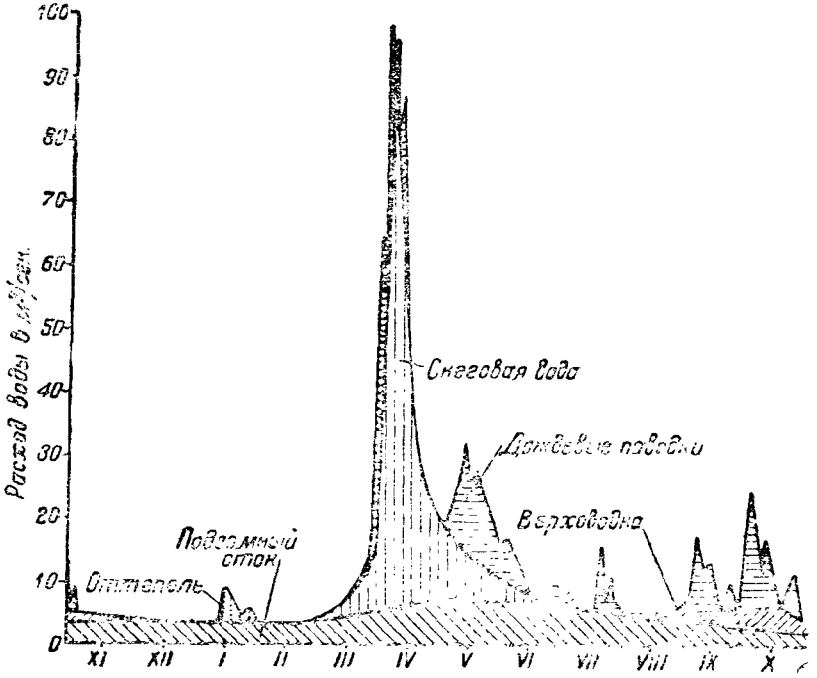


Рис. 7. Годограф р. Ижо ы (по В. С. Советову)

верхностный сток непосредственно характеризует величину запасов.

Когда на гидростворе измеряется подземный сток лишь части водоносного горизонта и необходимо определить запасы всего горизонта, данные гидрометрических измерений можно в той или иной мере, с учетом геолого-гидрогеологических особенностей местности, распространить на весь водоносный горизонт, конечно, в пределах от реки до водораздела подземных вод. В этих случаях для подсчета запасов можно использовать величину модуля поверхностного стока, который обычно подсчитывается по всем гидрометрическим пунктам.

Как известно, этот модуль выражает расход потока в *л/сек* с 1 *км*² водосборной площади. Площадь водосбора F_b и область питания водоносного горизонта F_y, учитывая положение водораздела подземных вод, обычно не совпадают по величине (и по расположению), поэтому отождествлять величину минимального модуля поверхностного стока γ с модулем подземного стока γ' нельзя. Зная величину области питания F_y участка водоносного горизонта, дренирование которого измеряется на гидростворе, можно подсчитать модуль подземного стока:

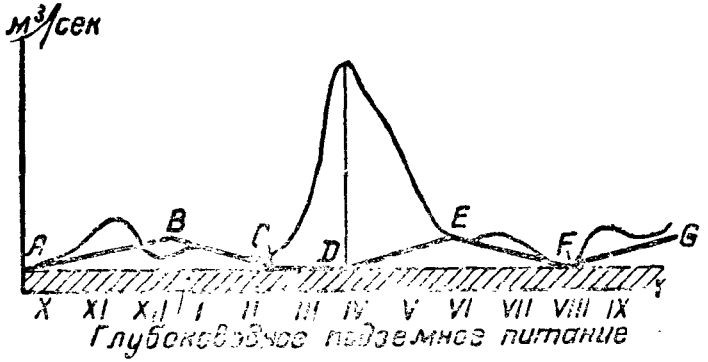


Рис. 8. Годограф — схема для определения подземного питания (по Огиевскому)

$\gamma' = \frac{F_b}{F_y}$, а по нему определить количество постоянных динамических запасов водоносного горизонта в *м³/год*;

$$Q = 31{,}536\gamma' F_n \qquad (3)$$

По материалам гидрометрических наблюдений составляются годографы рек, на которых выделяют меженний сток под названием «постоянное грунтовое питание», причем гидрологи пытаются изображать на годографе и переменные динамические запасы, т. е. величину подземного стока в течение всего года (рис. 7 и 8). Выделение на годографе подземного стока производится пока условно, так как определенной методики для этих подразделений еще не имеется. Например, на рис. 8 величина переменного подземного стока определяется площадью между прямой *AA* и ломаной *ABCDEFG*.

Таким образом гидрометрические материалы станций и постов Единой гидрометслужбы можно использовать,

главным образом, для определения минимальной величины подземного стока и для подсчетов принимать минимальный модуль стока, пересчитанный на область питания водоносного горизонта.

Значение величины минимального модуля поверхностного стока по речным бассейнам Союза приводятся в гидрологической литературе, данных же о величине модуля подземного стока очень мало. Так, например, Д. И. Щеголев и Н. С. Токарев [1] дают величину этого модуля для северных окраин Донбасса в пределах от 1,4 до 2,2 *л/сек* с 1 *км*², а К. И. Маков [29] для Северо-Украинской мульды приводит таблицу ориентировочных значений указанного модуля (табл. 5).

Таблица 5

Характеристика района	Годовой слой осадков в *мм*			
	450	500	550	600
1. Районы, слабо покрытые послемеловыми отложениями, где в большинстве случаев мел и мергель обнажены	2,00	2,22	2,44	2,66
2. Районы, покрытые ледниковыми отложениями, но мел часто обнажается. Ливни редки	1,60	1,78	1,95	2,32
3. Районы, покрытые значительной толщей послемеловых отложений, среди которых преобладают водопроницаемые породы	1,00	1,11	1,22	1,33
4. Районы, где трещиноватые мел и мергели сплошь покрыты водоупорными породами	0	0	0	0

4) Определение запасов подземных вод по дебиту источников

Если источник или группа источников полностью дренирует определенный участок горизонта подземных вод, по материалам длительных и систематических измерений дебита этих источников можно с большой точностью опре-

[1] Гидрогеологический очерк Донецкого бассейна. Изд. Главного Геологического Управления, 1930 г.

делять подземный сток для любого сезона года, строить годограф и устанавливать постоянные и максимальные запасы подземных вод данного участка. Такие определения особенно важны для проектирования водоснабжения за счет каптажа данного источника или группы источников.

Более значительный фронт выхода подземных вод на поверхность земли B подразделяют на характерные участки, дренируемые определенной группой источников, расход которых систематически измеряется. Относя расход каждой группы источников к протяжению соответствующего участка (по фронту потока), можно подсчитать удельные расходы q_1, q_2, $q_3, \ldots, q_n$ и, наконец, суммарную величину подземного стока для всего фронта выхода подземных вод:

$$Q = \frac{q_1 + q_2 + q_3 + \cdots + q_n}{n} B. \qquad (4)$$

Если источники выходят на склоне, покрытом делювиальными или аллювиальными отложениями, определения дебита источников и величины подземного стока весьма затруднены, при расположении водоупора ниже горизонта поверхностных вод дебит источников характеризует заниженную величину подземного стока.

Определения запасов по формуле [4] для всего водоносного горизонта обычно имеют лишь ориентировочное значение, вследствие весьма неравномерного расположения источников по фронту выхода подземных вод на поверхность земли. Поэтому такие определения целесообразно комбинировать с другими методами подсчета запасов, например с подсчетами по материалам гидрометрических наблюдений расхода поверхностных водотоков, куда дренируются воды из данного водоносного горизонта.

5) Определение запасов по поперечному сечению потока подземных вод

Подсчеты запасов производятся:

а) по коэфициенту фильтрации и гидравлическому уклону:

$$Q = k\omega IB; \qquad (5)$$

б) по радиусу влияния опытной откачки из скважины:

$$Q = \frac{Q_0}{2R} B; \qquad (6)$$

в) по ширине полосы питания скважины:

$$Q = \frac{Q_0}{l} B, \qquad (7)$$

где Q — расход потока подземных вод;
Q_0 — дебит скважины или колодца при опытной откачке;
k — коэфициент фильтрации водоносного слоя;
ω — поперечное сечение потока на участке;
I — гидравлический уклон потока;
R — радиус влияния откачки;
l — ширина полосы питания скважины;
B — протяжение фронта потока.

Все величины, входящие в формулы (5)—(7), могут существенно изменяться по фронту потока, поэтому подсчет запасов подземных вод производится сначала для типичных участков, а затем результаты подсчетов суммируются по всему поперечному сечению потока в районе расположения проектируемых водозаборов или, если это необходимо, всего водоносного горизонта.

Замеры и подсчеты необходимо повторять несколько раз в различные сезоны года во избежание завышенной оценки запасов, в крайнем случае их производят в период более пониженного положения поверхности подземных вод.

Определение запасов межпластовых вод (ненапорных и артезианских) может быть сделано для любого поперечного сечения потока, поскольку эти воды на площади между областями питания и дренирования не получают дополнительного питания и характеризуются постоянным расходом. Для грунтовых вод (со свободной поверхностью) подсчеты характеризуют лишь часть запасов, соответствующих величине питания этих вод на площади от водораздела грунтовых вод до выбранного поперечного сечения потока.

Для определения запасов по коэфициентам фильтрации и уклону потока А. Тим рекомендовал производить следующие изыскания и расчеты. По возможности вдоль гидроизогипсы потока подземных вод, в расстоянии 500—800 *м* друг от друга (при неоднородном составе толщи — через 150—200 *м*) закладываются узлы из трех буровых скважин каждый. Скважины располагаются в вершинах треугольника, стороны которого имеют длину 50—100 *м*. На этих узлах при помощи опытных откачек, измерений и нивелировок определяются величина и направление

уклона поверхности подземных вод, мощность водоносного слоя и коэфициент фильтрации. Распространяя полученные значения по гидроизогипсе на половину расстояния до соседних опытных узлов, подсчитывают по формуле (5) для каждого выделенного участка поперечное сечение и расход потока и, наконец, суммарную производительность потока (запасы) по данному району или всему сечению водоносного горизонта.

Техника определения запасов по методу А. Тима связана с большим объемом буровых и опытных ра-

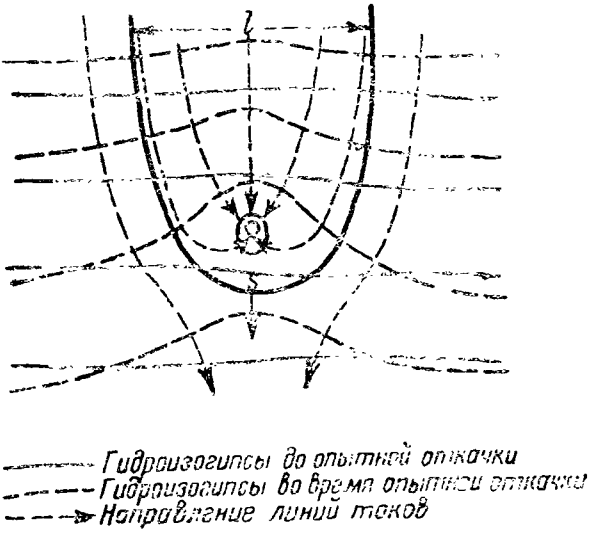


Рис. 9. Схема определения полосы питания скважины

бот, поэтому применяется редко и, главным образом, для участков проектируемого расположения водозаборов. Подсчеты запасов в первую стадию изысканий обычно производят по осредненным данным: поперечное сечение и уклон потока определяются по материалам геологической съемки и разведки, а коэфициенты фильтрации — по одиночным опытным откачкам или лабораторным анализам. Для предварительной характеристики запасов величина коэфициента фильтрации и гидравлический уклон принимаются по справочным данным.

Радиус влияния R может быть определен по карте гидроизогипс, составленной до откачки и для периода стабильного понижения уровня в опытной и наблюдательных скважинах, или графически — по наблюдательным

скважинам. При откачках из одиночных скважин величина радиуса влияния подсчитывается по одной из существующих формул или принимается ориентировочно, по справочным данным.

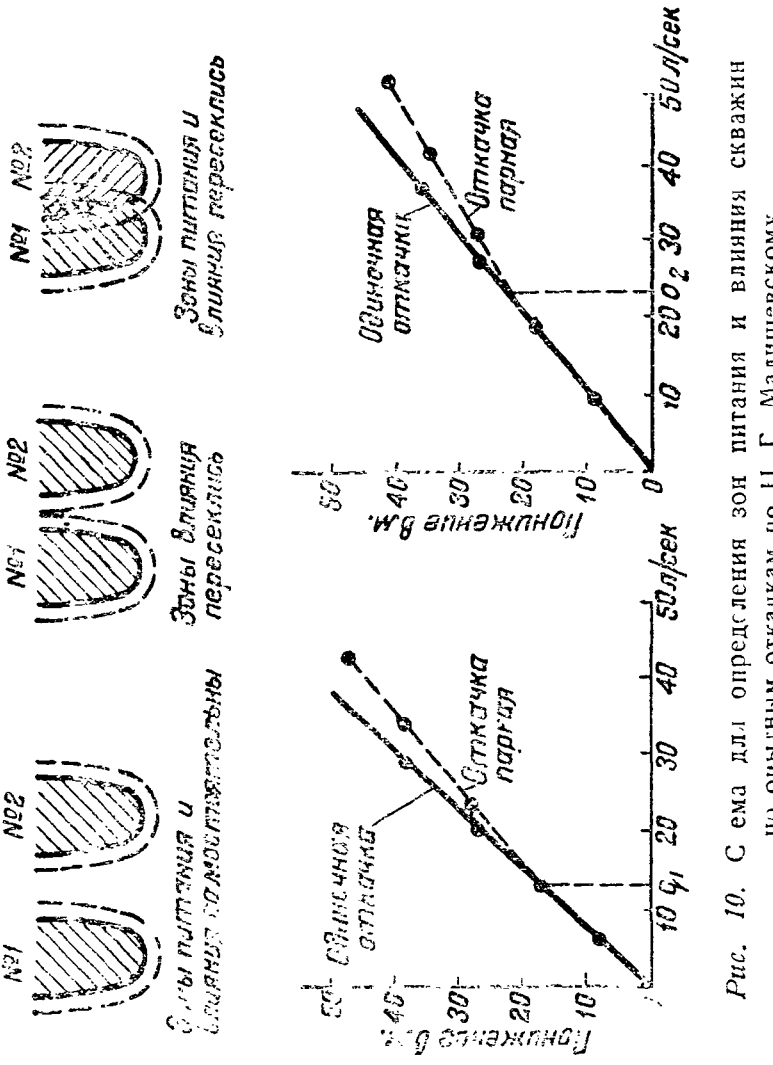


Рис. 10. Схема для определения зон питания и влияния скважин по опытным откачкам по Н. Г. Малишевскому

Ширина полосы питания скважины l определяется по карте гидроизогипс и по расчету.

В простейшем случае, когда линии токов до откачки располагались более или менее параллельно, контуры и ширина области питания скважины при откачке устанавливаются сравнительно просто (рис. 9).

Гидроизогипсы вверх по потоку (по мере удаления от скважины) повышаются и постепенно приближаются к первоначальной поверхности подземных вод. Вниз по потоку поверхность подземных вод сначала падает к скважине, а затем от «нижней водораздельной точки» S понижается. Проводя от этой точки нормально к гидроизогипсам линии токов до непонижепной при откачке гидроизогипсы, можно оконтурить область питания и определить ее ширину l. Таким же путем определяется ширина полосы питания в воронках депрессии более сложной формы, если имеется карта гидроизогипс.

Чем положе кривая депрессии потока подземных вод (в естественных условиях, до откачки), тем более ширина полосы питания приближается по величине к полосе влияния скважины, и в бассейне подземных вод с горизонтальным уровнем воды эти полосы равны, т. е. $l = 2R$.

Проф. Н. Г. Малищевский предложил для определения ширины полосы влияния и единичного расхода артезианского потока метод опытных откачек из двух скважин. Сущность метода заключается в следующем.

При опытной откачке воды одновременно из двух скважин, расположенных примерно на одной и той же гидроизопьезе, зоны питания и влияния скважин могут оставаться самостоятельными или при некотором определенном расходе и понижении уровней войдут в соприкосновение или даже пересекутся (рис. 10). Дальнейшее понижение уровня воды после соприкосновения зон питания при откачке повлечет за собой уменьшение расхода скважин. Для определения этого момента составляются графики зависимости расхода от понижения уровня воды сначала при откачках из каждой скважины отдельно, а затем из двух скважин одновременно. Совмещая графики, устанавливают на них расходы скважин q_1 и q_2, соответствующие моменту соприкосновения зон питания — дальнейшие точки графика показывают уменьшение расходов в каждой скважине. Ширина зоны питания l принимается равной удвоенному расстоянию между скважинами по гидроизопьезе, и тогда единичный расход потока будет равен:

$$q = \frac{q_1 + q_2}{2l}.$$

Если скважины расположены не по гидроизопьезе, суммарный расход скважин нужно разделить на $\cos \alpha$, где

α — угол между гидроизопьезой и линией, соединяющей скважины.

Необходимо заметить, что при проектировании таких откачек трудно задавать заранее определенные расходы и понижения, при которых будет наблюдаться сначала независимый режим скважин, а затем соприкосновение и пересечение зон питания скважин.

3. Классификация запасов подземных вод по степени их изученности и применительно к стадиям проектирования водоснабжения

Для обоснования той или иной стадии проектирования водоснабжения необходимо иметь определенную степень изученности запасов подземных вод. По аналогии с оценкой месторождений полезных ископаемых, можно предложить следующую классификацию запасов подземных вод по степени их изученности (табл. 6).

Как это видно из таблицы и из дальнейшего изложения, запасы подземных вод по категориям A_1 и A_2, а зачастую и по категории В практически могут относиться лишь к участкам будущего расположения водозабора.

Содержание гидрогеологических изысканий для определения запасов излагается ниже в соответствии с предлагаемой классификацией подземных вод и следующими стадиями изысканий:

а) предварительные изыскания (категории запасов C_2 и C_1);

б) изыскания к проектному заданию (категория запасов В);

в) изыскания к техническому проекту (категория запасов A_2);

г) изыскания при эксплоатации и для расширения водозаборов (категория запасов A_1).

Предварительные изыскания могут потребоваться лишь для крупного водоснабжения и при слабой изученности района. В остальных случаях предварительные изыскания должны являться подготовительным этапом гидрогеологических изысканий к проектному заданию. При необходимости спешного строительства водозаборов изыскания к проектному заданию и техническому проекту могут быть объединенными в общий комплекс с внутренним подразделением на этапы.

Таблица 6

Категории запасов подземных вод

Категория запасов	Наименование категории запасов	Практическое назначение категории запасов	По каким исходным данным определяется категория запасов
1	2	3	4
C_2	Предполагаемые	Определяются для решения вопроса о целесообразности поисков подземных вод в данном районе и общего перспективного планирования этих поисков для водоснабжения и других целей	Устанавливаются по литературным и архивным материалам
C_1	Ориентировочные	Устанавливают ориентировочно водообильность водоносных горизонтов, имеющихся в данном районе и дают основание к постановке разведочных изысканий на определенные водоносные горизонты. Оценка ориентировочных запасов может быть использована для предварительных проектных соображений и расчетов	Помимо использования литературных и архивных материалов, производится полевое рекогносцировочное геолого-гидрогеологическое обследование района
B	Разведанные	Характеризуют водообильность выбранных для изучения водоносных горизонтов на площади их распространения и дают сравнительную характеристику разведанных участков для обоснования проектного задания водоснабжения и постановки детальных изысканий к техническому проекту водозаборов	Оценка запасов дается по материалам площадной геолого-гидрогеологической съемки, разведочным работам и опытным откачкам воды из одиночных скважин, пробуренных на характерных участках распространения водоносного горизонта

Продолжение

Категория запасов	Наименование категории запасов	Практическое назначение категории запасов	По каким исходным данным определяется категория запасов
1	2	3	4
A_2	Опробованные	Дают детальную характеристику подземных вод конкретного участка (участков) для обоснования технического проекта строительства водозабора и для расчета эксплоатационного режима последнего	Устанавливаются по материалам длительных откачек воды из одиночных скважин и групповых откачек, а также по материалам изучения режима подземных вод
A_1	Эксплоатационные	Дают материалы к проверке гидрогеологических расчетов водозабора, полностью устанавливают степень обеспеченности их эксплоатации запасами подземных вод и выявляют тот резерв запасов, который может быть использован для расширения водоснабжения	Устанавливаются путем систематических наблюдений за работой выстроенного водозабора или 1-й очереди водозабора (дебит, понижение, качество воды), а также наблюдениями режима подземных вод на окружающей территории

Так как степень изученности запасов подземных вод в стадии изысканий к техническому проекту должна обосновывать постройку водозаборов, эксплоатационные запасы (категория A_1) изучаются уже вне стадий проектирования.

1) Предварительные изыскания (категории запасов C_2 и C_1)

Если в литературе и архивных материалах не имеется конкретных гидрогеологических данных о водоносных горизонтах, запасы подземных вод данного района могут быть охарактеризованы лишь качественно, с применением в основном метода общих геолого-гидрогеологических суждений, а также метода оценки запасов по аналогии с соседними более изученными районами. Выявленные

таким путем запасы следует считать «предполагаемыми» (категория C_2); а самоопределение запасов может быть использовано для решения вопроса о целесообразности поисков подземных вод в данном районе и общего перспективного планирования этих поисков для целей водоснабжения.

Для оценки запасов по более высокой категории производится полевое рекогносцировочное обследование района (иногда с применением небольших разведочных работ), при котором уточняются геолого-литологический разрез, водообильность отдельных водоносных горизонтов (по источникам, колодцам и скважинам), примерная величина области питания, а также собираются гидрометрические данные по водотокам и водоемам, дренирующим водоносные горизонты.

По этим данным могут быть подсчитаны ориентировочные запасы подземных вод по категории C_1.

Подсчеты запасов должны дать ориентировочную сравнительную характеристику водоносных горизонтов для обоснования программы гидрогеологических изысканий к проектному заданию водоснабжения, а также могут быть положены в основу предварительных соображений и проектных разработок, например, при составлении предварительной схемы водоснабжения промышленных предприятий и населенных пунктов, при планировании строительства новых промышленных предприятий и т. п.

При большой водообильности района подсчеты запасов дают основание для заложения разведочно-эксплоатационных скважин, особенно при проектировании некрупного водоснабжения.

2) Изыскания к проектному заданию (категория запасов В)

Изыскания в стадии проектного задания производятся с целью установления возможности и экономической целесообразности получения в данном районе потребного количества и качества подземных вод для целей водоснабжения. В результате этих изысканий выбираются наиболее водообильные участки для дальнейших изысканий к техническому проекту.

В результате изысканий и расчетов определяются для отдельных участков разведанные запасы (по категории В), а для водоносного горизонта — уточненные ориентировочные запасы (категория C_1).

При несложных геологических условиях и при значительной водообильности района разведанные запасы позволяют составить технический проект водоснабжения.

В этом случае, на основании разведанных запасов, допускается устройство одиночных эксплоатационных скважин, а пробуренные ранее разведочные скважины могут быть включены в эксплоатацию для некрупного водоснабжения.

3) Изыскания к техническому проекту (категория запасов A_2)

Изыскания к техническому проекту производятся для получения детальной и исчерпывающей количественной и качественной характеристики подземных вод с целью окончательного выбора расположения водозаборов и для конкретного проектирования их, а также зон санитарной охраны.

Эти изыскания сосредоточиваются на участках расположенных проектируемых водозаборов, на всей же остальной площади района производятся дополнительные изыскания лишь в том случае, если они были признаны необходимыми для уточнения запасов и условий питания водоносного горизонта. По материалам изысканий устанавливаются «опробованные» запасы подземных вод по категории A_2, составляется технический проект водозаборов с расчетом их эксплоатационного режима и начинается строительство водозаборов.

4) Изыскания при эксплоатации и для расширения водозаборов (категория запасов A_1)

Изыскания в эту стадию могут уточнить принятые в техническом проекте расчетные дебиты каждой скважины и эксплоатационный режим всего водозабора в целом, а также уточнить все вопросы, оставшиеся неясными при изысканиях к техническому проекту. Поэтому гидрогеологические работы в основном сводятся к наблюдению и документации опытных и эксплоатационных откачек и изучению режима подземных и поверхностных вод. Наблюдения производятся непрерывно в различные сезоны года, в крайнем случае при откачках или эксплоатации водозаборов в меженний период. По материалам этих наблю-

дений определяются эксплоатационные запасы подземных вод по категории A_1.

Путем интерполяции материалов наблюдений могут быть уточнены ориентировочные запасы водоносного горизонта, а также производительность потока подземных вод на соседних, неиспользуемых участках района, т. е. установлены для этих участков запасы по категории B, а иногда и по категории A_2.

При необходимости расширения или усиления существующего водоснабжения изыскания должны установить неиспользованную часть запасов подземных вод на участке существующих водозаборов и в случае их недостаточности указать другие водообильные участки для заложения новых водозаборов.

Режим действующих водозаборов обычно не наблюдается, экспериментальные же исследования водозаборов весьма затруднены. Поэтому подсчеты запасов в районе действующих водозаборов и решение вопроса о возможности расширения водоснабжения требуют всякий раз постановки весьма своеобразных и оригинальных исследований, мотодика которых еще не разработана.

ВТОРАЯ ЧАСТЬ

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОЗАБОРОВ

Глава IV
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Предварительные замечания

Проектирование водозаборов, эксплоатирующих подземные воды, требует участия в нем двух, довольно различных по своему профилю специалистов, а именно: строителей-водоснабженцев и гидрогеологов-изыскателей. Участие гидрогеологов в проектировании водозаборов заключается в том, что при проведении гидрогеологических изысканий изыскательской организацией одновременно производится работа по так называемому «гидрогеологическому проектированию». В состав гидрогеологического проектирования входит: а) выбор участков для размещения водозаборов, б) обоснование конструктивных типов водозаборов, в) гидрогеологические расчеты по определению количества, взаимосвязи и производительности водозаборов, г) установление зон санитарной охраны и т. п.

Гидрогеологическое проектирование является лишь гидрогеологической рекомендацией и отнюдь не заменяет строительного проектирования, выполняемого в проектной организации специалистами-водоснабженцами, с учетом всех технико-экономических и производственных особенностей проектируемого объекта. Гидрогеологическое проектирование проводится обычно после окончания камеральной обработки материалов гидрогеологических изысканий и является как бы заключительным этапом при составлении гидрогеологического отчета. Вполне целесообразно там, где это возможно по производственным и организационным условиям, выполнять гидрогеологическое проектирование как часть общего проекта водоснабжения.

2. Этапы и элементы проектирования водозаборов

Проектирование водозаборов в соответствии с существующими положениями разбивается на следующие стадии:

а) проектное задание, б) технический проект и в) рабочие чертежи.

Кроме того, при расширении, реконструкции и восстановлении существующих водозаборов, а также при составлении генеральных схем планировки городов и населенных мест может возникнуть необходимость в проектных разработках, не укладывающихся ни в одну из указанных стадий.

При расширении, реконструкции и восстановлении существующих водозаборов, а также при устройстве новых водозаборов в сравнительно хорошо изученных в гидрогеологическом отношении районах представляется вполне целесообразным, минуя стадию проектного задания, непосредственно разрабатывать технические проекты. Во многих случаях, когда проектируются небольшие водозаборы, нет также необходимости отделять составление рабочих чертежей от технического проекта (техно-рабочий проект).

Проектное задание разрабатывается в соответствии с директивными указаниями заинтересованной организации на основе материалов, полученных в результате проведения предварительных изысканий.

В проектном задании должны быть разрешены следующие вопросы, относящиеся к компетенции гидрогеологического проектирования:

а) гидрогеологическое обоснование возможности и целесообразности получения в данном районе потребного количества и качества подземных вод для целей водоснабжения;

б) выбор наиболее водообильного и удобного для постройки водозаборов участка;

в) выбор конструктивного типа водозаборного сооружения, отвечающего гидрогеологическим и другим особенностям участка;

г) установление примерного расположения водозаборных сооружений в плане и выбор глубины их заложения, отвечающих гидрогеологическим условиям участка;

д) гидрогеологическое обоснование зон санитарной охраны водозаборов.

Технический проект разрабатывается на основе утвержденного соответствующими инстанциями проектного задания и дополнительных материалов изысканий.

В техническом проекте по принятому варианту при участии гидрогеолога:

а) уточняется расположение водозабора в плане;

б) дается высотное решение, т. е. устанавливаются отметки и глубины заложения водозабора, положение его водоприемной части и т. д.;

в) разрабатываются конструкция водозабора и способы производства работ;

г) производятся расчеты по уточнению производительности водозабора, определению его водозахватной и водопропускной способности, установлению отметок динамических уровней, выяснению взаимовлияния водозаборов и т. п.;

д) уточняются зоны и мероприятия по санитарной охране водозаборов и эксплоатируемого водоносного горизонта.

Содержание рабочих чертежей является очевидным и участия гидрогеолога обычно не требует. Лишь при составлении рабочих чертежей крупных водозаборов в тех случаях, когда возникает необходимость в уточнении и проверке некоторых положений технического проекта, главным образом в части эксплоатационных нагрузок и режима водозаборных сооружений, необходимо участие гидрогеолога. Эти уточнения производятся на основе материалов гидрогеологических наблюдений за размещением, строительством и эксплоатацией водозаборов первой очереди.

При разработке генеральных схем планировки городов и населенных мест при участии гидрогеолога освещаются следующие вопросы водоснабжения за счет подземных вод:

а) источники подземных вод и их современное использование;

б) типы существующих водозаборов, их состояние, производительность и т. п.;

в) общие предпосылки к расширению и реконструкции существующих водозаборов или к устройству новых;

г) направление мероприятий по расширению и реконструкции существующих водозаборов, а также районы размещения новых водозаборов;

д) количество новых водозаборов, их тип и примерная производительность.

При составлении генеральных схем, проектные разработки по водоснабжению должны быть теснейшим образом увязаны с перспективным развитием города или населенного пункта и его коммунального хозяйства.

3. Выбор участков для заложения водозаборов

Выбор участков для заложения водозаборов определяется в основном геолого-гидрогеологическими условиями района.

В районах, хорошо изученных в гидрогеологическом отношении, при проектировании небольших водозаборов этот выбор во многих случаях может быть произведен на основании имеющихся материалов и осмотра участков в натуре специалистом-гидрогеологом. В большинстве же случаев, в особенности при проектировании крупных водозаборов, для обоснованного выбора участков их заложения проводятся соответствующие гидрогеологические изыскания. Гидрогеологические предпосылки для выбора источников подземных вод и размещения водозаборов, а равно и элементы гидрогеологического изучения участков их заложения были освещены выше.

Поэтому в настоящей главе рассмотрим только некоторые общие положения, которые необходимо учитывать при выборе участков для заложения водозаборов. Прежде всего отметим, что при прочих равных условиях предпочтение следует отдавать участкам:

а) наиболее близко расположенным к местам потребления воды;

б) обладающим наибольшей водообильностью и допускающим забор потребного количества воды при наименьших затратах на строительство водозаборов;

в) имеющим низкие отметки поверхности земли в месте расположения водозаборов как дающим наименьшую строительную стоимость и облегчающим извлечение воды из водозаборов и прокладку соединительных линий между ними;

г) обеспечивающим наиболее высокие динамические уровни как удешевляющим эксплоатационные расходы по подъему воды из водозаборов и облегчающим применение насосов с более высоким коэфициентом полезного действия (например применение центробежных насосов в буровых скважинах и в шахтных колодцах);

д) обеспечивающим возможность легкого и удобного расширения водоснабжения при последующем развитии его или устройстве новых дополнительных водозаборов, расположенных в ином месте;

е) незатопляемым паводковыми водами или (при невозможности избежать этого) требующим для обвалования, обсыпки и т. п. наименьших затрат средств.

При размещении водозаборов для хозяйственно-питьевого водоснабжения следует избегать участков с бактериологическим загрязнением, на которых организация зоны санитарной охраны может встретить непреодолимые затруднения. Кроме того, при выборе участков для заложения водозаборов должны быть учтены особые требования ПВО в части: защиты водозаборов от возможного проникновения ОВ и искуственных бактериологических загрязнений, удобства маскировки, маневренности при авариях (возможность дублирования водозаборов), рассредоточенности водозаборов и т. п.

Практически найти такой участок, который отвечал бы всем оптимальным условиям, весьма трудно (или даже невозможно), поэтому круг возможных источников водоснабжения постепенно сужается за счет отказа от явно не приемлемых вариантов.

В отдельных случаях, например при наличии вполне доброкачественных и водообильных водоносных горизонтов или же при наличии в районе только одного подземного источника, выбор места расположения водозабора значительно упрощается ввиду явной бесспорности или же вынужденности данного решения.

При выборе участков для заложения водозаборов следует учитывать также и особые условия залегания подземных вод, а именно:

а) при наличии торфяников, болот, грунтов обогащенных солями железа, марганца и т. п., присутствие которых может отрицательно сказаться на качестве воды, водозаборы необходимо удалять от них на достаточно большое расстояние;

б) равным образом водозаборы должны быть ограждены от засоления как благодаря подсосу воды из других более минерализованных горизонтов, так и со стороны моря (в случае расположения водозабора на морском побережье);

в) при размещении водозаборов в карстовых районах определяющим условием для их заложения является возможность обеспечения санитарной охраны источника (для случая хозяйственно-питьевого водоснабжения).

Кроме того, в некоторых районах при размещении водозаборов следует учитывать сейсмичность, наличие и условия прохождения грязевых потоков, местоположение грязевых вулканов и т. п.

4. Основные виды водозаборов и условия их применения

Для эксплоатации подземных вод применяются следующие основные виды водозаборных сооружений: 1) вертикальные водозаборы; 2) горизонтальные водозаборы; 3) каптажи выходов подземных вод.

Вертикальные водозаборы находят наиболее широкое распространение в практике водоснабжения. Этот вид водозаборов в условиях относительно глубокого залегания подземных вод в большинстве случаев является единственно применимым. Для эффективного применения вертикальных водозаборов необходимо, чтобы водоносный горизонт залегал от поверхности земли на глубине 7—10 *м* и имел мощность не менее 2—3 *м*. Вертикальные водозаборы необходимы также и при этажном залегании водоносного горизонта, т. е. при эксплоатации нескольких водоносных горизонтов или одного, но представляющего собой чередование нескольких водоносных и водоупорных прослоев.

Горизонтальные водозаборы целесообразно применять при неглубоком залегании водоносного горизонта (порядка 5—8 *м*) и небольшой его мощности (до 2—3 *м*). В условиях неглубоко залегающих подземных вод, приуроченных к трещиноватым породам, движение в которых происходит отдельными струями, с помощью горизонтальных водозаборов возможно осуществить почти полный перехват потока подземных вод, чего нельзя достигнуть применением вертикальных водозаборов. Горизонтальные водозаборы дают весьма хороший эффект в тех случаях, когда необходимо произвести перехват потока подземных вод на значительной ширине при небольшой его мощности.

В местах выклинивания водоносных горизонтов в склонах овражных балок и речных долин, а также там, где неглубоко от поверхности земли (до 2—3 *м*) залегают водоносные горизонты, обладающие напором, забор воды может быть осуществлен путем устройства каптажных сооружений.

Горизонтальные водозаборы и каптажные устройства применимы, главным образом, в небольшом водоснабжении.

5. Конструктивные типы водозаборов и их выбор

а) Вертикальные водозаборы

В конструктивном отношении вертикальные водозаборы разделяются на: а) буровые скважины (иначе трубчатые колодцы) и б) шахтные колодцы.

Буровые скважины являются наиболее универсальным конструктивным типом водозаборов при эксплоатации подземных вод — их возможно применять практически на любую необходимую глубину. Этот тип водозабора обладает достаточно высокой производительностью и наиболее полно отвечает санитарным требованиям.

Применение шахтных колодцев ограничено максимальной глубиной 40—50 *м*; вообще же их рекомендуется устраивать лишь для эксплоатации относительно малопроизводительных и неглубоко залегающих водоносных горизонтов (обычно в пределах 10—20 *м*). Шахтные колодцы более уязвимы (по сравнению с буровыми скважинами) в отношении проникания в них поверхностных загрязнений.

Область применения их ограничена, главным образом, небольшими водозаборами, устраиваемыми в сельских местностях для водоснабжения колхозов, совхозов, мелких промышленных предприятий и т. п.

б) Горизонтальные водозаборы

Горизонтальные водозаборы разделяются на следующие конструктивные типы:

а) траншейные водозаборы (щебенчатые и трубчатые);

б) галлерейные водозаборы (собственно водосборные галлереи, водосборные штольни);

в) кяризы — представляющие комбинацию водосборных штолен и шахтных колодцев.

Выбор типа горизонтального водозабора определяется, главным образом, глубиной залегания подземных вод и характером водопотребления.

Щебенчатые водозаборы, являясь наиболее примитивным водозаборным сооружением, могут находить применение лишь при использовании неглубоко залегающих подземных вод (до 2—3 *м*) от дневной поверхности, преимущественно для временных и строительных водопроводов. Трубчатые водозаборы, являясь более совершенным водозаборным сооружением, могут применяться и для постоянного, но сравнительно мелкого водопотребителя при более глубоком залегании подземных вод (до 4—5 *м* от дневной поверхности).

Следует отметить, что водозаборы траншейного типа, эксплоатирующие самые верхние водоносные горизонты, во многих случаях дают воду, не вполне отвечающую санитарным условиям (в отношении бактериологической

загрязненности), а потому для хозяйственно-питьевого водоснабжения не всегда могут быть использованы.

Водосборные галлереи и штольни возможно применять и для постоянного водоснабжения относительно крупных потребителей воды, но при еще более глубоком залегании подземных вод. Применение водосборных галлерей ограничено глубиной залегания подземных вод 5—8 *м*. В тех случаях, когда подземные воды залегают на глубине свыше 8 *м*, а устройство галлереи открытым способом представляет большие трудности, следует переходить на водосборные штольни. Глубина заложения водосборных штолен не лимитирует область их применения, так как они проходятся подземным (туннельным) способом.

Кяризы применяются, главным образом, для сельскохозяйственного водоснабжения и орошения небольших земельных участков в маловодных (полупустынных) районах с невыдержанным залеганием водоносных горизонтов.

в) Каптажи источников

Конструкции каптажей могут быть самыми разнообразными — от простой каменной наброски или продольно-поперечной траншеи, заполненной фильтрующим материалом, до специальной водосборной камеры или опускного колодца. Выбор конструкции каптажа определяется водообильностью каптируемых выходов подземных вод и условиями их залегания, а также характером водопотребления. Каптажные сооружения простейшего типа (в виде простейших обделок, траншей заполненных фильтрующим материалом и т. п.) могут устраиваться преимущественно в качестве водозаборов для временных и строительных водопроводов; каптажи же с капитальными обделками (в виде водосборных камер, опускных колодцев и т. п.) в водозаборах постоянно действующего водоснабжения, при наличии достаточно мощных и надежных источников.

6. Установление зон санитарной охраны

Установление зон санитарной охраны подземных источников питьевого водоснабжения находится в компетенции органов санитарного надзора. При гидрогеологическом проектировании водозаборных сооружений следует ограничиваться лишь разработкой общих гидрогеологических рекомендаций, учет которых при установлении зон сани-

гарной охраны органами санитарного надзора является обязательным.

В санитарном отношении весь район расположения водозаборных сооружений, в соответствии с существующими положениями (постановление ЦИК и СНК СССР № 96/834 от 17/V 1937 г), может быть разбит на:

а) зону «строгого режима»;

б) зону «ограничений»;

в) зону «наблюдений».

При установлении границ и размеров этих зон необходимо руководствоваться, главным образом:

а) рельефом местности и характером изрезанности его гидрографической сетью;

б) геологическим строением и гидрогеологическими условиями района расположения водозабора (характер напластований пород, степень их проницаемости и мощность; условия залегания, питания и дренажа подземных вод и т. д.);

в) характером заселенности и промышленного развития района.

При эксплоатации глубоких артезианских вод с отдаленной областью питания обычно бывает достаточным ограничиться установлением зоны «строгого режима» в пределах участка расположения самого водозабора. В этом случае надобность в выделении второй и третьей зон обычно не встречается.

При эксплоатации неглубоко залегающих артезианских или грунтовых вод и отсутствии надежной изоляции водоносного горизонта от попадания в него поверхностных загрязнений, в зону «строгого режима» должны быть включены не только сами водозаборы, но и непосредственно прилежащие к водозаборам участки, на которых по рельефу местности и геологическим условиям следует опасаться усиленного загрязнения водоносного горизонта (например утонение или полное исчезновение покровного чехла, переход суглинистых отложений покровного чехла в легкопроницаемые зернистые отложения и т. д.). В зону «строгого режима» должны быть включены и все близрасположенные населенные пункты и промышленные предприятия. Отдаленные населенные пункты и промышленные предприятия, находящиеся от водозаборов на расстоянии 1—3 *км*, должны быть включены в зону «ограничений», а вся остальная площадь в этих пределах — в зону «наблюдений». Эти рекомендации относятся к водоносным горизонтам в песча-

ных породах, для трещиноватых же пород зоны ограничений и наблюдений расширяются до 3—5 *км*.

При наличии гидравлической связи эксплоатируемого водоносного горизонта с водами открытых водоемов должна быть установлена зона «наблюдений» за санитарным состоянием поверхностных вод.

При установлении границ следует исходить не из геометрических форм выделяемых зон, а руководствоваться, главным образом, рельефом местности, геолого-гидрогеологическими условиями района и расположением источников возможного загрязнения подземных вод.

Глава V

БУРОВЫЕ СКВАЖИНЫ

1. Общие замечания

Конструкции и способы бурения буровых скважин для эксплоатации подземных вод зависят от геолого-литологического разреза района, глубины скважины, количества водоносных горизонтов и проектируемого типа насосного оборудования. Перед приступом к бурению на основании материалов гидрогеологических изысканий составляется проект буровой скважины, в котором должны содержаться следующие сведения:

1) глубина скважины;

2) геолого-литологический разрез скважины;

3) глубина залегания, мощность и статические уровни водоносных горизонтов, которые будут пройдены скважиной, а также тип подземных вод (грунтовые, напорные);

4) начальный и конечный диаметры скважины;

5) диаметры и положение обсадных труб для крепления скважины;

6) необходимость и способы изоляции промежуточных водоносных горизонтов;

7) положение фильтра, его диаметр, длина и конструкция;

8) указания по организации и производству опытных откачек и отбору проб воды из скважины;

9) рекомендации по выбору бурового оборудования и способа бурения;

10) дополнительные указания по гидрогеологическим наблюдениям и геолого-технической документации работ и пр.

Таким образом конструкция скважины и способ бурения должны определяться проектом.

Если для составления такого проекта нет достаточных исходных материалов или если разрез и водообильность горных пород, а также качество подземных вод отличаются большой изменчивостью, скважина считается разведочно-эксплоатационной и может быть включена в эксплоатацию лишь после получения благоприятных данных о качестве и количестве подземных вод, вскрытых и опробованных в данной скважине.

По этим причинам проект разведочно-эксплоатационной скважины может содержать в себе по некоторым вопросам предположительные сведения и должен предусматривать некоторый «запас» в глубине бурения и начальном диаметре скважины. Так как бурение разведочно-эксплоатационных скважин должно сопровождаться более тщательной геолого-гидрогеологической документацией, некоторые способы бурения для проходки этих скважин неприменимы.

2. Конструкции буровых скважин

В конструкции буровой скважины выделяются следующие основные части: (рис. 11): а) устьевая или оголовок, б) водопроводная или ствол и в) водоприемная часть (см. главу VI).

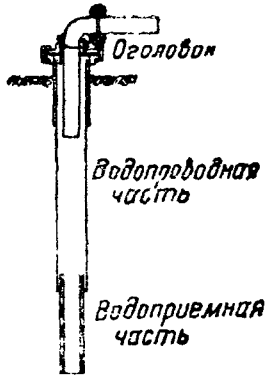


Рис. 11. Схема конструкции буровой скважины

а) Устьевая часть или оголовок скважины

Конструкция устьевой части скважин должна предусматривать надежную защиту подземных вод от поверхностного загрязнения, прочное и удобное для эксплоатации соединение обсадных труб с водоподъемными трубами насосной установки.

Водонепроницаемость соединений устья буровой скважины достигается при помощи автогенной сварки, электросварки, набивки железным суриком, прокладки резиновых колец в стянутых болтами стыках, набивки сальников из просмоленного каната и т. п.

Конструкция устья скважины должна обеспечивать возможность ремонта и чистки скважины, для деталей же, не подлежащих разборке, желательно применять цементную заливку.

Некоторые типы конструкций устья показаны на рис. 12—15.

В проекте оголовка необходимо предусматривать зазор между обсадными и насосными трубами и отверстие во

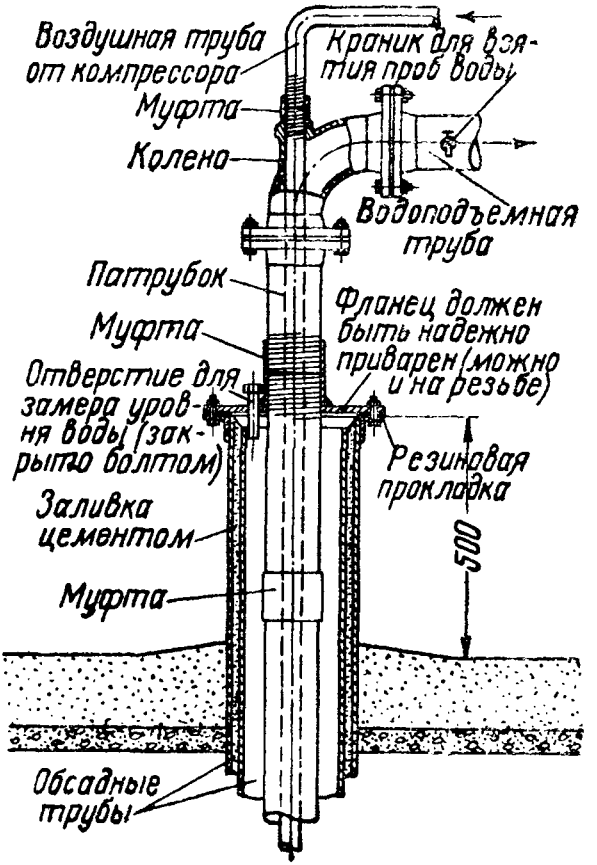


Рис. 12. Устье с разрезным фланцем и патрубком с набивкой

фланце для замера уровня воды в скважине; отверстие во фланце закрывается пробкой с винтовой нарезкой или болтом. На водоподъемных трубах устраивается краник для отбора проб воды.

Для удобства монтажа насосных устройств и последующего технического надзора за ними над устьем скважин

устраиваются шахты, глубина и размеры которых определяются типом насосной установки и принятым в проекте

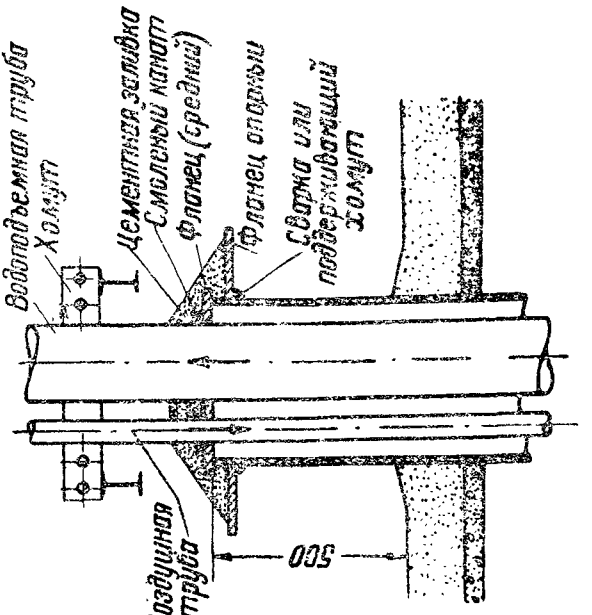


Рис. 14. Устье с заливкой цементом фланца при параллельном расположении труб эрлифта

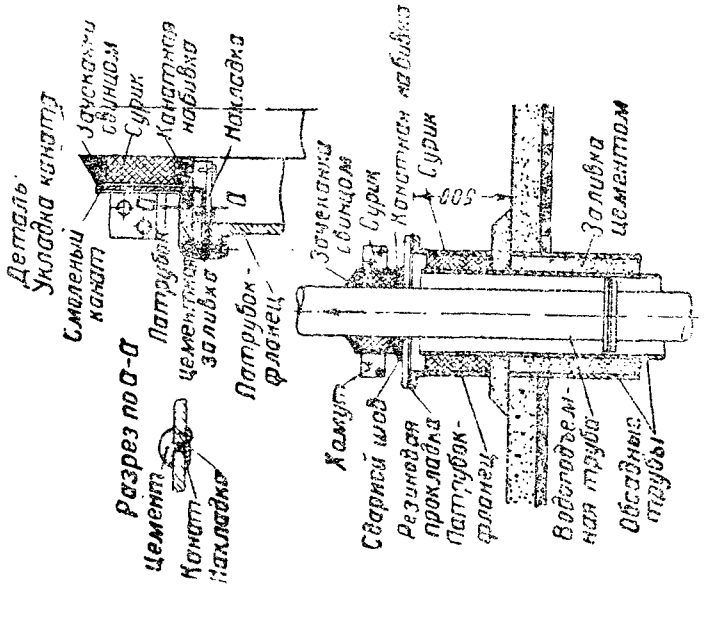


Рис. 13. Устье сварное при центральном расположении труб эрлифта

способом отвода воды от скважины. При откачке воды эрлифтом шахта имеет меньшую глубину, чем шахты при

установке штанговых насосов, или насосов типа Фарко. Центробежный насос может работать с поверхности, если

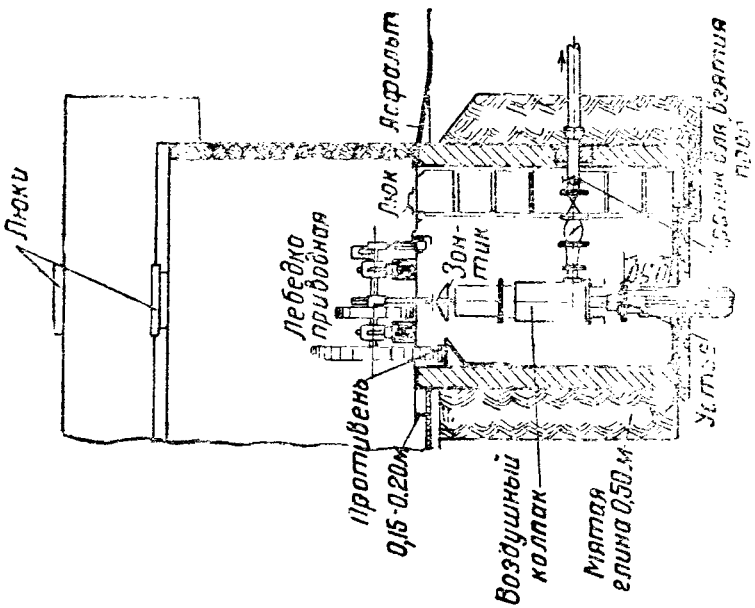


Рис. 16. Артезианская скважина с подъемом воды штанговым насосом и приводной лебедкой

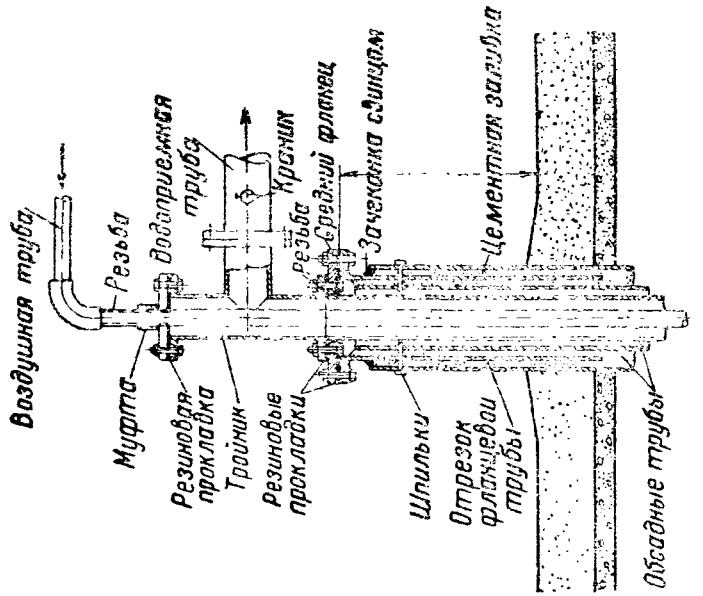


Рис. 15. Устье из тройника и фланцев на резьбе при центральном расположении труб эрлифта

статический уровень подземных вод расположен в пределах высоты всасывания, но могут быть опущены и на дно

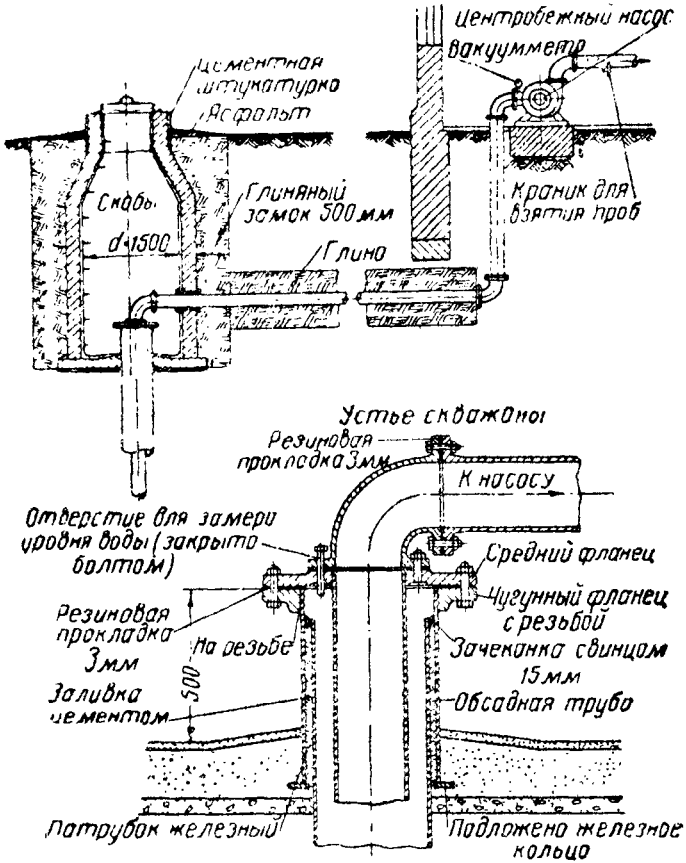


Рис. 17. Шахта над скважиной и устье при центробежном насосе, расположенном в насосной станции

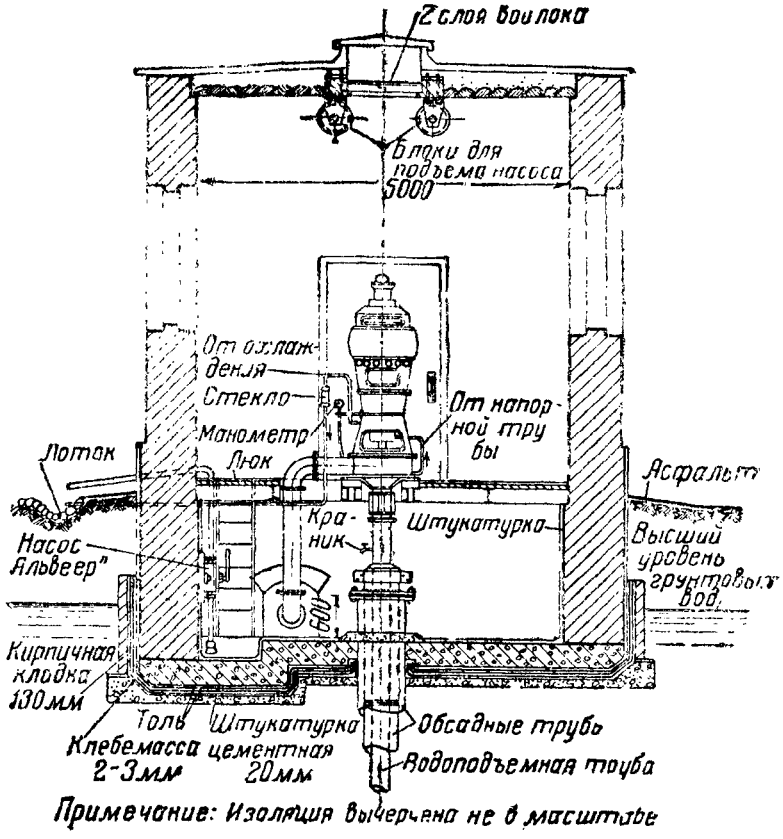


Рис. 18. Шахта над скважиной с насосом Фарко

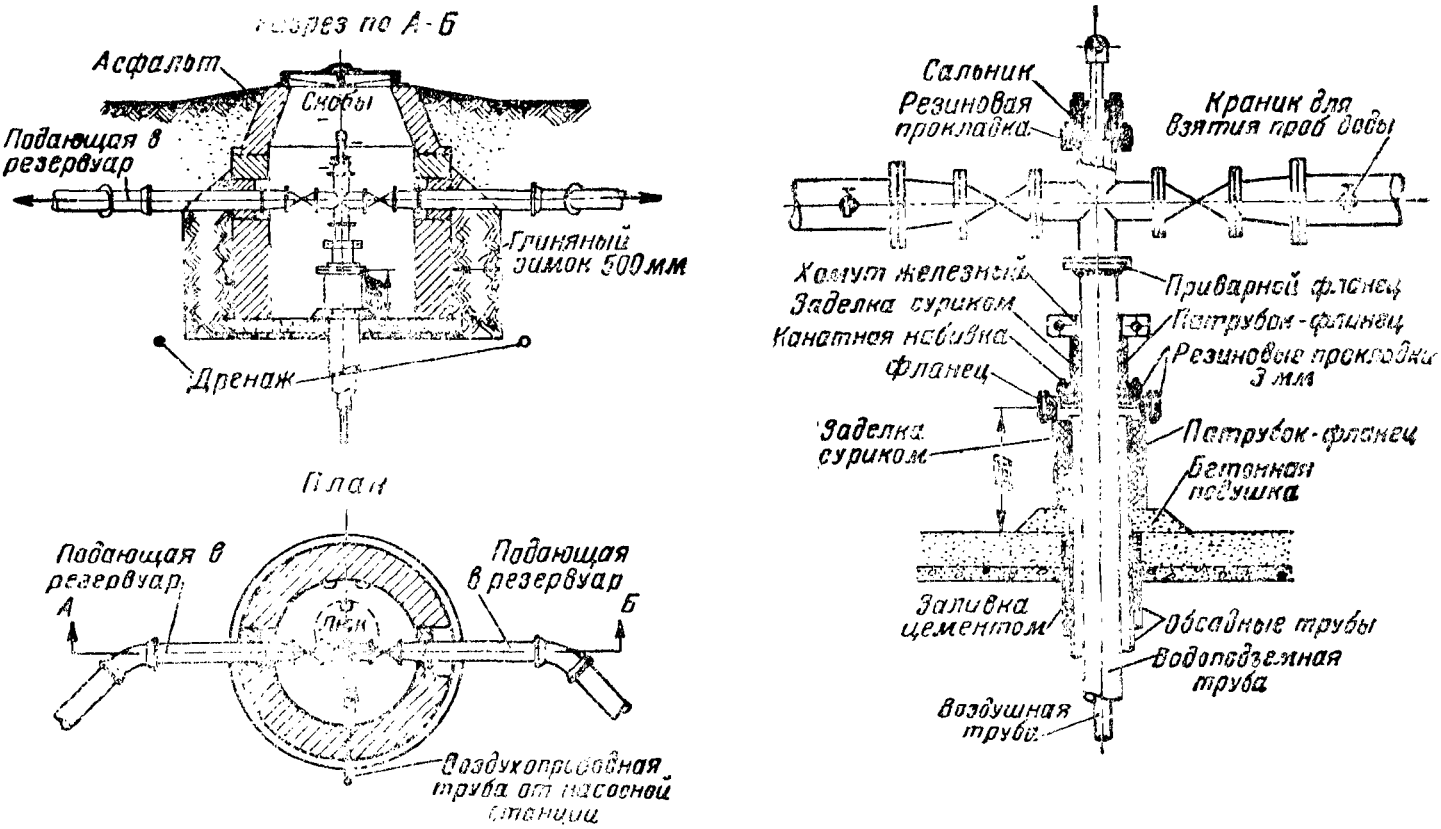


Рис. 19. Шахта и устье скважины с патрубком с набивкой и сальником при центральном расположении труб эрлифт а

глубокой шахты, чтоб обеспечить нормальную работу насоса при более низком горизонте подземных вод. Для получения более значительного дебита шахта может быть

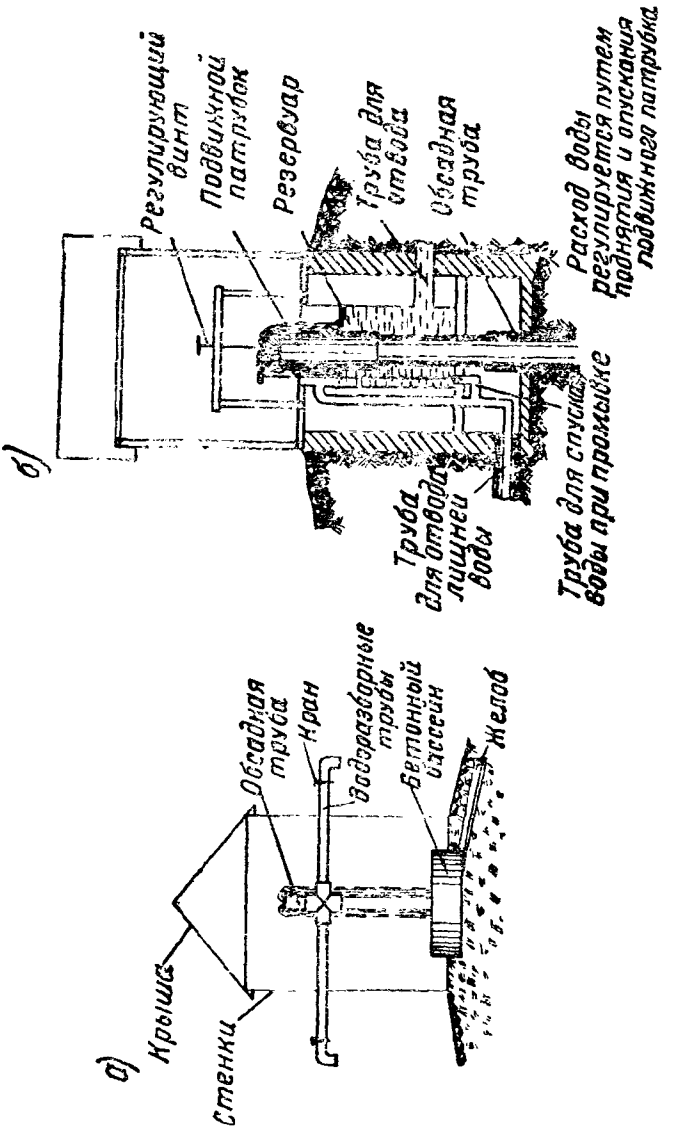


Рис. 20. Оголовки фонтанирующей скважины

опущена ниже пьезометрической поверхности напорных вод.

В шахтах буровых скважин должны быть предусмотрены вентиляция, крышка с люком и лестница. Над шах-

тами не рекомендуется устраивать насосные станции, если это не является безусловно необходимым по техническим соображениям.

Для защиты шахт от проникания в них грунтовых и поверхностных вод принимаются следующие мероприятия:

1) шахты устраиваются на незатапливаемой территории;

2) верхнее строение шахты возвышается над поверхностью земли на высоту не менее 0,20 *м*;

3) от верхнего строения шахты устраиваются откосы, отводящие поверхностные воды в сторону;

4) вокруг стенок шахты делается замок из жирной глины толщиной не менее 0,5 *м*, а поверхность замащивается на расстоянии не менее 1 *м* от стенок;

5) стенки шахты штукатурятся изнутри, а при высоких грунтовых водах — и снаружи;

6) пол шахты делается из утрамбованной глины толщиной не менее 0,1 *м* или из бетона с цементной штукатуркой толщиной не менее 0,07 *м*.

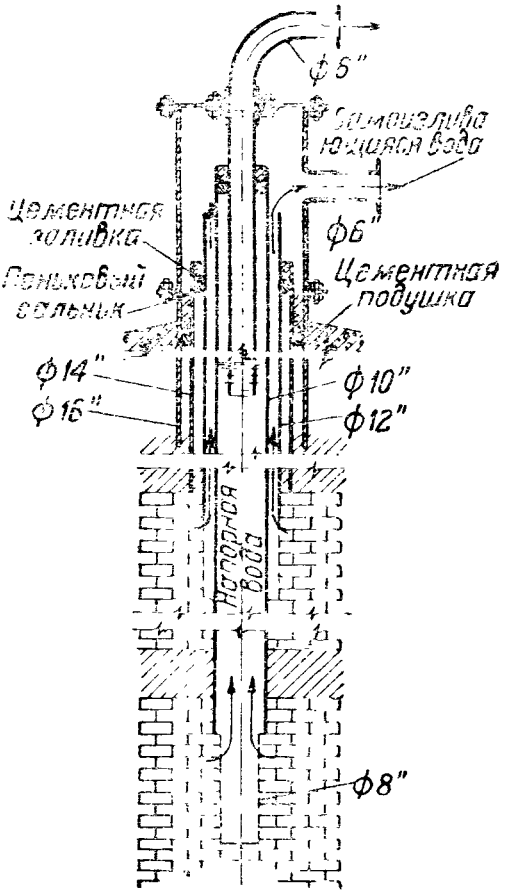


Рис. 21. Схема оборудования оголовка скважины для раздельной эксплоатации двух фонтанирующих водоносных горизонтов

Оголовок скважины и шахты для эксплоатации подземных вод штанговым насосом изображены на рис. 16, центробежным насосом, расположенным в насосной станции на поверхности земли, — на рис. 17 и насосом типа Фарко — на рис. 18. Оголовок и шахта скважин для эксплоатации подземных вод при помощи эрлифтов с центральным расположением труб показаны на рис. 19.

Оголовки фонтанирующих скважин (без принудительной откачки воды) должны иметь приспособления для регулирования расхода и предотвращения гидравлического удара, что достигается путем наращивания водоподъемной трубы, устройством медленно закрывающейся задвижки; при больших напорах устанавливается воздушный колпак. Разбор воды потребителями должен осуществляться из водосборного резервуара. Типы оголовков фонтанирующих скважин показаны на рис. 20 и 21.

Если шахта над устьем скважины не устраивается, внешняя колонна обсадных труб должна возвышаться над поверхностью земли на высоту не менее 0,3 *м*. Вокруг трубы или фундамента насосных устройств, в который заделываются обсадные трубы, устраивается глиняный замок и отмостка поверхности, как это было указано для шахт буровых скважин.

На период времени от окончания бурения до монтажа насосных устройств обсадные трубы должны быть защищены при помощи крышки и временных пробок от поступления атмосферных осадков и засорения.

б) Водопроводная часть скважины

Водопроводная часть скважины закрепляется обсадными трубами, которые должны:

а) обеспечить направление бурового снаряда в процессе бурения;

б) предохранить ствол скважины от обрушения и оплывания неустойчивых пород;

в) предотвратить смешивание различных водоносных горизонтов, циркуляцию подземных вод вдоль ствола скважины и порчу эксплоатируемого водоносного горизонта;

г) обеспечить установку фильтра и насосных устройств.

В каждой скважине в начале бурения обязательно устанавливается «направляющая» колонна труб, или «кондуктор», которая должна обеспечить вертикальность дальнейшего бурения, предохранить устье скважины от разрушения и полностью изолировать «верховодку». Эта колонна труб должна пройти поверхностную толщу рыхлых пород и врезаться своим башмаком в водоупорный слой на глубину не менее 2—3 *м*. При отсутствии водоупорного слоя на доступной глубине башмак первой колонны обсадных труб ставится в цементное кольцо,

а при наличии загрязненных или сильно минерализованных вод поверхностная толща пород перекрывается двумя колоннами обсадных труб с заливкой межтрубного пространства цементом.

При всех видах ударного бурения в неустойчивых породах обсадка скважины трубами производится вслед за бурением, а в оплывающих породах — опережает бурение. По условиям проходки глубина посадки каждой колонны труб принимается около 30 *м* и реже 40—50 *м*, но этот интервал может существенно изменяться, так как встреченные при бурении водоносные горизонты должны быть изолированы особой колонной обсадных труб. Количество колонн и диаметры обсадных труб зависят от их сортамента: трубы с толстостенными муфтами опускаются с пропуском одного промежуточного диаметра (рис. 22), с обточенными муфтами — без пропуска колонн и, следовательно, могут обеспечить закрепление скважины на более значительную глубину.

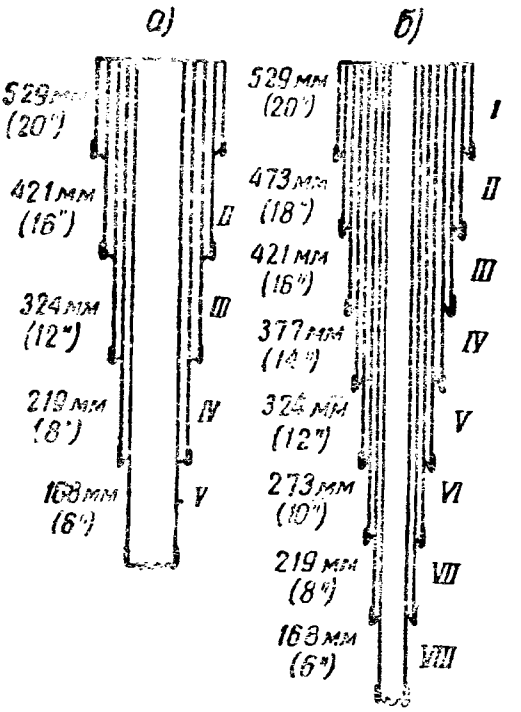


Рис. 22. Схема обсадки скважины трубами различного сортамента

Обсадные трубы для нефтепромышленности:

а — с толстостенными муфтами (норм. стандарт); *б* — с обточенными муфтами (стандарт Бурвода)

Колонковое и роторное бурение с глинистым раствором предохраняет стенки скважин от обрушения и оплывания, поэтому после установки кондуктора дальнейшее бурение может производиться без обсадных труб на глубину, допустимую по техническим условиям проходки, например непосредственно до эксплоатируемого горизонта. При этом способе бурения колонна обсадных труб останавливается в кровле водоносного горизонта и изолирует

всю вышележащую толщу пород и промежуточные водоносные горизонты.

Таким образом число колонн обсадных труб, которые необходимо применить для закрепления водопроводной части скважин, зависит от глубины скважин, состава пород, количества водоносных горизонтов, способа бурения и сортамента обсадных труб.

Начальный диаметр обсадных труб определяется по конечному эксплоатационному диаметру, который должен обеспечивать установку в скважину фильтра надлежащей конструкции и насосных устройств, например, для установки погружаемого в скважину центробежного насоса эксплоатационный диаметр принимается не менее 300 *мм*, для эрлифтов — не менее 112—150 *мм*. Для увеличения эксплоатационного диаметра артезианских скважин некоторые колонны обсадных труб могут быть вырезаны на высоте не менее 5—10 *м* и выше башмака предыдущего диаметра обсадных труб и извлечены с заделкой межтрубного зазора одним из способов, показанных на рис. 23.

Каждая колонна обсадных труб, опускаемых в скважину при переходе на меньший диаметр бурения, должна задавливаться в водоупорную породу на глубину не менее 1,5—3,0 *м* без вращения при помощи домкрата или давильных роликов.

При отсутствии водоупора или недостаточной его мощности, а также для изоляции водоносных горизонтов применяется задавливание труб в искусственно создаваемую глиняную пробку или подбашмачная заливка цемента. Для этой цели бурение у забоя скважины ведется с расширителем, расширенное пространство и частично вышележащий участок в трубах трамбуется жирной глиной или заливается цементом. Затем вся скважина доверху заполняется водой, труба герметически закрывается крышкой и без вращения задавливается до забоя, выжимая глину или цемент по затрубному пространству на необходимую высоту. Конструкции водопроводной части скважин и положение глиняного и цементного тампонов изображены на рис. 24.

В тех случаях, когда эксплоатируемый водоносный горизонт подразделяется на отдельные этажи, последние обсадными трубами не изолируются; не изолируются также отдельные водоносные горизонты, в которых уровни воды имеют одинаковые абсолютные отметки, а подземные воды обладают сходным химико-бактериоло-

гическим составом, что допускает совместную эксплоатацию этих горизонтов (рис. 24, *е*).

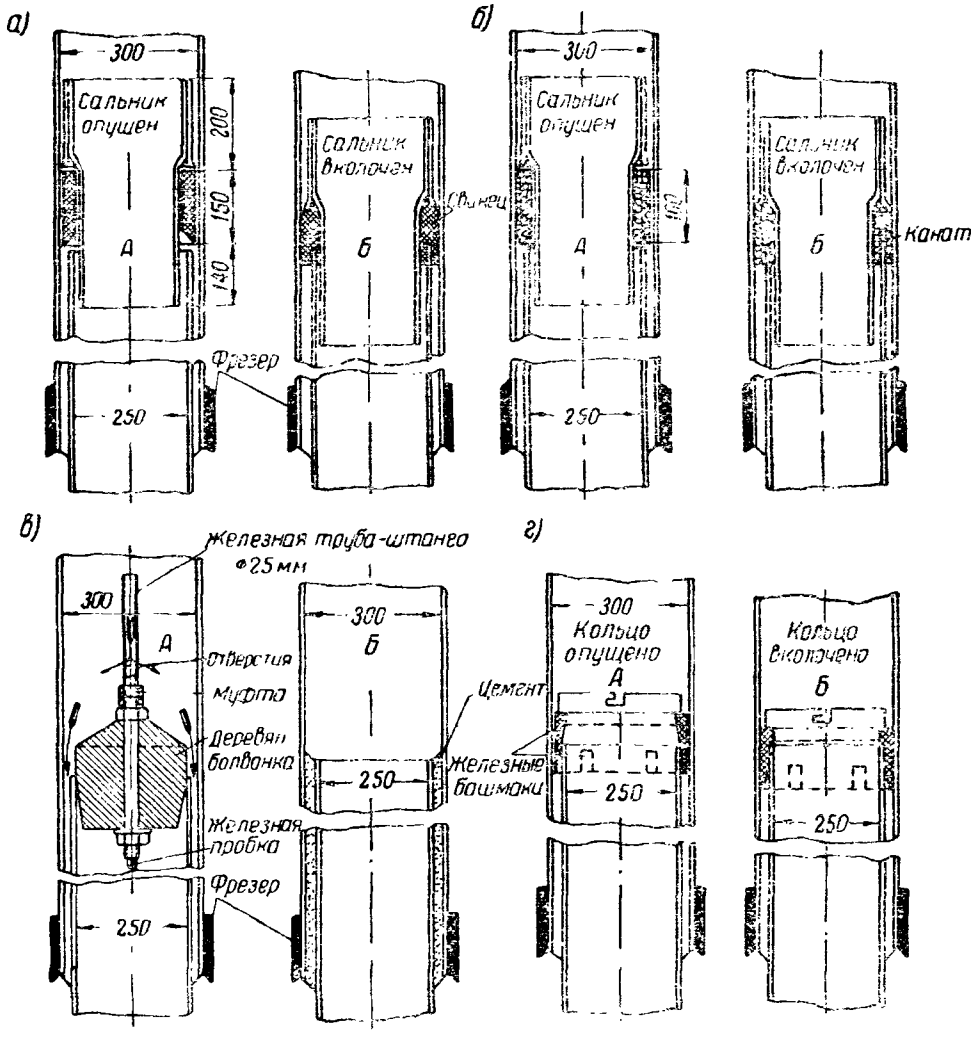


Рис. 23. Заделка переходов обсадных труб:

а — сальник со свинцом;
б — сальник с канатом;
в — заливка цементом;
г — свинцовое кольцо — клин с железным башмаком.

А — подготовительное положение; *Б* — окончательное положение

Для закрепления скважин применяются, главным образом, цельнотянутые или сварные обсадные трубы с винтовыми соединениями, клепаные трубы на интервалах

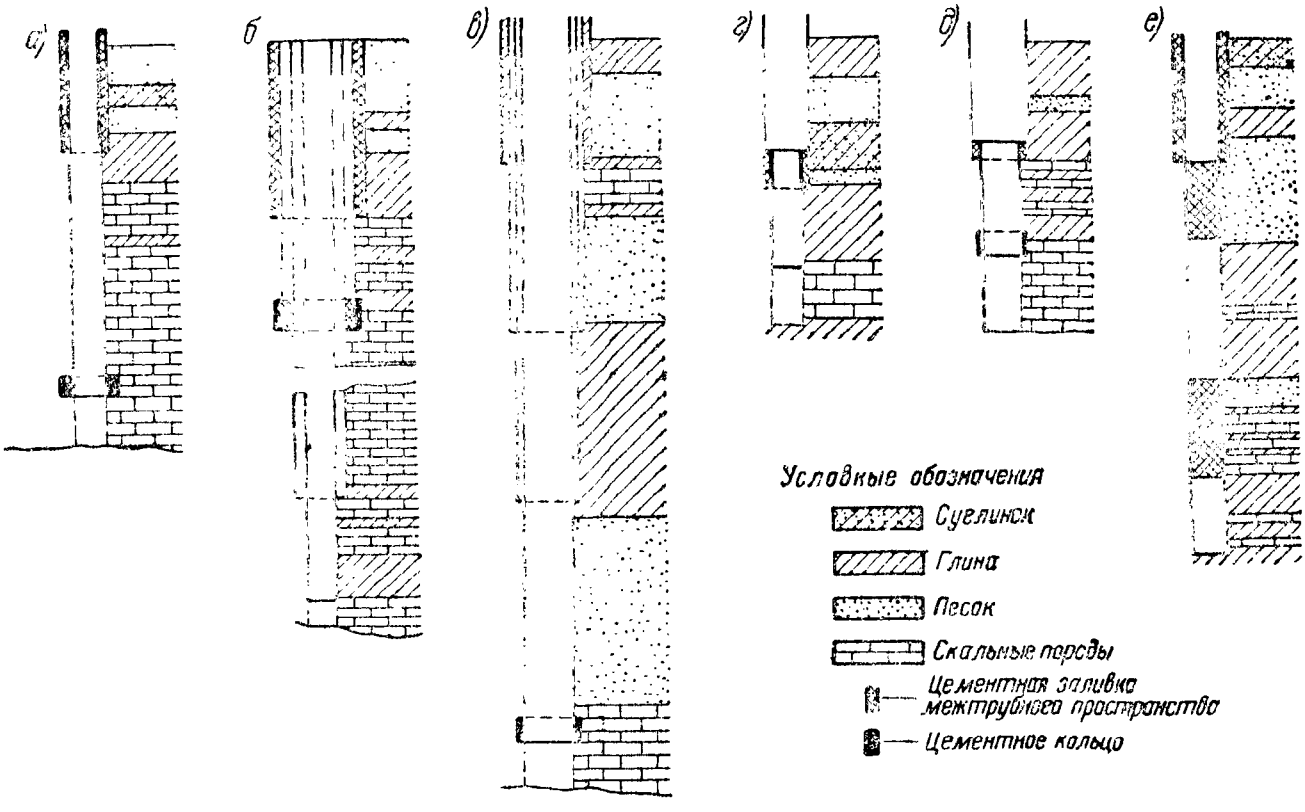


Рис. 21. Схемы конструкций водопроводной части скважин

расположения изолируемых водоносных горизонтов могут пропускать воду по неплотностям швов.

3. Способы бурения

При устройстве скважин для водоснабжения могут применяться все существующие способы бурения:

а) ручной ударно-вращательный;

б) механический ударный: 1) на штангах, 2) на канате;

в) механический вращательный: 1) колонковый, 2) роторный.

Каждому из этих способов присущи те или иные достоинства и недостатки.

Ручное ударно-вращательное бурение не требует сложного оборудования и механической энергии, квалифицированных рабочих и больших подготовительных и организационных работ, но зато оно отличается малой скоростью проходки, подъема и спуска буровой гарнитуры и обсадных труб. Применяется этот способ для бурения скважин небольшой глубины и малого диаметра или при невозможности механизировать работы.

Механическое ударное бурение применяется весьма широко и с большим успехом. Бурение на штангах отличается меньшей производительностью, чем бурение на канате, но зато обеспечивает вертикальность и правильное сечение скважины, что облегчает посадку труб и установку насосных устройств.

Вращательное колонковое бурение отличается большой скоростью проходки в скальных породах и допускает большой выход колонны обсадных труб, но этот способ бурения не обеспечивает вертикальности скважины, имеет ограниченный начальный диаметр и требует более сложного оборудования и квалифицированной рабсилы.

Вращательное роторное бурение характеризуется наибольшей скоростью проходки, допускает выход колонн обсадных труб до 300—500 *м*, но требует весьма сложного и громоздкого оборудования, квалифицированной рабочей силы и длительного периода подготовительных работ.

Колонковое и роторное бурение, имеющие наивысшие технические показатели, недостаточно широко применяются для бурения скважин на воду и очень редко используются для бурения разведочно-эксплоатационных скважин из-за опасения пропуска и «замазывания» водоносных горизонтов при промывке скважин водой и гли-

Таблица 7

Применимость различных способов бурения

Способ бурения	Случаи, когда применение способа целесообразно	Случаи, когда применение способа допустимо	Случаи, когда применение способа не рекомендуется
I. Ручное ударно-вращательное	Бурение скважин глубиной 30 *м* и начальным диаметром до 6″	Скважин глубиной до 60—75 *м* и начальным диаметром до 10″ преимущественно в мягких породах, когда затруднительно осуществлять механизацию работ	1. Скважины в скальных породах, особенно на глубину свыше 30 *м* 2. Скважины в мягких породах глубиной свыше 60—75 *м*, начальным диаметром свыше 12″
II. Механическое ударное на штангах	Бурение скважин глубиной до 150 *м* в различных породах, а также когда требуется вертикальность скважин	Скважины глубиной до 200—250 *м* в различных породах при любом диаметре	1. Скважины глубиной свыше 200—250 *м* Когда не требуется вертикальность скважины

III. Механическое ударное на канате	Бурение скважин глубиной до 200 *м* в различных породах, начальным диаметром до 12″	1. Скважины глубиной до 250 *м* в различных породах 2. Скважины глубиной до 300—350 *м* в мягких породах	1. Скважины глубиной свыше 250 *м* в скальных породах 2. Скважины в мягких породах глубиной свыше 300—350 *м*
IV. Механическое вращательное колонковое	Бурение скважин с промывкой глубиной до 150 *м* и начальным диаметром до 12″ в скальных породах	Скважины в скальных породах при наличии мягких пород над водоносным горизонтом, при малом содержании в мягких породах крупных валунов	1. Скважины в песчаных водоносных слоях 2. Бурение начальным диаметром свыше 12″
V. Механическое вращательное роторное	Бурение скважин глубиной свыше 200 *м* в водоносном горизонте в песчаных породах в комбинации с канатным способом бурения	Скважины в скальных породах глубиной свыше 150 *м*	1. Скважины на глубину менее 150 *м* 2. Скважины в песчаном водоносном слое 3. Бурение, требующее вертикальности скважин 4. Бурение разведочно-эксплоатационных скважин без каротажа

глинистым раствором. Эти опасения объясняются, главным образом, отсутствием детальных, достаточно обоснованных методических и инструктивных указаний по технике производства гидрогеологических наблюдений и геолого-технической документации буровых работ.

Применимость различных способов бурения, в зависимости от состава пород, глубины и начального диаметра скважин освещается в табл. 7, заимствованной из Инструкции Института Водгео [42].

Выбор бурового станка для механического бурения скважин можно производить согласно указаниям табл. 8.

Таблица 8

Станки для механического бурения

Способы бурения	Марка станка	Наибольший начальный диаметр в дюймах	Наибольшая глубина бурения *м*
Ударное штанговое	Станок Пузиновского	16	200
Ударное канатное	КК-50-IV	6	60
	Сандерсон 14	8	75
	УА-75-III	12	90
	Вирт 16	10	100
	Армстронг № 150	16	150
		20	200
Ударное комбинированное: на штангах и канате	УА-125	12	125
	Вирт 15	12	250
	№ 3	24	300
Вращательное колонковое	КА-300	127/119 *мм*	300
	КА-500	219/205 „	750
		До 12 „	150
Вращательное роторное	РБ-200	—	200
	РА-400	13	400
	ГБГ-1000	12	1 000
	Фрикционная двухскоростная лебедка Парницкого	20	Более 1 000

При бурении скважин необходимо тщательно проверять надежность изоляции промежуточных водоносных горизонтов. После устройства глиняного или цементного тампона из скважины отчерпывается вода и затем наблюдается изменение уровня воды в скважине. Подъем уровня

воды может объясняться или неудовлетворительным качеством тампонажных работ (и тогда их следует повторить), или проникание воды по соединениям и трещинам обсадных труб.

Если поступающая через обсадные трубы вода может неблагоприятно влиять на качество подземных вод эксплоатируемого горизонта, необходимо место течи воды закрыть цементацией или дополнительной колонной труб.

В процессе бурения необходимо регулярно измерять вертикальность скважины (приборы: с плавиковой колонной, Шахназарова, «Ударник»), особенно если проектируется опустить в нее центробежный насос (типа Фарко).

При составлении проекта буровых скважин и производстве работ необходимо учитывать особенности бурения в специфических гидрогеологических условиях[1], именно при проходке плывунов, валунно-галечных отложений, закарстованных пород, бурении в районах вечной мерзлоты и песках с высоконапорными водами.

При бурении в плывунах работа должна производиться круглосуточно с обязательным опережением обсадки труб, в отдельных случаях необходимо применять противодавление на забой при помощи подачи в скважину воды или глинистого раствора.

Бурение в валунно-галечных отложениях производится с помощью тяжелых долотьев, иногда приходится забрасывать в скважину вязкую глину, а при встрече крупных валунов применять взрывные работы.

В закарстованных породах ударное бурение целесообразно производить с расширителем, колонковое бурение с применением дроби не допускается. Вследствие возможности встречи пустот и провала инструмента, что обычно влечет за собой аварии, необходимо бурение вести с особыми предосторожностями.

При проходке зоны вечной мерзлоты должна применяться особая методика бурения, обсадки труб, изоляции мерзлотных и талых горизонтов, во избежание захвата наконечников и труб и порчи скважины.

Фонтанирование воды при бурении песков с высоконапорными водами может повлечь за собой серьезные и тяжелые аварии, поэтому необходимо принимать особые меры для ликвидации самоизлива и образующихся песчаных пробок в скважинах. Для этой цели:

[1] Подробно см. Инструкцию Института Водгео [42].

а) обсадные трубы должны быть особенно тщательно затампонированы в кровле водоносного горизонта;

б) на поверхности земли наращиваются обсадные трубы на высоту, превышающую напор воды, и бурение производится с первых или вторых палатей буровой вышки;

в) в скважине создается противодавление при помощи сальника обратной промывки;

г) бурение при возможности ведется с глинистой промывкой или утяжелителями;

д) при отсутствии угрозы размыва скважины напорными водами для удобства бурения на обсадные трубы ставится тройник с отводом воды в сторону от скважины.

Глава VI

КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬТРОВ БУРОВЫХ СКВАЖИН, ИХ ПОДБОР И РАСЧЕТ

1. Конструкции фильтров

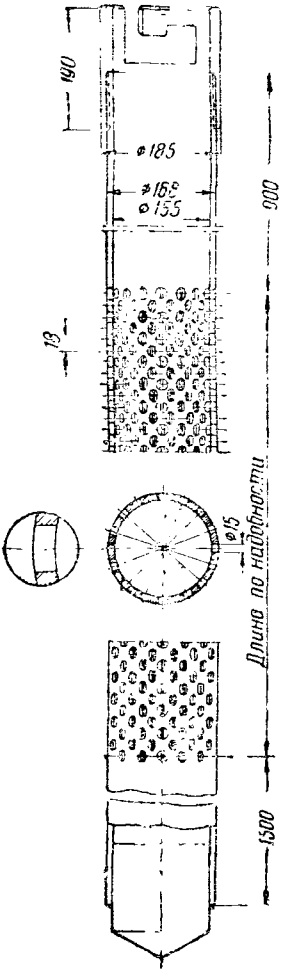
По характеру водоприемной части буровые скважины на воду можно разделить на 2 категории: а) скважины, водоприемная часть которых не закрепляется и фильтры не применяются, и б) скважины, водоприемная часть которых оборудуется фильтрами.

В практике водоснабжения находят применение самые разнообразные конструкции фильтров, которые могут быть сведены к следующим основным типам: а) дырчатые, б) сетчатые, в) гравийные и г) колокольные.

Дырчатые фильтры представляют собой наиболее простую конструкцию. В большинстве случаев это металлические перфорированные трубы с круглыми (рис. 25) или щелевидными (прямоугольными) отверстиями. В некоторых случаях могут найти применение и неметаллические щелистые фильтры, например деревянные (рис. 26 *а*) или гончарные (рис. 26 *б*). В целях создания наиболее благоприятных условий для прохождения воды в щелистых фильтрах (уменьшения входных сопротивлений) щелям желательно придавать трапецоидальную форму с уширенной частью, обращенной внутрь скважины. Применение дырчатых и щелистых фильтров ограничено сравнительно крупнозернистыми грунтами, так как выполнение отверстий менее 1 *мм* практически трудно осуществимо. Щели-

стые фильтры имеют ряд преимуществ перед другими типами фильтров — отсутствие необходимости в расходовании дефицитных металлов, гравийных материалов и т. п. Однако перфорация даже обычных (прямоугольных) щелей является пока довольно трудоемкой операцией; перфорирование же более сложных щелей (трапецоидальной формы) у нас еще не налажено.

Сетчатые фильтры (рис. 27) пользуются наибольшим распространением. Состоят они из каркасов (перфорированных) труб, проволоки, намотанной спирально или вдоль трубы и служащей опорой для сеток и фильтровой сетки, накладываемой поверх опорной проволоки на всю поверхность каркасной трубы. В сетчатых фильтрах находят применение фильтровальные сетки различного плетения: а) простого квадратного, б) киперного и в) галунного или миткального. Галунные сетки более прочны и менее подвержены закупорке, поэтому в практике находят наибольшее применение. Размеры галунных сеток определяются номерами, выраженными через простую дробь, в которой числитель равен числу ниток основы, а знаменатель — числу ниток утка (приходящихся на 1 линейный дюйм сетки).



ис. 25. Дырчатый металлический фильтр с круглыми отверстиями

К преимуществам сетчатых фильтров следует отнести их хорошую водопропускную способность и простоту изготовления. Однако сетчатые фильтры в мелкозернистых грунтах, а также при значительном содержании в воде железа, марганца, свободной углекислоты и сероводорода быстро засоряются или разрушаются. Кроме того, недостатком сетчатых фильтров является необходимость расходования цветных металлов (меди, олова, цинка и т. п.).

Гравийные фильтры состоят из каркаса и фильтрующей песчано-гравийной обсыпки. В качестве каркаса могут

быть применены дырчатые трубы, сетчатые, корзинчатые или колокольные фильтры.

По способу устройства обсыпки, гравийные фильтры могут быть разбиты на две группы:

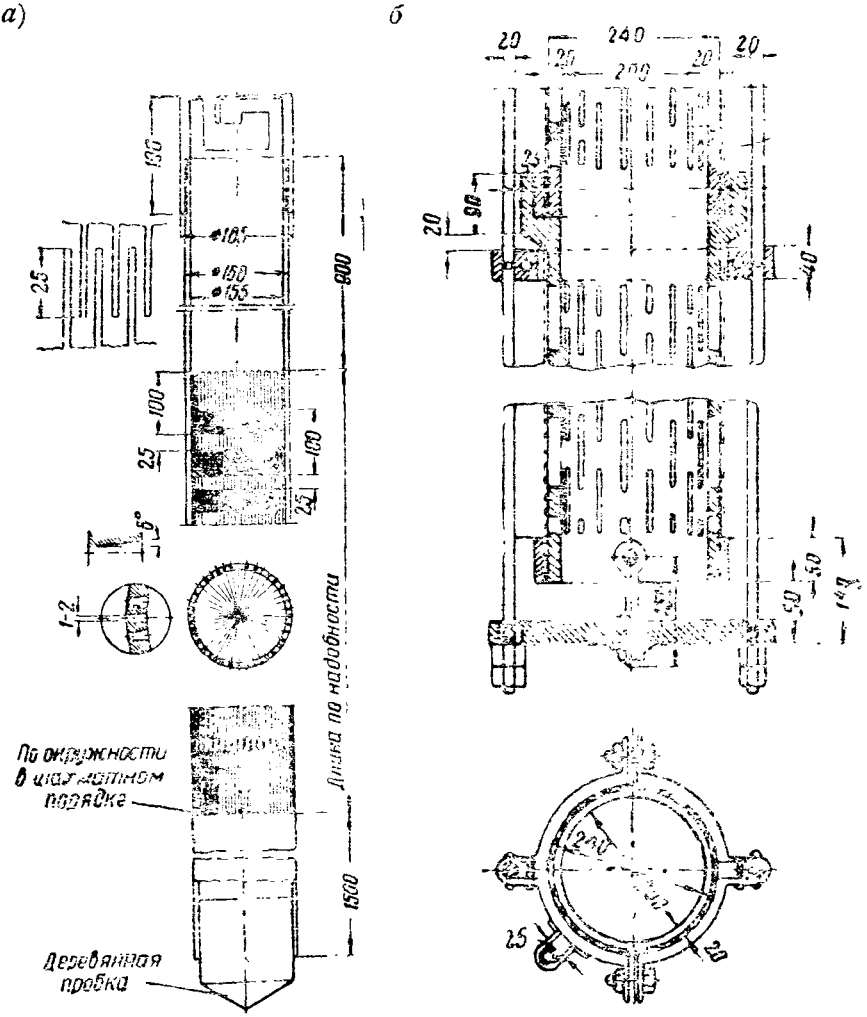


Рис. 25. Дырчатые фильтры с щел видными отверстиями:
а — деревянный;
б — гончарный

а) фильтры, в которые песчано-гравийная обсыпка загружается с поверхности земли после установки каркаса фильтра в скважине, и

б) фильтры, обсыпка которых песчано-гравийным материалом производится предварительно на поверхности земли

и весь фильтр опускается в скважину в готовом виде. Сюда относятся фильтры с засыпкой гравия в железную простую сетку, окружающую дырчатую трубу, — фильтр Спренера (рис. 28), с обсыпкой каркасной трубы в специ-

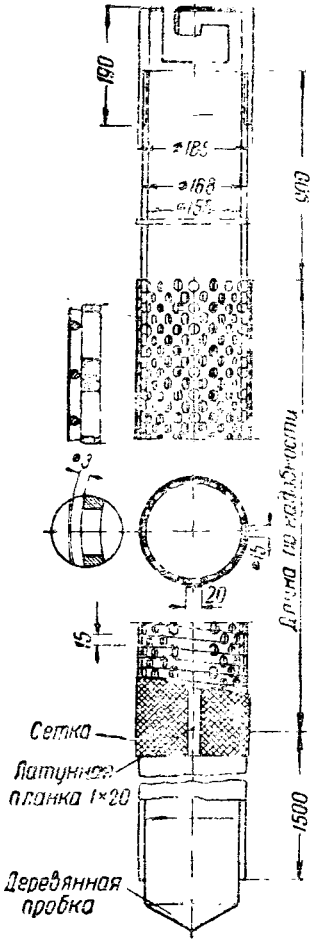


Рис. 27. Сетчатый фильтр

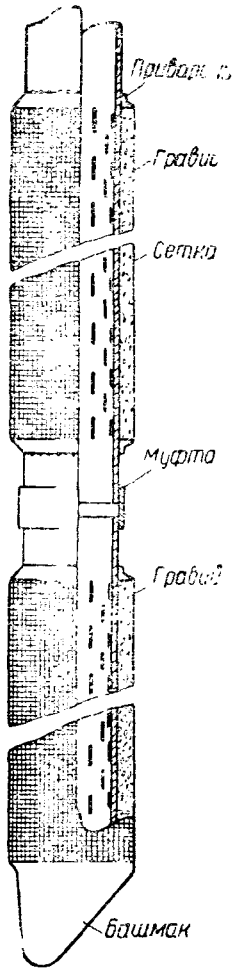


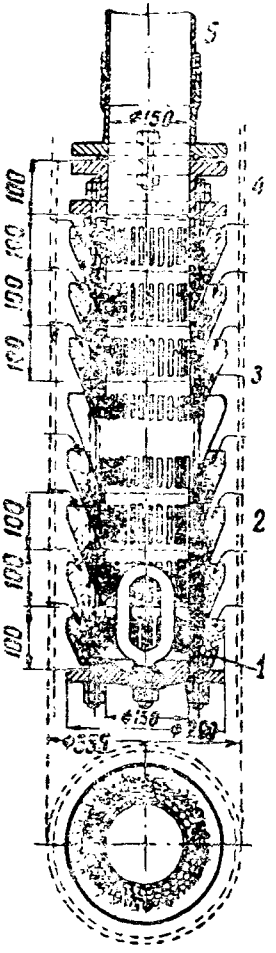
Рис. 28. Гравийный фильтр Спренера

альные карманы, укрепленные на трубе, — корзинчатые фильтры (рис. 29) и т. д.

Фильтры Спренера и корзинчатый являются наиболее совершенными, так как здесь обеспечиваются тщательность и строгая последовательность укладки материалов

засыпки. Надо заметить, что устройство корзинчатого фильтра, по сравнению с устройством фильтра Спренера, несколько сложнее.

Гравийный фильтр с обсыпкой каркаса с поверхности земли после его установки в скважине требует большого диаметра скважины и вспомогательных труб при послойной обсыпке (рис. 30), а потому применяется сравнительно редко (только в тех случаях, когда скважина имеет небольшие глубины).


5
4
3
2
1
100
100
100

притекает снизу вверх, через ее нижний край, и по мере достижения верхнего конца узкой части воронки переливается внутрь фильтра через кольцевой зазор (щель). В фильтре Симонэ площадь кольцевого пространства, по которому происходит вертикальное движение воды из грунта в скважину, остается постоянной. Вынесенные водой в кольцевое пространство частицы грунта остаются во взвешенном состоянии; часть их (более крупные) осаждается у нижнего края воронки, другая же часть (более мелкие) выносится вместе с водой в скважину.

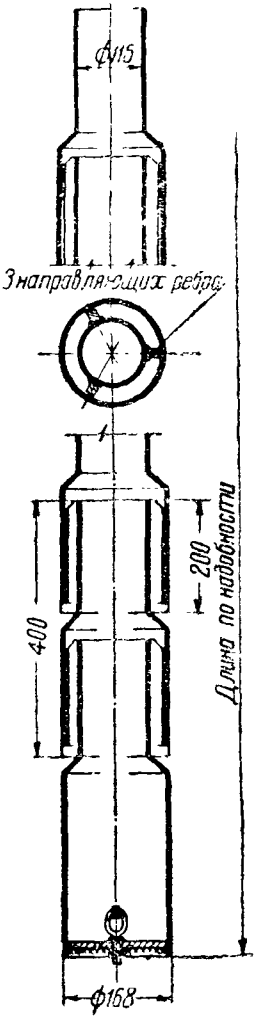


Рис. 31. Колокольный фильтр Симонэ

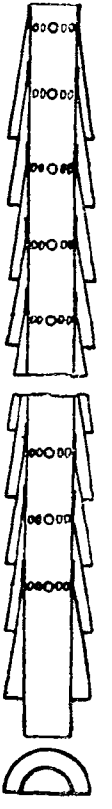


Рис. 32. Фильтр Перевозникова

б) Фильтр конструкции инж. Перевозникова (рис. 32), имеющий каркасы из дырчатых труб с круглыми или щелевидными отверстиями. На эти трубы насаживаются конические воронки, обращенные широким основанием вниз. Площадь поперечного сечения кольцевого зазора между воронками постепенно уменьшается кверху и поэтому скорость движения воды соответственно увеличивается снизу вверх. Благодаря этому мелкие частицы грунта, поднятые водой от нижнего края воронки, увлекаются в скважину, а у основания воронки остаются лишь наиболее крупные частицы (из них образуется так называемый «естественный» фильтр).

По своей конструкции к фильтру Перевозникова довольно близок фильтр Брюнкера (рис. 33), также состоящий из ряда конических воронок, обращенных широким

основанием вниз. Принципиальное различие этих двух конструкций фильтров заключается в том, что в фильтре Брюнкера площадь живого сечения воронок по высоте остается неизменной, в то время как в фильтре Перевозникова живое сечение постепенно уменьшается. Таким образом по характеру прохождения воды через воронки фильтр Брюнкера ближе к фильтру Симонэ.

Фильтр Симонэ, как показали наши лабораторные испытания, в мелкозернистых песках требует применения песчано-гравийной обсыпки (при отсутствии обсыпки заплывает), в то время как фильтр Перевозникова в тех же условиях может работать и без обсыпки.



Рис. 33. Фильтр Брюнкера

Преимуществом колокольных фильтров по сравнению с другими типами является меньшая величина сопротивления входу воды в фильтр.

Для изготовления каркасов фильтров могут применяться железо, чугун, дерево, бетон, керамика, фарфор, пластмасса и др.; для опорной проволоки и сеток медь, латунь и бронза.

Продолжительность работы фильтра зависит как от коррозийной стойкости материала, так и от подверженности его механическим или химическим засорениям.

Механическое засорение фильтра происходит вследствие постепенной закупорки его отверстий мелкими частицами грунта при движении воды через водоприемную часть скважины. Химическое засорение фильтра происходит вследствие частичной или полной забивки его отверстий выделяющимися из воды углекислыми солями кальция, магния, марганца, железа и др.

Кроме того, в местах своего соприкасания с фильтром частицы грунта могут сцементироваться друг с другом углекислотой, известью магния, марганцем, железом и др. и образовать водонепроницаемую массу. Органические примеси, входящие во многих случаях в состав подземных вод, покрывая илообразным покровом стенки фильтра, также могут вызвать его закупорку. При выпадении из воды содержащихся в ней солей кальция, магния, марганца и железа фильтр задерживает их и служит основой для формирования водонепроницаемой пленки.

Разрушение материала фильтра происходит, главным образом, вследствие коррозийных процессов, зависящих

от степени минерализации и агрессивности подземных вод.

При выборе материала для фильтра в каждом конкретном случае необходимо исходить из степени минерализации или агрессивности подземных вод, а также из намечаемого срока эксплоатации скважины.

2. Выбор типа фильтра

Вопрос о выборе наиболее эффективного типа фильтра представляет значительные трудности. Проведенная в 1940–1941 гг. в Институте Водгео [2] специальная научно-тематическая и экспериментальная проработка вопроса позволила более обоснованно подойти к выбору рациональных типов фильтров для различных грунтовых условий. В процессе этой работы был собран и систематизирован довольно обширный литературный и архивный материал о работе фильтров в производственных условиях, а также проведены лабораторные испытания основных конструктивных типов фильтров. В результате проведения этих работ Институтом были разработаны практические указания по выбору фильтров применительно к типовым грунтовым условиям, опубликованные в инструкции для буровых мастеров по бурению и опробованию скважин для водоснабжения [42] и использованные в ГОСТ В-1872-42 (см. табл. 9).

В мелкозернистых песках со значительным содержанием глинистых частиц от применения фильтров в некоторых случаях целесообразно отказаться, переходя на устройство бесфильтровых скважин. Последнее обусловлено тем, что в этих условиях гравийные фильтры (даже с многослойной обсыпкой) довольно быстро выбывают из строя (вследствие кольматажа) и дают мало воды. Фильтры же Перевозникова применимы только в песках разнозернистого состава и, как показали лабораторные испытания, также мало производительны.

Область применения бесфильтровых скважин и способы их устройства будут освещены ниже.

3. Определение основных размеров фильтра

Размеры водоприемной части скважины-фильтра (его длина и диаметр) определяются дебитом скважины и характером водоносных пород.

Таблица 9

Характер водоносных слоев	Рекомендуемые типы и размеры фильтров	
	Конструкция фильтра	Размеры отверстий или № сетки
1. Твердые устойчивые породы	Водоносные слои остаются без крепления. Фильтр не требуется	
2. Твердые, неустойчивые породы или слои твердых водоносных пород, переслаивающиеся с неустойчивыми породами	Перфорированные трубы	Диаметр отверстий 15—20 *мм*
3. Галечники и гравий	Щелистые фильтры с прямоугольными отверстиями. Допускаются перфорированные трубы со спиральной обмоткой толстой (2—3 *мм*) проволокой	Ширина щелей 3—5 *мм*. Длина щелей 25—50 *мм*. Расстояния между витками проволоки 3—5 *мм*
4. Гравийные и крупно-зернистые пески	Щелистые фильтры с трапецоидальными отверстиями. Сетчатые фильтры с крупными номерами сетки	Ширина щели 1—2 *мм*. Длина щели 25—50 *мм*. Сетка простого или киперного плетения с отверстиями от 1×1 *мм* до 2×2 *мм*
5. Среднезернистые пески	Сетчатые фильтры	Сетка галунного (репсового) плетения от № 6/40 до № 12/90. Каркас фильтра — перфорированная труба с отверстиями диаметром 15—20 *мм*

[1] ГОСТ В-1872-42

Продолжение таблицы 9

Характер водоносных слоев	Рекомендуемые типы и размеры фильтров	
	Конструкция фильтра	Размеры отверстий или № сетки
6. Мелкозернистые пески: а) разнородные —	Перфорированная труба обмотанная спирально проволокой. Сетчатые фильтры с зафильтровой засыпкой гравием и крупным песком	Расстояние между витками проволоки 0,5-1 *мм*. Сетка галунного плетения от № 6/40 до № 12/90 в зависимости от толщины засыпки
б) однородные	Корзинчатые фильтры или сетчатые фильтры с обильной засыпкой гравием и крупным песком, осуществляемой одновременно с откачкой воды из скважины с постепенным обнажением фильтра	—

В твердых устойчивых породах, где крепление стенок скважины фильтром не требуется, а также в твердых неустойчивых породах, при проходке которых необходимо крепление стенок скважины перфорированными трубами, внутренний диаметр водоприемной части скважины (или, иначе говоря, конечный ее диаметр) определяется, исходя из технически допустимых и экономически выгодных скоростей движения воды (по стволу скважины), по формуле:

$$D = 35{,}7\sqrt{\frac{Q}{v}}\ мм. \qquad (8)$$

где Q — дебит скважины в *л/сек*;

v — скорость вертикального движения воды в водоприемной части скважины в *м/сек*, принимается по данным табл. 10.

Длина водоприемной части скважины в этом случае определяется глубиной погружения скважины в водоносный пласт, при которой в данных гидрогеологических условиях возможен забор из него необходимого (или максимально возможного) количества воды.

Таблица 10

Диаметр водоприемной части скважины в *мм* .	75	100	125	150	200	250	300	350	400
Рекомендуемые значения скорости вертикального движения воды в *м/сек*	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,3	1,5	1,6	1,8

Поверхность рабочей части фильтра скважины, закладываемой в песчано-гравийных породах, может быть определена по формуле:

$$F = \frac{Q}{v_{\phi} \text{ (или } v_0)}, \qquad (9)$$

где F — полная поверхность рабочей части в сетчатых, дырчатых и гравийных фильтрах, равная πdl, или полезная поверхность рабочей части корзинчатых и колокольных (без обсыпки) фильтров, равная $\varphi \pi dl$ (где d — внутренний диаметр фильтра, l — длина рабочей его части и φ — коэфициент, характеризующий отношение полезной выходной площади к полной поверхности фильтра);

Q — дебит скважины;

v_{ϕ} — допустимая выходная скорость фильтрации из водоносного пласта при поступлении воды в фильтры с горизонтальной схемой фильтрации (см. ниже);

v_0 — допустимая скорость движения воды в порах грунта в фильтрах с вертикальной схемой фильтрации (см. ниже).

Скважность фильтровых каркасов согласно имеющимся опытным данным возможно принимать:

а) при круглых отверстиях — от 0,15 до 0,20;
б) „ прямоугольных „ „ 0,20 „ 0,25;
в) в корзинчатых и колокольных фильтрах от 0,10 до 0,15.

Решая формулу (9) относительно d в *мм* и выражая в ней: Q *м*^{3}*/час*, v_{ϕ} *м/сутки*, v_0 *м/сек* и l *м* получаем следующие формулы для определения внутреннего диаметра фильтра:

а) в фильтрах с горизонтальной схемой фильтрации:

$$d = 7\,643\,\frac{Q}{\varphi l v_{\phi}}; \qquad (10)$$

б) в фильтрах с вертикальной схемой фильтрации

$$d = 0{,}09\,\frac{Q}{\varphi l v_0}. \qquad (11)$$

Практически при пользовании формулами (10) и (11) длиной рабочей части фильтра задаются, руководствуясь как общими гидрогеологическими соображениями (условиями залегания водоносного пласта, его мощностью, глубиной погружения скважины в водоносный слой, положением в нем рабочей части фильтра и т. п.), так и количеством откачиваемой из скважины воды.

Следует отметить, что в настоящее время вопрос о выборе наиболее эффективной длины фильтра и оптимального его положения в водоносном пласте мало изучен. Практически принимают длину рабочей части фильтра в пределах от 0,5 M до 0,75 M (где M — полная или вскрытая мощность водоносного пласта); при этом длина рабочей части обычно колеблется от 5 до 25 *м*.

При большей мощности водоносного пласта фильтры устанавливают в средней его части, при средней мощности — в нижней части и при малой — на всю мощность (устраивая в этом случае отстойник в подстилающих водоносный горизонт породах).

Не рекомендуется допускать обнажения рабочей части фильтра во время эксплоатационных откачек во избежание доступа к фильтру воздуха (как правило, весь фильтр закладывается ниже ожидаемого динамического уровня воды в скважине). В случае эксплоатации одной скважиной нескольких водоносных горизонтов (случай чередования водоносных слоев с водоупорными) следует применять фильтры, составленные из отдельных звеньев, располагая их таким образом, чтобы рабочая часть каждого звена приходилась против водоносного слоя, а глухая против водоупорного. В этом случае расчет производят позонально, т. е. отдельно для каждого звена фильтра.

При установлении длины рабочей части фильтра, помимо высказанных соображений, необходимо также учитывать и величину разрыва уровней воды в скважине (см. ниже).

4. Определение предельных входных скоростей

Под предельной входной скоростью принято понимать такую скорость фильтрации воды в водоносном пласте (или скорость движения воды в его порах), при которой вынос мелких частиц грунта может происходить лишь в период предварительной прокачки скважины, в пределах, не нарушающих общей устойчивости самого грунта (вернее его скелета). Предполагается, что вокруг фильтра образуется при этом слой грунта большей водопроницаемости (так называемый «естественный» фильтр), способствующий увеличению водозахватной способности скважины.

Величина предельной входной скорости зависит как от характера водоносного грунта, так и от типа фильтра и направления фильтрации при входе воды в фильтр.

Направление фильтрации в фильтрах сетчатом, дырчатом и гравийном довольно близко к горизонтальному; в фильтрах же колокольном и корзинчатом имеет место вертикальная схема фильтрации (в первом типе направленная снизу вверх, а во втором — сверху вниз).

а) Фильтры с горизонтальной схемой фильтрации

Для определения предельных входных скоростей с горизонтальной схемой фильтрации в практике применяют или так называемые «нормы Гросса», или же эмпирическую формулу Зихардта.

Данные Гросса базируются, главным образом, на опыте водоснабжения в Германии и могут рассматриваться лишь как чисто практический нормативный материал, не подтвержденный ни теоретически, ни экспериментально. Мало того, имеющиеся данные нашей практики показывают, что расчет, основанный на «нормах Гросса», обычно приводит к преувеличенным размерам фильтра.

Сопоставление опытных входных скоростей, наблюдавшихся нами при проведении лабораторных испытаний различных типов фильтров в фильтрационном лотке в Институте Водгео на двух (различных по своему составу) грунтах, показывает, что максимальные пределы входных скоростей, рекомендуемые Гроссом, были превзойдены в 3—6 раз без существенного нарушения прочности грунта и при отсутствии катастрофического выноса мелких фракций.

Эмпирическая формула Зихардта представляет значительно больший интерес, так как эта формула вполне правильно намечает функциональную зависимость входной скорости от коэфициента фильтрации грунта ($v_ф = \frac{\sqrt{k}}{15}$, где $v_ф$ — в *м/сек* и k — в *м/сек*). Однако формула Зихардта базируется на сравнительно небольшом экспериментальном материале, к тому же далеко не отвечающем реальным условиям работы фильтров буровых на воду скважин. Сопоставление опытных входных скоростей, наблюденных нами при проведении указанных выше лабораторных работ, показывает, что так называемые «критические скорости», подсчитанные по формуле Зихардта, были превзойдены при опытах в 5—9 раз без существенного нарушения прочности грунта и при отсутствии катастрофического выноса мелких его фракций.

С целью проверки формулы Зихардта нами была предпринята работа [2] по изучению фактических данных по опытным и эксплоатационным откачкам из буровых скважин, заложенных в песчано-гравийных породах и оборудованных фильтрами с горизонтальной схемой фильтрации.

Ввиду того, что структурные особенности грунта в формуле Зихардта учитываются только коэфициентом фильтрации, собранный материал был проанализирован и в отношении выяснения влияния на характер принятой Зихардтом функциональной зависимости также и модуля неоднородности грунта. Этот анализ показал, что влияние последнего фактора на характер зависимости I_0 (входного градиента) от k недостаточно ясно выражено. Отбросив этот фактор, нанесем полученные точки (обозначены кружками) на график зависимости I_0 от k независимо от модуля неоднородности грунта (рис. 34). На этот же график нанесена, кроме того и кривая, подсчитанная по формуле Зихардта:

$$\left(I_0 = \frac{1}{15\sqrt{k}}\right).$$

Как видно, почти все наши точки ложатся значительно выше кривой Зихардта, что указывает на возможность повышения расчетных значений входных градиентов против пределов, определяемых формулой Зихардта.

Произведем анализ приведенного графика в отношении возможности установления новой эмпирической зависимости I_0 от k на материале, более близко отвечающем

условиям работы фильтров буровых на воду скважин. С этой целью по полученным точкам на графике дана новая эмпирическая кривая (см. рис. 34 — кривая по буровым скважинам).

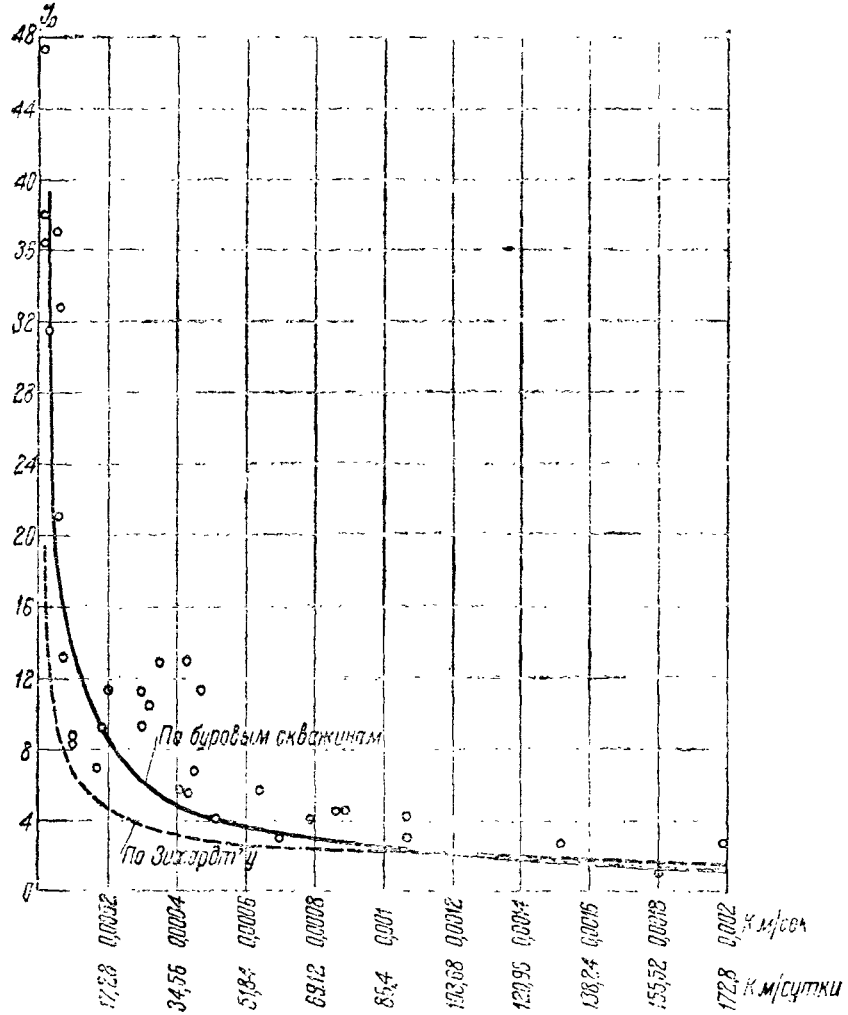


Рис. 34. График зависимости входных гидравлических градиентов J_0 от коэфициента фильтрации грунтов k

Анализ этой кривой показал, что она довольно близка к гиперболе, уравнение которой укладывается в формулу:

$$y = ax^{-b} \text{ или } I_0 = ak^{-b}, \qquad (12)$$

где

$$a = 60 \text{ и } b = -0{,}75.$$

Подставляя значения a и b в уравнение (12), приводим его к следующему виду:

$$y = 60x^{-0,75} \text{ или } I_0 = 60\,k^{-0,75} = \frac{60}{\sqrt[4]{k^3}}. \qquad (13)$$

Применив далее закон Дарси, находим выражение для определения допустимого значения входных скоростей фильтрации:

$$v_\phi = kI_0 = 60\sqrt[4]{k}\ м/сутки, \qquad (14)$$

где k — коэфициент фильтрации в *м/сутки*.

Формулой (14) мы и рекомендуем пользоваться при расчете фильтров с горизонтальной схемой фильтрации (сетчатый, дырчатый и гравийный фильтры). Этой же формулой можно пользоваться и для расчета корзинчатых фильтров (за отсутствием других более приемлемых).

Следует отметить, что предлагаемое решение может дать и значительный экономический эффект, так как получаемые по формуле (14) значения входных скоростей фильтрации для наиболее широко распространенных в практике грунтов значительно выше критических скоростей, подсчитанных по формуле Зихардта, что в конечном результате должно привести к значительному уменьшению размеров фильтров (длины и диаметра).

б) Фильтры с вертикальной схемой фильтрации

Для определения предельных входных скоростей в фильтрах с вертикальной схемой фильтрации специальных формул не имеется. При расчете фильтров колокольного типа в практике применяют иногда приемы, основанные на общеизвестном законе Стокса, или же эмпирические формулы Риттингера и Кристенса.

Формула Стокса, равно как и вытекающие из нее приемы, не отвечают условиям выноса мелких частиц грунта, происходящего при входе воды в фильтр буровой скважины, а потому не могут быть рекомендованы для практического использования (что подтверждается так же и данными лабораторных исследований, проведенных нами в Институте Водгео). Формула Кристенса для расчета входных скоростей также не применима.

Для ориентировочных подсчетов допустимых входных скоростей в колокольных фильтрах мы считаем возможным пользоваться видоизмененной формулой Риттингера с эм-

пирическими коэфициентами, предложенными нами на основе проведенных в Институте Водгео лабораторных опытов:

$$v_0 = \eta \sqrt{d(\gamma - \gamma_1)}\ м/сек, \qquad (15)$$

где v_0 — допустимая скорость движения воды в порах грунта, при которой обеспечивается вынос мелких фракций в заданных размерах, в *м/сек*;

d — средневзвешенный диаметр предназначенных к выносу частиц грунта в *м*;

η — эмпирический коэфициент; для фильтра Симонэ равный 0,40, для фильтра Перевозникова 0,60;

γ — удельный вес породы,

γ_1 — удельный вес воды, равный 1,0.

Если принять среднее значение $\gamma = 2{,}65$, то формулу (15) можно написать в следующем виде:

$$v_0 = \eta \sqrt{1{,}65d}\ м/сек. \qquad (15а)$$

5. Определение величины разрыва уровней воды

Сопротивление при подходе воды к буровой скважине и входе ее в фильтр выражается, как известно, в виде разности между уровнями воды в скважине и за наружной ее стенкой (в «затрубном» пространстве).

Имеющиеся расчетные предложения для определения величины разрыва уровня воды в скважинах ограничиваются эмпирической формулой Эренбергера, полученной им в лаборатории в связи с проверкой теоретических положений Козени по притоку воды к колодцу.

Эта формула имеет следующий вид:

$$\Delta h = h - h_1 = 0{,}5\frac{(H - h_1)^{1{,}74}}{H}. \qquad (16)$$

или приближенно:

$$\Delta h = 0{,}5\frac{(H - h_1)^2}{H}, \qquad (16а)$$

где Δh — величина разрыва между уровнями воды в скважине и затрубном пространстве;

h — уровень воды у наружной стенки колодца (в грунте);

h_1 — уровень воды в самом колодце;

H — первоначальный уровень подземных вод (до откачки).

Формулы (16) и (16а) не учитывают конструктивных особенностей фильтра, между тем (как это установлено нами

при проведении лабораторных испытаний различных фильтров в Институте Водгео) это влияние весьма существенно.

В результате лабораторных опытов нами предложены нижеследующие поправки к формуле Эренбергера, учитывающие конструктивные особенности фильтров:

а) для дырчатого, сетчатого и гравийного фильтров:

$$\Delta h = 0{,}5\frac{(H-h_1)^{2{,}2}}{H}; \qquad (17)$$

б) для фильтров колокольного типа (Симонэ, Перевозникова и др.).

$$\Delta h = 0{,}5\frac{(H-h_1)^2}{H}. \qquad (17а)$$

Практически формулы (17) и 17 а) удобнее представить в следующем виде:

а) для дырчатого сетчатого и гравийного фильтров:

$$h = h_1 + 0{,}5\frac{(H-h_1)^{2{,}2}}{H}; \qquad (18)$$

б) для фильтров колокольного типа:

$$h = h_1 + 0{,}5\frac{(H-h_1)^2}{H}. \qquad (18а)$$

Зная H и h, находят подбором отметку уровня воды в колодце h_1, в соответствии с которой и назначают глубину погружения насоса.

6. Определение размеров фильтровых отверстий и подбор материала для фильтрующих обсыпок

Размеры отверстий в дырчатых и сетчатых фильтрах подбирают на основании данных о механическом составе грунта, принимая (по кривой механического состава), что через фильтр может быть пропущено в процессе опробования скважины следующее количество мелких частиц грунта:

а) в крупном гравии и в галечниках до 20—30%;

б) в среднем и мелком гравии до 30—40%;

в) в крупном и среднезернистом песках до 40—60%;

г) в среднем и мелкозернистом песках до 60—80%.

Для этого по кривой механического состава грунта устанавливается диаметр наиболее мелких его частиц, остающихся после просеивания указанного количества

грунта, и этот диаметр принимается за расчетный. Определение размеров отверстий может быть произведено по формуле:

$$a = \beta d_p, \qquad (19)$$

где a — ширина фильтрующего отверстия;

d_p — диаметр расчетного зерна;

β — коэфициент, который может быть принят: а) для сетчатых и дырчатых (с щелевидными отверстиями) фильтров от 1,0 (в мелкозернистых песках) до 1,5 (в крупнозернистых песках); б) для дырчатых (с круглыми отверстиями) фильтров от 2 до 3.

При подборе номеров фильтровых сеток галунного плетения можно руководствоваться размерами ячеек в них, приведенными в табл. 11.

Таблица 11

№ сеток	Размер ячеек (по просеву грунта) в *мм*	№ сеток	Размер ячеек (по просеву грунта) в *мм*
6/30	0,60	8/70	0,25
6/40	0,50	12/80	0,20
6/50	0,40	12/90	
8/40	0,30	14/100	0,15

Высоту колоколов h в фильтре Симонэ и воронок в фильтре Перевозникова и Брюнкера рекомендуется принимать от 1,0 d_1 (в крупнозернистых песках) до 1,5 d_1 (в мелкозернистых песках), где d_1 — наружный диаметр колокола или уширенной части конуса.

Внутренний диаметр фильтров d_2 для этих типов фильтра следует принимать в пределах от 0,60 d_1 до 0,75 d_1.

При подборе частиц фильтрующей обсыпки рекомендуются следующие соотношения диаметров частиц:

а) в гравийных фильтрах, обсыпаемых в самой скважине, — $1 : (4 \div 5)$;

б) в гравийных фильтрах, обсыпаемых на поверхности земли (фильтр Спренера и корзинчатый), — $1 : (6 \div 7)$.

При выборе фильтрующей обсыпки слоя, смежного с естественным грунтом диаметр его расчетного зерна принимается по способу, изложенному выше. Толщина каждого слоя фильтрующей засыпки не должна быть менее 30 *мм*.

Глава VII

РАСЧЕТ ДЕБИТА БУРОВЫХ СКВАЖИН

Выбор метода расчета дебита водозабора определяется:

1) Условиями взаимодействия скважин: а) одиночные скважины; б) водозаборы, состоящие из нескольких скважин, оказывающих влияние друг на друга при эксплоатации (взаимодействующие водозаборы); в) водозаборы, испытывающие влияние поверхностных водоемов и рек.

2) Характером водопроницаемости пород: а) проницаемые по порам (песок, гравий и т. п.) или по мелким трещинам, б) проницаемые по крупным трещинам.

3) Гидравлическим состоянием водоносного горизонта: а) напорные воды; б) ненапорные воды.

4) Глубиной заложения скважины в водоносном пласте: а) совершенные скважины, имеющие проницаемые стенки в пределах всей толщи пласта; б) несовершенные скважины, не достигающие основания водоносного пласта или имеющие проницаемые стенки не на всю водоносную толщу.

5) Требованиями к точности расчетов: а) предварительные ориентировочные расчеты, основанные на разведочных данных и лабораторных определениях коэфициентов фильтрации грунтов; б) уточненные расчеты (для стадий проектного задания и технического проекта), основанных на данных опытных откачек.

Ниже приводятся методы расчетов, учитывающие влияние перечисленных факторов, при этом в качестве основного признака приняты условия взаимодействия скважин, как наиболее влияющие на выбор расчетной схемы.

1. Одиночные скважины

Определение дебита одиночных скважин производится на основе:

1) данных, характеризующих водоносный пласт в отношении его состава, мощности и гидравлических условий;

2) опробования скважины опытными откачками.

Первый метод значительно уступает второму по точности и применим лишь для предварительного суждения о дебите скважин.

а) Расчет дебита на основе характеристик гидрогеологических свойств водоносного пласта

Совершенные скважины. Дебит скважин, заложенных в водоносный пласт, представленный пористыми или мелкотрещиноватыми породами, определяется по формулам Дюпюи (20, 21):

для напорных вод (рис. 35, *а*):

$$Q = \frac{2\pi kms}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}; \qquad (20)$$

для ненапорных вод (рис. 35, *б*):

$$Q = \frac{\pi ks\,(2m - s)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}, \qquad (21)$$

где k — коэфициент фильтрации водоносного пласта, определяемый в лаборатории или принимаемый на основе данных откачек, произведенных в аналогичных гидрогеологических условиях;

m — мощность водоносного пласта;

s — понижение уровня воды в скважине при откачке;

R — радиус воронки депрессии, принимаемый на основе данных откачек, произведенных в аналогичных гидрогеологических условиях [1];

r — радиус фильтровой трубы скважины.

Если водоносный пласт представлен трещиноватыми породами, то для расчетов дебита скважин иногда пользуются формулами Краснопольского, выведенными из предположения, что движение подземных вод в этих породах при откачке является турбулентным (закон Шези). Надо заметить, однако, что подобный характер движения подземных вод свойственен, повидимому, лишь отдельным участкам закарстованных пород, чем и следует ограничить применимость формул Краснопольского. Другое ограничение применения этих формул обусловливается тем, что значение коэфициента фильтрации трещиноватых по-

[1] При отсутствии этих данных можно ориентировочно принимать для мелкозернистых песков $R = 100 - 200$ *м*, для среднезернистых 200 — 300 *м*, для крупнозернистых 300 — 400 *м*, для гравия 400 — 600 *м*.

род нельзя получить в результате лабораторных работ и можно лишь ориентировочно обосновывать данными опытных откачек, произведенных в аналогичных гидрогеологических условиях. Формулы Краснопольского:

для напорных вод:

$$Q = 2\pi km \sqrt{\frac{s}{\frac{1}{r} - \frac{1}{R}}}; \qquad (22)$$

для ненапорных вод

$$Q = 2\pi k \sqrt{\frac{m^3 - (m - s)^3}{3\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right)}}. \qquad (23)$$

Учитывая, что величина $\frac{1}{R}$ весьма мала по сравнению с $\frac{1}{r}$, величиной $\frac{1}{R}$ можно пренебречь, что даст ошибку

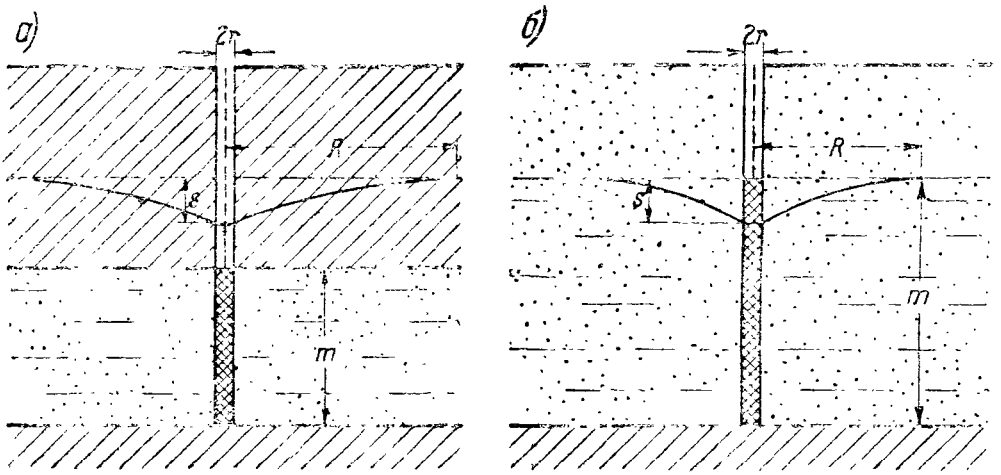


Рис. 35. Схема совершенной скважины:
а — в напорных водах; *б* — в ненапорных водах

в вычислении дебита не более 1%. Тогда получим соответственно:

$$Q = 2\pi km \sqrt{sr}; \qquad (22а)$$

$$Q = 1{,}15\ \pi k \sqrt{r\,[m^3 - (m - s)^3]}. \qquad (23а)$$

Несовершенные скважины

Если мощность водоносного пласта значительна, а требуемый дебит скважины невелик, то нет необходимости прорезать скважиной весь водоносный пласт.

Для расчета дебита подобных скважин, называемых несовершенными, существуют две формулы — Форхгеймера и Паркера. Последняя существенно уточнена проф. Е. А. Замариным.

Формула Форхгеймера:

$$Q = \frac{\pi k s (2m - s)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \sqrt{\frac{t}{h}} \sqrt[4]{\frac{2h - t}{h}}, \qquad (24)$$

где h — высота динамического уровня воды в скважине, считая от водоупорного ложа (рис. 36, *б*);

t — высота динамического уровня от основания рабочей части фильтра скважины; $t = l - s$, где l — глубина скважины в пределах водоносного пласта.

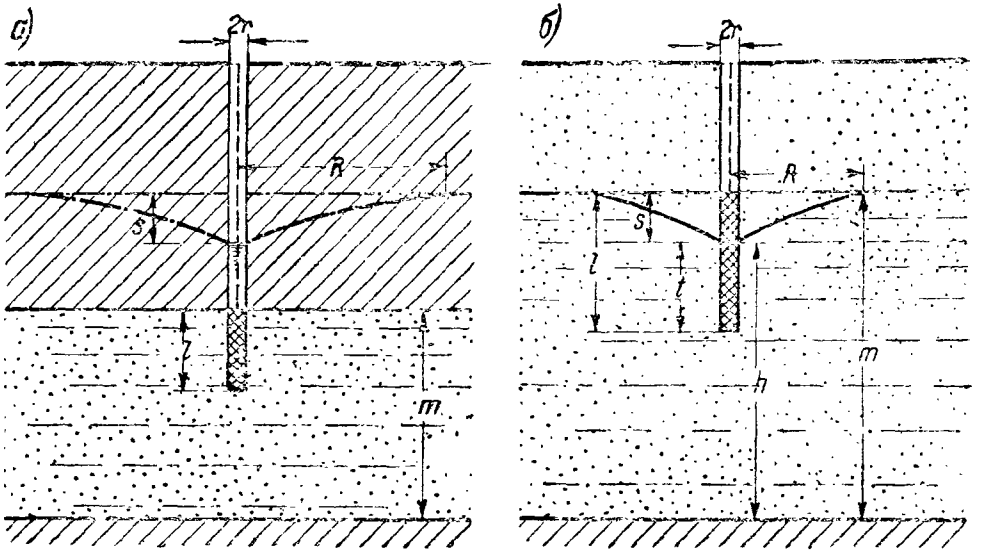


Рис. 36. Схема несовершенной скважины:
а — в напорных водах; *б* — в ненапорных водах

Формула (24) предложена для ненапорных вод, но Форхгеймер считал возможным пользоваться аналогичной формулой и для напорных вод (рис. 36, *а*):

$$Q = \frac{2\pi k s m}{\ln\frac{R}{r}} \sqrt{\frac{l}{m}} \sqrt[4]{\frac{2m - l}{m}}. \qquad (25)$$

Дебит несовершенной скважины по формуле Паркера должен определяться по формулам совершенных скважин (20), (21), с заменой в них величины мощности

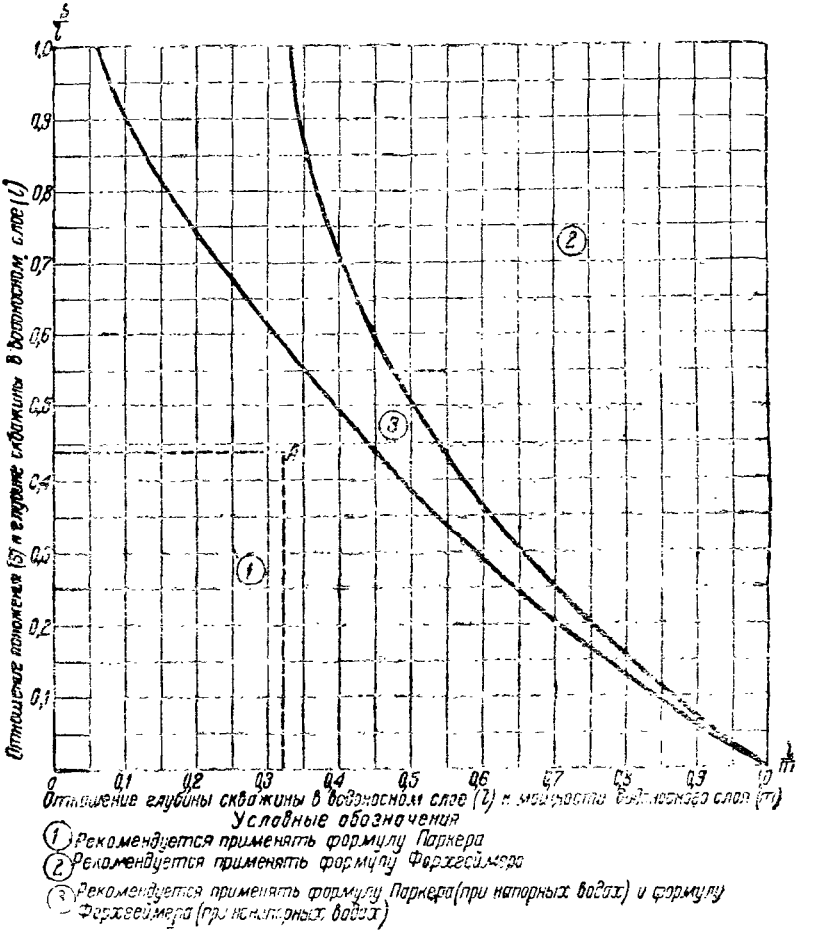


Рис. 37. График для выбора формулы для определения дебита несовершенной скважины

водоносного пласта m величиной мощности «активной зоны» m_a Последняя определяется по формуле:

$$m_a = Al, \qquad (26)$$

где A — коэфициент, зависящий от понижения уровня воды в скважине при откачке (по Замарину):

При	$s = 0{,}2l$	$A = 1{,}3$
„	$s = 0{,}3l$	$A = 1{,}5$
„	$s = 0{,}5l$	$A = 1{,}7$
„	$s = 0{,}8l$	$A = 1{,}85$

Формула Паркера, в отличие от формулы Форхгеймера, дана из условия, что мощность водоносного пласта столь велика, что водоупорное ложе не влияет на линии токов воды, направленные к скважине. Поэтому формула Паркера заведомо неприемлема если мощность активной зоны, определенная по формуле (26), больше, чем мощность водоносного пласта. Выбор метода расчета в том случае, если $m_a < m$, должен производиться на основе составленного нами графика (рис. 37), построенного из условия недопустимости завышения расчетного дебита при предварительных расчетах водозаборных сооружений.

Предварительно необходимо вычислить отношения $\frac{s}{l}$ и $\frac{l}{m}$, а затем найти точку на графике, имеющую координаты, отвечающие вычисленным значениям отношений. Положение этой точки на графике определяет выбор расчетной формулы (руководствоваться условными обозначениями на рис. 37). Так, например, если эксплоатационную откачку предполагается производить из скважины, заглубленной на $l = 6{,}4$ *м* в ненапорный водоносный пласт, при мощности последнего $m = 20$ *м* и понижении уровня воды при откачке $s = 2{,}82$ *м*, то

$$\frac{s}{l} = \frac{2{,}82}{6{,}4} = 0{,}44; \quad \frac{l}{m} = \frac{6{,}4}{20} = 0{,}32.$$

Положение искомой точки (точка A на графике) показывает, что в этом случае расчет дебита должен быть произведен по формуле Паркера.

б) Расчет дебита на основе данных опытных откачек

Между понижением уровня воды в скважине при откачке и дебитом скважины существует функциональная зависимость, выражаемая так называемой кривой дебита скважины.

Определив, на основе произведенных опытных откачек, уравнение кривой дебита, можно решать основные практические задачи, связанные с эксплоатацией скважины, т. е. определять:

1) дебит скважины при проектируемом понижении (если возможное понижение лимитировано имеющимся насосным оборудованием);

2) понижение уровня воды в скважине, необходимое для получения требуемого дебита.

Характер зависимости дебита от понижения обусловливается рядом причин. Увеличение понижения вызывает рост сопротивления движению воды в водоносном пласте и в самой скважине; эти изменения сопротивления подчиняются различным гидравлическим законам (движение воды в водоносном пласте обычно ламинарное, в трубе — турбулентное). При значительных понижениях, турбулентность движения может распространиться и на зону водоносного пласта, примыкающую к скважине. При откачке из ненапорных вод увеличение понижения сопровождается уменьшением мощности фильтрационного потока, а потому зависимость дебита от понижения здесь иная, чем в напорных водах, где мощность фильтрационного потока постоянна.

Параметры уравнений, выражающих зависимость дебита от понижения, индивидуальны для каждой скважины и могут быть установлены путем опробования скважины опытными откачками. Чем больше число понижений уровня воды при опытных откачках, тем точнее может быть составлено уравнение кривой дебита.

Формулы, устанавливающие зависимость между дебитом и понижением, могут быть подразделены на две категории: формулы теоретические и формулы эмпирические.

Теоретические формулы кривых дебита выводятся из формул Дюпюи (20), (21) и Краснопольского (22), (23).

Для построения кривых дебита по теоретическим формулам, вообще говоря, достаточно располагать данными о дебите скважины при откачке с одним понижением, что на первый взгляд является преимуществом этих формул. Однако теоретические формулы имеют существенный недостаток: при выводе их игнорируются изменения гидравлических условий в водоносном пласте и в скважине, возникающие под влиянием увеличения понижения, в частности, совершенно не учитывается возрастание сопротивления в трубах и в фильтре. Чем больше проектируемое понижение по сравнению с опытным, тем больше погрешность, обусловленная игнорированием указанных выше факторов. Существенно отметить при этом, что ошибка происходит в невыгодную для проектировки сторону, именно влечет завышение проектного дебита скважины. Поэтому теоретическими формулами Дюпюи и Краснопольского

Таблица 12

Наименование формул	Характер водоносного горизонта	Формула для определения дебита по заданному понижению	Формула для определения понижения при заданном дебите
Формулы Дюпюи	Напорные воды	$Q = Q_1 \frac{s}{s_1}$ (27)	$s = s_1 \frac{Q}{Q_1}$ (27а)
	Ненапорные воды	$Q = Q_1 \frac{s(2m - s)}{s_1(2m - s_1)}$ (28)	$s = m - \sqrt{m^2 - \frac{Q}{Q_1} s_1 (2m - s_1)}$ (28а)
Формулы Краснопольского	Напорные воды	$Q = Q_1 \sqrt{\frac{s}{s_1}}$ (29)	$s = s_1 \left(\frac{Q}{Q_1}\right)^2$ (29а)
	Ненапорные воды	$Q = Q_1 \sqrt{\frac{m^3 - (m - s)^3}{m^3 - (m - s_1)^3}}$ (30)	$s = m - \sqrt[3]{m^3 - \left(\frac{Q}{Q_1}\right)^2 [m^3 - (m - s_1)^3]}$ (30а)

приходится пользоваться лишь в тех случаях, когда по каким-либо причинам не представляется возможным произвести опытную откачку с несколькими понижениями (например, при большом дебите скважин и маломощности насосного оборудования). На практике обычно считают возможным применять эти формулы, если проектируемое понижение уровня воды в скважине превышает опытное понижение не более чем на 40—50%.

В табл. 12 приведены теоретические формулы для расчета дебита и понижений в условиях напорных и ненапорных вод. В этих формулах:

Q — проектируемый дебит скважины;
s — проектируемое понижение уровня воды в скважине;
Q_1 — дебит, определенный опытной откачкой;
s_1 — понижение уровня воды в скважине при опытной откачке;
m — мощность водоносного пласта.

К эмпирическим формулам относятся уравнения кривых дебита, предложенные Дюпюи, Смрекером и Альтовским. Эти формулы выражают зависимость дебита от понижения в общем виде, учитывая совместное влияние на дебит скважины тех изменений гидравлических условий движения воды в грунте и в самой скважине, которые происходят при изменении понижения.

Наименьшее число понижений уровня воды при опытных откачках для расчета кривой дебита по этим эмпирическим формулам — два, но для выбора формулы необходимо иметь минимум три понижения (при наличии двух понижений приходится вести расчет по всем указанным формулам и принимать меньшее значение дебита из полученных этими расчетами).

Эмпирические формулы допускают более широкую экстраполяцию данных опытных откачек, чем теоретические формулы, так как учитывают совокупность изменения режима фильтрационного потока и движения воды в самой скважине, происходящие при изменении понижения. Применимость эмпирических формул следует ограничить условием, что проектируемое понижение не превосходит более чем в 2—3 раза максимальное понижение при опытной откачке.

Для выбора расчетной формулы, на основании данных опытных откачек следует построить график $Q = f(s)$, от-

кладывая по оси абсцисс значения s, а по оси ординат — значения Q. Здесь может иметь место один из следующих видов зависимости.

1) Зависимость между Q и s выражается прямой линией, проходящей через начало координат. В этом случае расчет проектного дебита или понижения производится по формуле Дюпюи — (27) и (27*а*).

2) Зависимость $Q = f(s)$ криволинейная, причем кривая обращена выпуклостью вниз. В этом случае несомненно, что данные опытных откачек дефектны, неточность замеров или неустановившееся движение воды и расчеты эксплоатационного дебита или понижения невозможны,

3) Зависимость $Q = f(s)$ криволинейная, при этом кривая обращена выпуклостью вверх. В этом случае зависимость между дебитом и понижением может быть параболической, степенной или логарифмической. Для установления вида этой зависимости необходима дальнейшая графическая обработка опытных данных, заключающаяся в следующем. Строят графики:

$$\frac{S}{Q} = f(Q);\ \lg Q = f(\lg s);\ Q = f(\lg s).$$

Если $\frac{S}{Q} = f(Q)$ — прямая линия, то расчет проектного дебита и понижения производится по формуле Дюпюи (31), выражающей параболическую зависимость $Q = f(s)$.

Если $\lg Q = f(\lg s)$ — прямая линия, расчет производится по формуле Смрекера (34) — степенная зависимость $Q = f(s)$.

Наконец, если $Q = f(\lg s)$ — прямая линия, — пользуются формулой Альтовского (38) — логарифмическая зависимость $Q = f(s)$.

Эмпирическая формула Дюпюи

Для определения дебита по заданному понижению уровня служит формула:

$$Q = \frac{\sqrt{a^2 + 4bs} - a}{2b} \qquad (31)$$

Определение понижения, соответствующего требуемому дебиту, производится по формуле:

$$s = aQ + bQ^2. \qquad (31a)$$

В формулах (31) и (31а) a, b — параметры, определяемые из данных опытных откачек:

$$b = \frac{s_2 Q_1 - s_1 Q_2}{Q_1 Q_2 (Q_2 - Q_1)}; \tag{32}$$

$$a = \frac{s_1}{Q_1} - bQ_1, \tag{33}$$

где Q_1 — дебит скважины при опытной откачке при понижении s_1;

Q_2 — то же при понижении s_2.

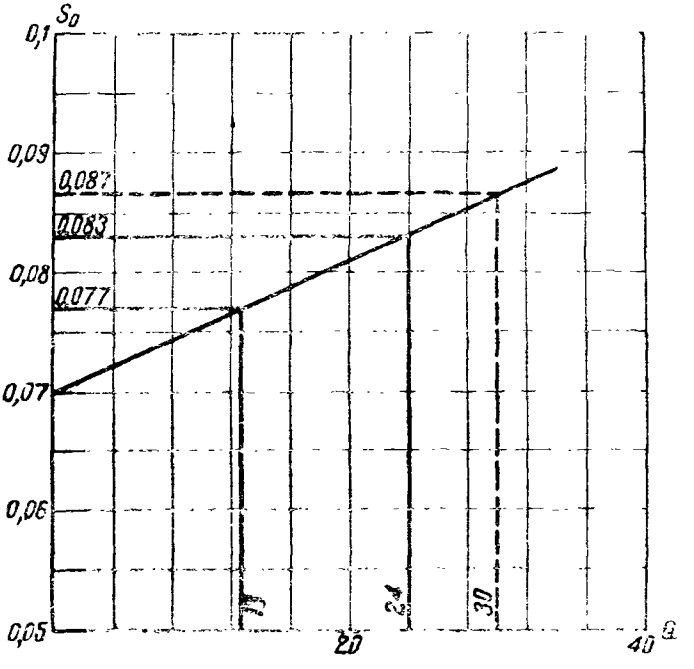


Рис. 38. График для определения дебита скважины по формуле Дюпюи

Для определения понижения, соответствующего проектируемому дебиту, может быть применен графический метод. Предварительно необходимо вычислить значения удельных понижений s_0, понимая под этим термином отношение понижений уровня воды к соответственным дебитам при опытных откачках:

$$s_0' = \frac{s_1}{Q_1}; \; s_0'' = \frac{s_2}{Q_2}.$$

Первый шаг — построить график зависимости (прямая линия) удельных понижений от наблюденных дебитов, отложив по оси абсцисс значения Q_1 и Q_2, а по оси ординат — s_0' и s_0'' (рис. 38).

Второй шаг — по построенной прямой определить значение удельного понижения s_0, соответствующее заданному дебиту Q.

Третий шаг — вычислить необходимое понижение уровня воды s, для получения заданного дебита по формуле:

$$s = s_0 Q.$$

Пример. Определить понижение уровня воды, необходимое для получения дебита 30 *л/сек.*, при следующих данных опытных откачек.

№ понижений	Понижение в *м*	Дебит в *л/сек*
I	$s_1 = 1{,}0$	$Q_1 = 13{,}0$
II	$s_2 = 2{,}0$	$Q_2 = 24{,}0$

Вычислением получаем:

$$s_0' = \frac{s_1}{Q_1} = \frac{1{,}0}{13{,}0} = 0{,}077;$$

$$s_0'' = \frac{s_2}{Q_2} = \frac{2{,}0}{24{,}0} = 0{,}083.$$

Из графика следует, что дебиту $Q = 30$ *л/сек* соответствует $s_0 = 0{,}087$, откуда

$$s = 0{,}087 \cdot 30 = 2{,}61 \text{ м}.$$

Формула Смрекера

Дебит, по заданному понижению уровня воды в скважине, определяется по формуле:

$$Q = \sqrt[m]{S}. \qquad (34)$$

Соответственно для определения понижения, отвечающего проектируемому дебиту, служит формула:

$$S = \left(\frac{Q}{n}\right)^m. \qquad (34а)$$

Параметры n и m определяются по данным опытных откачек по формулам (35) и (36):

$$\lg n = \frac{\lg S_1 \lg Q_2 - \lg S_2 \lg Q_1}{\lg S_1 - \lg S_2}; \tag{35}$$

$$m = \frac{\lg S_1 - \lg S_2}{\lg Q_1 - \lg Q_2}; \tag{36}$$

Применимость формулы Смрекера ограничивается условием:

$$1 < m < 2. \tag{37}$$

Формула Альтовского

Для определения дебита по заданному понижению уровня воды в скважине служит формула:

$$Q = a + b \lg s. \tag{38}$$

Определение необходимого понижения для получения проектируемого дебита производится по формуле:

$$\lg s = \frac{Q - a}{b}. \tag{38а}$$

В формулах (38) и (38 а) a, b — параметры, определяемые из данных опытных откачек:

$$b = \frac{Q_2 - Q_1}{\lg s_2 - \lg s_1}; \tag{39}$$

$$a = Q_1 - b \lg s_1, \tag{40}$$

где Q_1 — дебит скважины при опытной откачке при понижении s_1;

Q_2 — то же при понижении s_2.

Определение дебита и понижения по формуле Альтовского значительно упрощается, если применить графический метод решения, заключающийся в следующем.

По оси абсцисс откладываются значения понижений уровня воды при опытных откачках (масштаб этой оси — логарифмический), по оси ординат — отвечающие им значения дебитов при опытных откачках (рис. 39). По точкам пересечения проводится прямая, по которой можно определить дебит по заданному понижению, а также понижение, необходимое для получения требуемого дебита. На рис. 39 это построение произведено применительно к выше-

приведенному примеру. Рисунок показывает, что для получения дебита 30 *л/сек* необходимо понижение уровня воды в скважине 2,9 *м*.

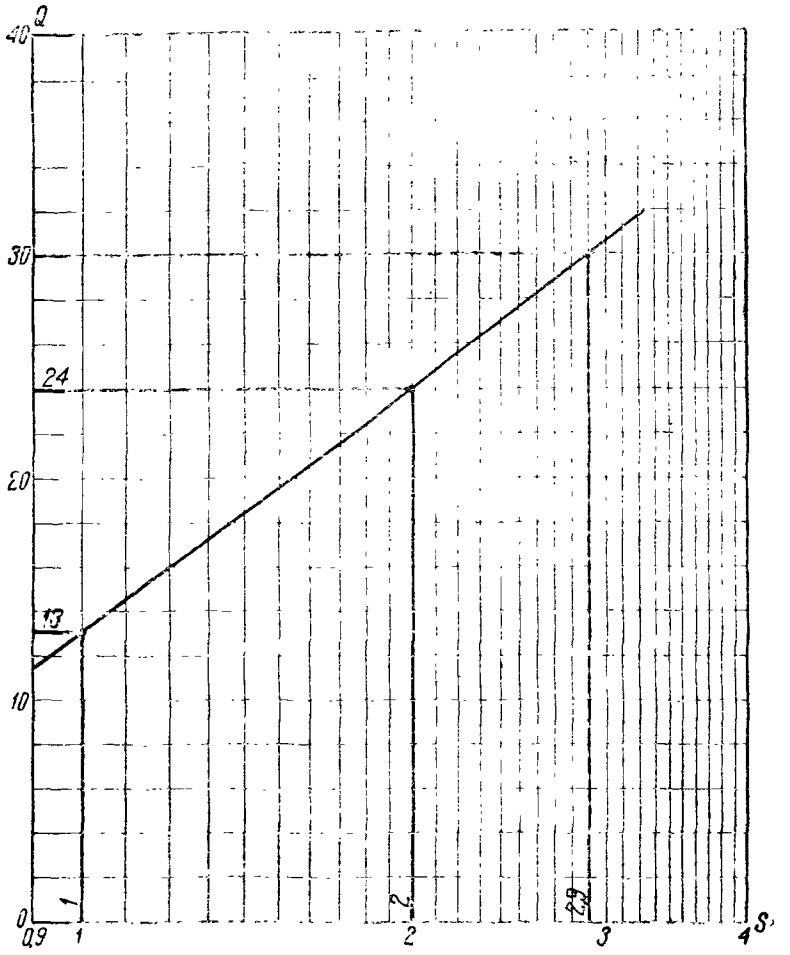


Рис. 39. График для определения дебита скважины по формуле Альтовского

2. Взаимодействующие скважины

Если буровые скважины находятся на расстоянии, меньшем, чем два радиуса влияния этих скважин, то скважины называются взаимодействующими. Взаимодействие особенно значительно, если расстояние между скважинами *l* меньше одного радиуса влияния, так как в этом случае

происходит снижение уровня (срезка) во взаимодействующих скважинах (рис. 40).

Скважины № 1 и № 2 — невзаимодействующие (одиночные); скважины № 3, 4 и 5 — взаимодействующие ($2R > l > R$); скважины № 5 и 6 — взаимодействующие ($l < R$).

Расчеты взаимодействующих скважин в условиях ненапорных вод разработаны Форхгеймером на основе теории Дарси-Дюпюи. Расчеты эти, нашли применение в основном для водопонизительных установок, где скважины рас-

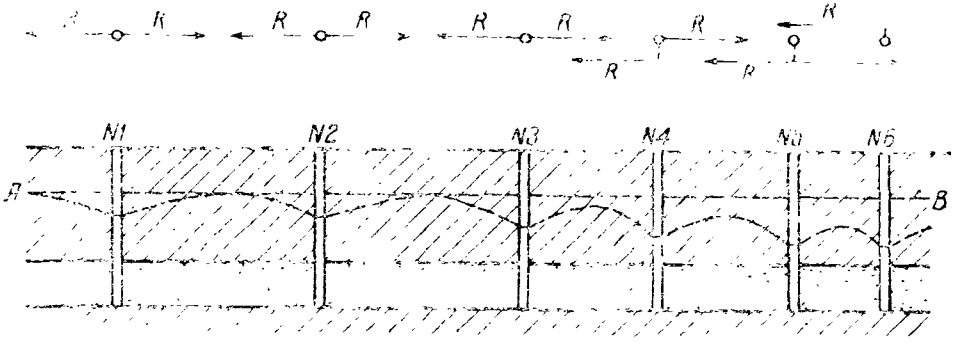


Рис. 40. Схема взаимодействия скважин в зависимости от расстояний между ними. *AB* — пьезометрический уровень напорного водоносного горизонта до откачки

полагаются на площади, а не для водоснабженческих скважин, имеющих обычно линейное расположение, вкрест направлению потока. Для этого случая аналитических решений пока нет.

Условия взаимодействия скважин в напорных водах обстоятельно изучены М. Е. Альтовским [8], которым предложены практические методы расчета взаимодействующих скважин. Методика Альтовского может применяться и для ненапорных вод, если мощность водоносного пласта значительно превышает понижение уровня воды в скважинах при производстве откачек.

На рис. 41 изображены две взаимодействующие скважины. Откачка из скважины № 1 с понижением s_1 вызывает срезку уровня t_2 в скважине № 2. Откачка из последней с понижением s_2 вызывает срезку t_1 в скважине № 1. При совместной откачке из этих скважин действительная величина срезки в каждой скважине будет несколько меньше, чем срезки, наблюденные при одиночных откач-

ках, так как благодаря взаимному влиянию скважин дебит их уменьшится, а следовательно, уменьшатся и срезки.

М. Е. Альтовским предложен метод расчета дебита взаимодействующих скважин, основанный на определении коэфициента снижения дебита.

Этот коэфициент выражается следующим образом:

$$\alpha = \frac{Q' - Q''}{Q'} = 1 - \frac{Q''}{Q}. \qquad (41)$$

где Q' — дебит скважин при одиночной откачке;

Q'' — то же при взаимодействии скважин.

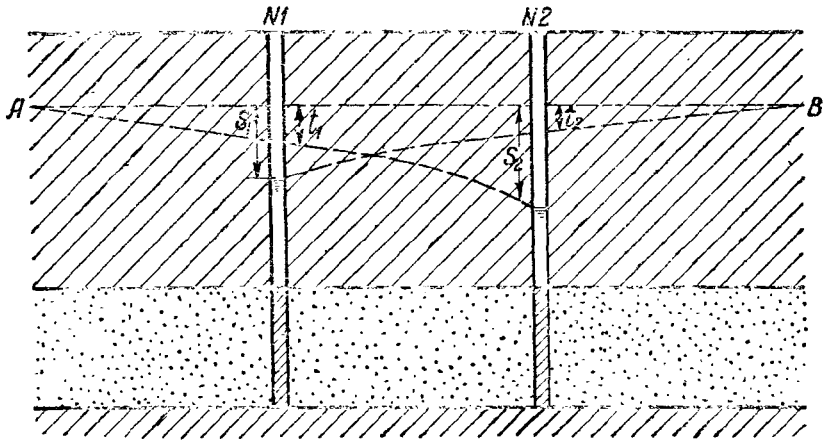


Рис. 41. Схема влияния откачки из скважин. *AB* — пьезометрический уровень воды до откачки

Для производства расчетов коэфициент α удобно выражать через удельные дебиты скважин:

$$\alpha = 1 - \frac{q''}{q'}, \qquad (42)$$

где q' — удельный дебит скважин при одиночной откачке;

q'' — то же при взаимодействии скважин.

Из формулы (42) для двух взаимодействующих скважин имеем:

$$q_1'' = q_1'(1 - \alpha_1) \text{ и } q_2'' = q_2'(1 - \alpha_2), \qquad (43)$$

где индексы 1 и 2 обозначают номера взаимодействующих скважин.

Если скважина находится во взаимодействии с несколькими скважинами, то формула (43) получает вид:

$$q'' = q'(1 - \sum \alpha). \qquad (44)$$

где $\sum\alpha$ — суммарный коэфициент снижения дебита, представляющий собой сумму коэфициентов снижения дебитов

скважин, оказывающих влияние на дебит данной скважины.

Обозначив s — понижение уровня воды в водозаборной скважине в условиях взаимодействия, имеем дебит скважин:

$$Q'' = sl'' = sq'(1 - \sum \alpha). \qquad (45)$$

Коэфициенты снижения дебита находятся в следующей зависимости от расстояний между взаимодействующими скважинами:

$$\alpha_{x_1} = \alpha_{x_2} \frac{1 - \frac{\lg x_1}{\lg R}}{1 - \frac{\lg x_2}{\lg R}}, \qquad (46)$$

где α_{x_1} — коэфициент снижения дебита при расстоянии x_1 между скважинами;

α_{x_2} — то же при расстоянии x_2;

R — радиус влияния при одиночной откачке.

Вычисления коэфициентов α производятся по различным формулам, в зависимости от характера зависимости между дебитом и понижением при одиночных откачках.

При линейной зависимости дебита от понижения в соответствии с формулой Дюпюи (27) коэфициенты снижения дебита определяются по формулам:

$$\alpha_1 = \frac{t_1}{s_2 + t_1} \text{ и } \alpha_2 = \frac{t_2}{s_1 + t_2}, \qquad (47)$$

где t_1 — срезка уровня в скважине № 1 при откачке из скважины № 2;

t_2 — то же в скважине № 2 при откачке из скважины № 1,

s_1, s_2 — понижения уровней воды в скважинах № 1 и 2.

Если между дебитом и понижением существует зависимость, выражаемая формулой Краснопольского (29), то

$$\alpha_1 = 1 - \sqrt{\frac{s_2}{s_2 + t_1}} \text{ и } \alpha_2 = 1 - \sqrt{\frac{s_1}{s_1 + t_2}}. \qquad (48)$$

При логарифмической зависимости дебита от понижения, определяемой формулой Альтовского (38), дебит двух взаимодействующих скважин вычисляется по формулам:

$$Q_1'' = (Q_1' - a)^{\frac{2\lg s_2 - \lg(s_2 + t_1)}{\lg s_2}} + a; \qquad (49)$$

$$Q_2'' = (Q_2' - a)^{\frac{2\lg s_1 - \lg(s_1 + t_2)}{\lg s_1}} + a. \qquad (50)$$

где a — параметр, определяемый по данным откачки [см. формулы (39), (40)].

Приведем примеры расчета дебита взаимодействующих скважин.

Пример 1. Исходные данные.

Из скважин 1 и 2, находящихся в расстоянии 400 *м* друг от друга (рис. 42), произведены одиночные опытные откачки. Последними установлено, что зависимость дебитов скважин от понижений линейная, т. е. дебиты пропорциональны понижениям. Радиус влияния по данным одиночных откачек 700 *м*. Дебит скважины № 1 был 10,2 *л/сек* при понижении уровня 3,0 *м*, при этом уровень воды в скважине № 2 понизился на 0,28 *м*. Дебит скважины № 2—12 *л/сек* при понижении уровня 4,0 *м*, при этом уровень воды в скважине № 1 снизился на 0,4 *м*. Таким образом имеем (табл. 13).

Таблица 13

№ скважин	Дебит Q' в *л/сек*	Понижение s в *м*	Удельный дебит $\frac{Q'}{s} = q'$	Срезка уровня t в *м*
1	$Q_1' = 10{,}2$	$s_1 = 3{,}0$	$q_1' = 3{,}4$	$t_1 = 0{,}4$
2	$Q_2' = 12{,}0$	$s_2 = 4{,}0$	$q_2' = 3{,}0$	$t_2 = 0{,}28$

Требуется определить дебит скважин № 1 и 2 при совместной эксплоатации с понижением 5,0 *м*.

Определяем коэфициенты снижения дебита по формуле (47):

$$\alpha_1 = \frac{0{,}4}{4 + 0{,}4} = 0{,}09; \qquad \alpha_2 = \frac{0{,}28}{3 + 0{,}28} = 0{,}086.$$

Значения α_1 и α_2 близки друг к другу. В дальнейшем принимаем бо́льшее значение $\alpha = 0{,}09$.

По формуле (43):

$q_1'' = 3{,}4\,(1 - 0{,}09) = 3{,}09$ *л/сек*; $q_2'' = 3{,}0\,(1 - 0.09) = 2{,}73$ *л/сек*.

При понижении уровня воды в скважинах 5 *м* дебит выразится (45):

$$Q_1'' = 5 \cdot 3{,}09 = 15{,}45 \text{ л/сек}$$
$$Q_2'' = 5 \cdot 2{,}73 = 13{,}65 \text{ л/сек}$$
$$\text{Итого } \Sigma Q'' = 29{,}1 \text{ л/сек}$$

Если бы скважины находились вне взаимного влияния, то суммарный дебит их при понижении 5 *м* выразился бы:

$$\Sigma Q' = 5 \cdot 3{,}4 + 5 \cdot 3{,}0 = 32 \text{ л/сек}.$$

Таким образом дебит водозабора при взаимодействии меньше на $100\,\frac{32{,}0 - 29{,}1}{32{,}0} = 9\%$ дебита этих скважин, если бы они не оказывали влияния друг на друга.

Пример 2. Рассмотрим, как изменится дебит водозабора, если в дополнение к скважинам № 1 и 2 заложить скважину № 3, расположив ее между скважинами № 1 и 2, на равном расстоянии (400 : 2 = 200 *м*) между ними (рис. 42). Удельный дебит скважины

№ 3 можно принять средним между удельными дебитами скважин № 1 и 2, т. е.

$$q_3' = \frac{3{,}4 + 3{,}0}{2} = 3{,}2 \text{ л/сек},$$

проектируемое понижение то же, что в примере № 1 ($S = 5{,}0$ м).

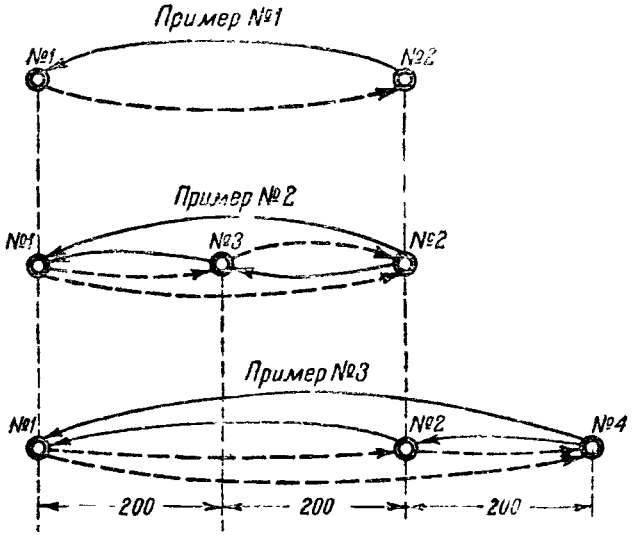


Рис. 42. Схема взаимодействия скважин

По формуле (46) определяем коэфициент снижения дебита применительно к расстоянию 200 м:

$$\alpha_{200} = \alpha_{400}\frac{\lg R - \lg 200}{\lg R - \lg 400} = 0{,}09\ \frac{\lg 700 - \lg 200}{\lg 700 - \lg 400} = 0{,}20.$$

В табл. 14 приведены расчеты дебита водозабора.

Таблица 14

№ скважин	Расстояние от скважины № 3	Влияние с одной стороны		Влияние с другой стороны		$\Sigma\alpha$	q'	q'' [по формуле (44)]	Q'' в л/сек [по формуле (45)]
		α_{200}	α_{400}	α_{200}	α_{400}				
1	200	0,20	0,09	—	—	0,29	3,4	2,41	12,05
2	200	—	—	0,20	0,09	0,29	3,0	2,13	10,65
3	—	0,20	—	0,20	—	0,40	3,2	1,92	9,60
						Итого $\Sigma Q'' = 32{,}30$ л/сек			

Как мы видели выше (пример № 1), дебит водозабора из двух взаимодействующих скважин выражался 29,1 *л/сек*. Заложение между ними третьей скважины в данном случае увеличило бы дебит водозабора всего лишь на

$$100\left(\frac{32{,}3-29{,}1}{29{,}1}\right)=11\%.$$

Пример 3. Определим дебит водозабора при условии, что дополнительная скважина закладывается не между скважинами № 1 и 2, а на продолжении линии водозабора на расстоянии 200 *м* от скважины № 2 (рис. 42). Удельный дебит вновь закладываемой скважины (№ 4) принимаем равным удельному дебиту скважины № 2, остальные исходные данные те же, что в примере 1.

Поскольку скважина № 4 находится в расстоянии 600 *м* от скважины № 1, вычислим коэфициент снижения дебита для этого расстояния по формуле (46).

Расчеты дебита водозабора сведены в табл. 15.

Таблица 15

№ скважины	Расстояние от скважины № 2	Влияние с одной стороны			Влияние с другой стороны			$\Sigma\alpha$	q'	q''	Q''
		α_{200}	α_{400}	α_{600}	α_{200}	α_{400}	α_{600}				
1	400	—	0,09	0,02	—	—	—	0,11	3,4	3,03	15,15
2	—	0,20	—	—	—	0,09	—	0,29	3,0	2,13	10,65
4	200		—	—	0,20	—	0,02	0,22	3,0	2,34	11,70
										$\Sigma Q''=37{,}50$ *л/сек*	

Дебит водозабора в рассмотренном примере на $100\left(\frac{37{,}5-29{,}1}{29{,}1}\right)=29\%$ больше, чем при работе двух скважин № 1 и 2 (ср. пример 1).

3. Скважины, расположенные поблизости от поверхностного водоема

При расположении скважины поблизости от реки, озера или другого водоема откачка может привести к подсасыванию воды в скважину из водоема. Для определения дебита скважины в этих условиях Форхгеймером предложена следующая схема явления.

В области водоема помещается другая — воображаемая — скважина на расстоянии, равном расстоянию действительной скважины от водоема. Эта воображаемая

скважина действует как поглощающая, при этом величина поглощения воды равна дебиту существующей скважины (рис. 43). Исходя из этой предпосылки, Форхгеймер вывел следующую формулу дебита скважины:

$$Q = \pi k \frac{s(2m - s}{\ln\left(\frac{2a}{r}\right)}, \qquad (51)$$

где s — понижение уровня воды в скважине;
m — мощность водоносного пласта;
a — расстояние скважины от водоема.

Формула (51) отличается от формулы Дюпюи (21), применяемой для расчета дебита скважины вне влияния

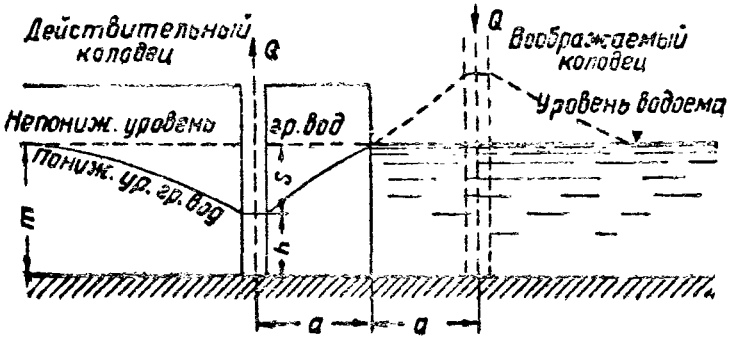


Рис. 43. Схема скважины, расположенной вблизи водоема (по Форхгеймеру)

водоема, только тем, что в знаменатель формулы (51) входит величина $\ln\left(\frac{2a}{r}\right)$ вместо $\ln\left(\frac{R}{r}\right)$. Если разделить выражение дебита по формуле Форхгеймера на выражение дебита по формуле Дюпюи, то увеличение дебита под влиянием водоема выразится отношением:

$$\frac{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}{\ln\left(\frac{2a}{r}\right)}.$$

Таким образом приток воды в скважину, расположенную вблизи водоема, по Форхгеймеру, равен притоку воды в скважину, находящуюся вне влияния водоема, если радиус влияния этой скважины вдвое больше расстояния между скважиной и водоемом. Если $a > 0{,}5\,R$, то дебит скважины по формуле Форхгеймера при наличии влияния

водоема оказывается меньше, чем по формуле Дюпюи, что противоречит физическому смыслу явления.

В табл. 16 приводятся отношения дебитов по формуле (51) к дебитам, подсчитанным по формуле Дюпюи (21), не учитывающей влияния водоема. Вычисления сделаны применительно к $r = 0{,}1$ *м*, характерному для водозаборных скважин.

Таблица 16

Расстояние до водоема a в *м*	Радиус депрессии R	
	100 *м*	300 *м*
	$\frac{Q(51)}{Q(21)}$	$\frac{Q(51)}{Q(21)}$
5	1,50	1,74
10	1,30	1,51
25	1,11	1,29
50	1,00	1,16
100	0,90	1,05

Формулой Форхгеймера следует пользоваться, если скважина располагается от водоема на расстоянии, меньшем половины радиуса депрессии.

Глава VIII

ШАХТНЫЕ КОЛОДЦЫ

1. Конструкции шахтных колодцев, их элементы и размеры. Способы производства работ

а) Общие замечания

Шахтный колодец состоит из следующих основных элементов (рис. 46): а) надземной части — оголовка, б) ствола шахты, в) водоприемной части, г) зумпфа (в отдельных случаях).

Оголовок предназначается для защиты от попадания в колодец сверху загрязненных поверхностных вод, а также для создания удобных условий для его эксплоатации (водоподъема, водоразбора, наблюдений за состоянием и работой колодца и т. п.). В местностях с суровым климатом, в сравнительно неглубоких колодцах, устройство ого-

ловка необходимо также и в целях предохранения воды от промерзания.

Для предохранения колодца от обрушения грунта и изоляции его от загрязнения стенки шахтного колодца укрепляются, образуя ствол шахты. Последний служит связующим звеном между надземной и нижележащей водоприемной частью колодца, а также для размещения в нем водоподъемного оборудования (а иногда и вентиляционных устройств).

Оголовок и ствол шахты делаются водонепроницаемыми.

Водоприемная часть, в зависимости от гидрогеологических условий и глубины заложения шахтного колодца, устраивается или только в дне, или в его стенках или же в дне и стенках. При приеме воды через дно водоприемная часть колодца должна быть оборудована песчано-гравийным фильтром (за исключением крупнообломочных и трещиноватых пород). В напорных условиях, в особенности при использовании мелкозернистых песков, под песчано-гравийным фильтром необходимо устраивать деревянное или железобетонное днище с водоприемными отверстиями. При приеме воды боковой поверхностью колодца (т. е. его стенками), водоприемные отверстия в крупнообломочных и трещиноватых породах устраиваются в виде пустотелых промежутков или посредством закладки в стенки гончарных или чугунных трубок. В песчаных породах следует предусматривать устройство в стенках колодцев специальных отверстий (окон), заполненных песчано-гравийным фильтром.

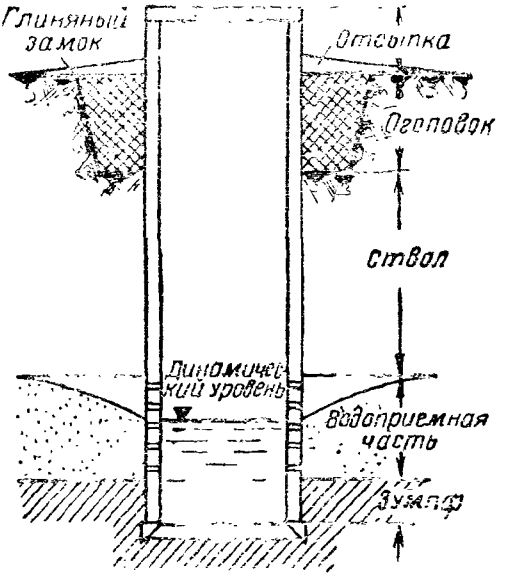


Рис. 44. Схема шахтного колодца

Общая площадь водоприемных отверстий колодца должна быть рассчитана на пропуск эксплоатационного расхода, при величине входной скорости, предохраняющей

колодец от засорения вымытыми частицами грунта. При определении величины входной скорости в песчаных породах рекомендуется применять: а) для случая фильтрации воды через дно — формулу (15) (с коэфициентом $\eta = 0{,}40$) и б) для случая фильтрации через стенки — формулу (14). Соотношение диаметров частиц в песчано-гравийном фильтре рекомендуется принимать 1 : 5. В колодцах, эксплоатирующих водоносные горизонты, приуроченные к крупнообломочным и трещиноватым породам, расчет водопропускной способности колодца, основанный на допустимых входных скоростях, не производится.

Зумпф устраивается только в том случае, когда в колодце необходимо иметь некоторый запас воды. Размеры его определяются величиной потребного запаса воды. Следует отметить, что проектируемый в зумпфе запас воды не должен быть чрезмерно большим во избежание ухудшения качества воды вследствие ее застоя. Зумпфы не рекомендуется устраивать в тех случаях, когда ниже эксплоатируемого водоносного слоя на небольшой глубине залегают водоносные горизонты с недоброкачественной водой.

В конструктивном отношении шахтные колодцы могут быть разбиты на следующие основные типы: а) деревянные срубовые колодцы; б) колодцы из каменной и кирпичной кладки, в) бетонные и железобетонные колодцы.

Деревянный срубовый колодец является простейшим и вместе с тем наиболее распространенным в практике типом шахтного колодца. К недостаткам его следует отнести недолговечность деревянного крепления, а в некоторых случаях и привкус, придаваемый воде древесиной.

Более долговечны шахтные колодцы из бетона, железобетона, кирпича и камня; эти же колодцы в большей степени отвечают и санитарным требованиям (т. е. условиям обеспечения доброкачественности воды). Колодцы из каменной и кирпичной кладки и из бетона применяются обычно при глубинах до 20 *м*; при больших глубинах переходят на железобетонные колодцы. Эти колодцы удобны для опускания, и в них наилучшим образом используется сопротивление материала на сжатие. Кроме того, при больших глубинах иногда применяют чугунные колодцы.

б) Проходка шахты

Устройство шахтного колодца начинается проходкой шахты, при этом отрывка грунта производится лопатами

с применением кайла и лома. До глубины 2 *м* грунт выбрасывается лопатами, вручную; с больших же глубин поднимается на поверхность бадьями емкостью 0,05—0,06 $м^3$ с помощью пенькового каната (или металлического троса), наматываемого на вал ручного ворота, кабестана или лебедки.

В отдельных случаях проходку шахты представляется целесообразным механизировать путем применения: а) многочерпаковых экскаваторов (при глубине 5—6 *м*), б) грейферов (при глубине более 5—6 *м*); в) эжекторов (в песчано-глинистых грунтах при отсутствии в них гальки и камней). В последнем случае грунт поднимается на поверхность в разжиженном виде.

При устройстве колодцев глубиной свыше 15—20 *м* обычно необходима искусственная вентиляция шахты; при наличии вредных газов вентиляция может потребоваться и в более мелких колодцах.

В процессе проходки шахт приходится применять и водоотлив. При небольшом притоке воды водоотлив может быть осуществлен бадьями, а при большом — насосами. В неглубоких колодцах (до 5—6 *м*) могут быть применены насосы Летестю и Диафрагма; в более глубоких — мотопомпы (поршневые и центробежные).

В зависимости от характера грунтов проходка шахты колодца производится:

а) в грунтах прочных, необваливающихся (хорошо удерживающихся в вертикальной стенке, например неводоносные лессовидные суглинки и плотные глины, мягкие мергели, мел, мягкие известняки и т. п.) — без применения временного крепления;

б) в грунтах менее прочных (не удерживающихся в вертикальной стенке) — с применением временного крепления;

в) в грунтах неустойчивых — с одновременной постановкой постоянного крепления.

в) Деревянные срубовые колодцы

Для постоянного крепления срубовых колодцев употребляется здоровый и прямой лесоматериал, заготовленный за 5—6 месяцев до укладки его в дело. Не допускается использование сухостоя и материала, имеющего червоточины и глубокие трещины, зараженного грибком и т. п. Кроме того, укладываемый в дело лесоматериал не должен портить воду в колодце (придавать ей окраску,

неприятный вкус и т. п.); вместе с тем он должен более или менее продолжительное время сохранять свои строительные качества (не загнивать).

При устройстве срубовых колодцев наиболее распространенной породой является сосна; ее древесина легко поддается обработке и значительно дешевле дуба и лиственницы. В качестве материала для постоянного крепления сруба в глубоких колодцах употребляется хорошо окоренный круглый лес $d = 15—18$ *см* и более; в неглубоких колодцах крепление часто делается из пластин $\frac{d}{2} = 11—13$ *см*. Для временного крепления употребляются доски толщиной 5—7,5 *см*.

Наиболее распространенной формой поперечного сечения срубовых колодцев является квадратная с размерами в свету от 1×1 до $1{,}5 \times 1{,}5$ *м* (реже $2{,}0 \times 2{,}0$ *м*). В практике иногда встречаются колодцы, имеющие шестигранную форму.

Размеры поперечного сечения колодца выбираются, исходя из условий:

а) удобства производства работ по открытию колодца и устройству его водоприемной части и

б) размещения в колодце эксплоатационного водоподъемника.

Сторона сечения шахты для срубового колодца квадратной формы может быть определена по формуле:

$$a = b + 2\delta + 0{,}05 \text{ м}, \tag{52}$$

где b — ширина колодца в свету в *м*;

δ — толщина крепления стенок в *м*.

Диаметр венцевого крепления срубового колодца определяется по формуле:

$$d = 0{,}9a \sqrt{\frac{p}{\sigma}} \text{ см}, \tag{53}$$

где a — длина венца в *см*;

p — давление грунта на 1 $см^2$ стенки колодца в *кг*;

σ — допускаемое напряжение дерева на изгиб в $кг/см^2$;

Величина p вычисляется по формуле:

$$p = \gamma H \operatorname{tg}^2 \frac{90 - \varphi}{2}, \tag{54}$$

где H — глубина колодца (или глубина участка, где применяется крепление венцевой крепью) в *см*;

γ — объемный вес грунта в $г/см^3$;

φ — угол внутреннего трения грунта.

В тех случаях, когда необходимо иметь в колодце запас воды или требуется увеличить его водозахватную способность, или же когда это вызывается условиями проходки (например, при прохождении срубом легкооплывающих песков), самая нижняя часть колодца уширяется, образуя шатер. Шатрам также придается квадратное сечение со сторонами, часто доходящими до 2,0—2,5 *м* при угле наклона шатровой части с вертикалью от 30° до 45°.

При рубке сруба бревна плотно припазовываются одно к другому на глубину 4 *см*. Соединения в углах делаются в косую лапу без остатка с косиной внутрь колодца, с присеком при устройстве колодцев в слабых грунтах и без присека — в более прочных. В целях придания срубу колодца большой прочности венцы его иногда соединяют между собой дубовыми вставными шипами, расположенными в шахматном порядке.

Установка сруба в шахту может быть осуществлена по одному из следующих способов:

а) сборкой заранее приготовленного сруба в шахте, предварительно вырытой на полную глубину;

б) опускным способом с наращиванием венцов сверху;

в) опускным способом с наращиванием венцов снизу;

г) шатровым способом.

Первый способ может применяться в неглубоких колодцах (до 6—8 *м*) в прочных (например глинистых) грунтах, не имеющих водосодержащих разжиженных прослоек. Установка сруба по этому способу возможна и в разнородных, менее прочных грунтах, но при условии применения временного крепления.

Сборка сруба начинается со дна шахты; пространство между срубом и стенкой шахты, во избежание попадания через него в колодец поверхностных загрязненных вод, должно быть заполнено глиной или же грунтом, вынутым при проходке шахты. В случае применения при проходке временного крепления последнее разбирается по мере наращивания сруба.

Второй способ — называемый иногда «проходка сходом» (рис. 45) применяется в плотных, неводоносных грунтах, при глубине колодца до 10 *м*. По этому способу шахта также отрывается на глубину, при которой ее стенки еще удерживают вертикальный откос; затем на выровненное дно укладывается нижнее звено сруба, снабженное ножом из скошенных брусьев, обитых кровельным железом, и производится наращивание звеньев на всю высоту

сруба (до поверхности земли). После этого дно шахты подрывается равномерно по всему контуру, вызывая постепенное погружение сруба под действием собственного его веса. По мере погружения сруба одновременно производится наращивание его звеньев сверху. Если опускание сруба при углублении шахты происходит медленно, то для ускорения этого процесса на верхнюю его часть дают дополнительную нагрузку. Во избежание расхождения венцов сруба при опускании углы его расшиваются досками или брусками.

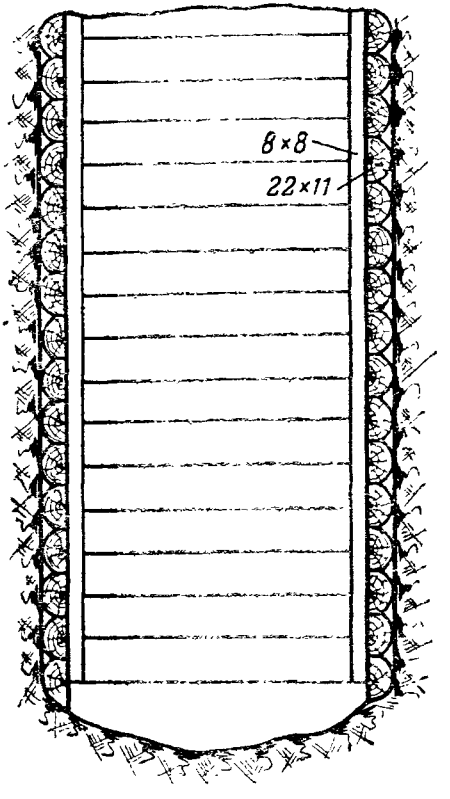


Рис. 45. Проходка шахты „сходом"

Описываемый способ имеет некоторые преимущества перед предыдущим, в отношении темпов проходки и крепления шахты; вместе с тем проведение работ по этому способу требует большего внимания и сноровки рабочих, так как при неравномерном опускании сруба могут возникнуть перекосы, исправление которых затруднительно, а при больших глубинах колодца иногда и совершенно невозможно.

Третий способ, называемый иногда «проходка в подкладку» (рис. 46), применяют при устройстве глубоких колодцев (до 40—50 *м*) в любых грунтах за исключением плывунов. При этом способе вначале отрывается шахта на возможную глубину и на ее выровненное дно устанавливается сруб. Дальнейший процесс возведения сруба состоит в постепенном и равномерном подрыве и углублении шахты по всему контуру на глубину от одного до четырех венцов и в подведении такого же количества венцов снизу. Эта подводка новых венцов производится с помощью каната, домкратов и рычагов; причем вновь подведенные венцы плотно примыкают друг к другу и расшиваются досками или брусками с ранее уложенными.

Для того чтобы сруб не оседал, его опирают через каждые 4—6 венцов на 2 нижних бревна, удлиненные концы которых на 40—50 *см* заводятся в особые углубления в стенках шахты, так называемые «печуры» или «заклады» (рис. 47).

Осуществленный подобным образом колодец позволяет производить ремонт сруба частями без нарушения общей его целостности, чего нельзя достигнуть при применении других, ранее описанных, способов. Вместе с тем необходимо отметить, что проходка колодца в подкладку сопряжена с большими трудностями.

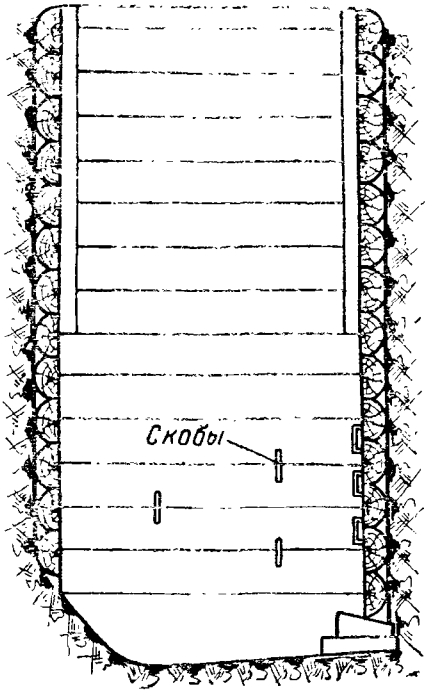


Рис. 46. Проходка шахты „в подкладку"

Четвертый способ (шатровый) — применяется при наличии в нижней части колодца водоносного пласта небольшой мощности (рис. 48). В этом случае до возможной глубины шахта проходится без крепления с размерами, соответствующими сечению шатра. Затем ставится сруб и производится углубление шахты с наращиванием венцов сверху аналогично описанному выше второму способу. Различие между ними заключается только в том, что при шатровом способе вынутый из шахты грунт не выбрасывается на поверхность земли, а им забрасывается пространство между стенками и суженной частью сруба. Засыпаемый грунт, создавая дополнительную нагрузку на наклонную часть сруба, способствует тем самым более быстрому его опусканию. При описываемом способе производства работ шатер

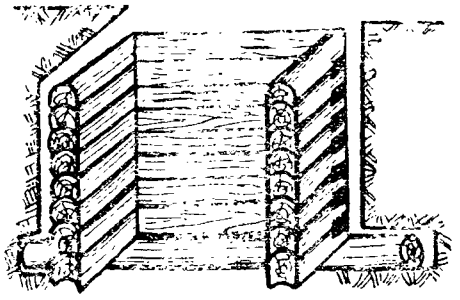


Рис. 47. Устройство „закладов"

обычно заглубляется в водоупор, образуя в нем зумпф.

Проходка шахты в водоносных породах и в особенности в плывунах значительно осложняется и описанными выше способами не может быть выполнена. В этих условиях приходится применять специальные способы проходки с помощью:

а) двойного шатра;

б) шпунтового ящика без забивки шпунта;

в) забивного шпунта;

г) донного ящика.

Двойной шатер (рис. 49) применяется в плывунах, обладающих малой водообильностью, при мощности их 2—3 *м*, с подводкой отдельных звеньев снизу. Состоит он из

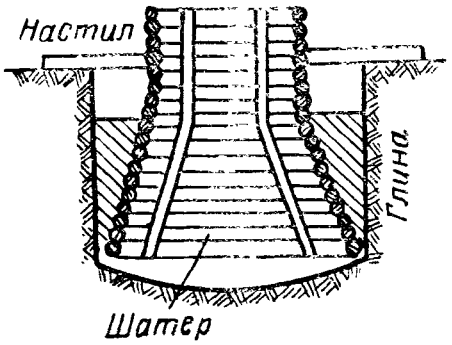


Рис. 48. Шатер

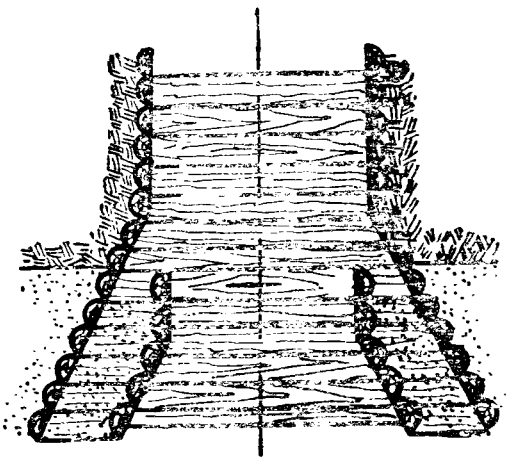


Рис. 49. Двойной шатер

внешнего и внутреннего шатров. Внешний шатер делается квадратной формы размером от 2 × 2 до 3 × 3 *м*, при высоте 2—3 *м*; внутри его устраивается второй шатер меньшего размера, стенки которого на 0,3—0,7 *м* отстоят от внутренних стенок внешнего шатра.

Одновременно с углублением внутреннего шатра производится заполнение вынутым грунтом пространства между стенками внутреннего и внешнего шатров, что уменьшает интенсивность заплывания грунтом внутреннего шатра. Внутренний шатер при углублении осаживается на величину не более 1,4 *м*; при этом верхняя часть сруба должна быть выше поверхности плывуна.

Шпунтовый ящик (без забивки шпунта) может применяться в плывунах с более сильным притоком воды при их мощности, не превышающей 2—3 *м* (рис. 50). Этот ящик выполняется из 5-*см* шпунтованных досок со дном или без дна; нижняя часть ящика снабжается заостренными досками, обитыми листовым железом (см. деталь на рис. 50). По мере углубления ящика в плывун производится наращивание венцов сруба сверху; одновременно

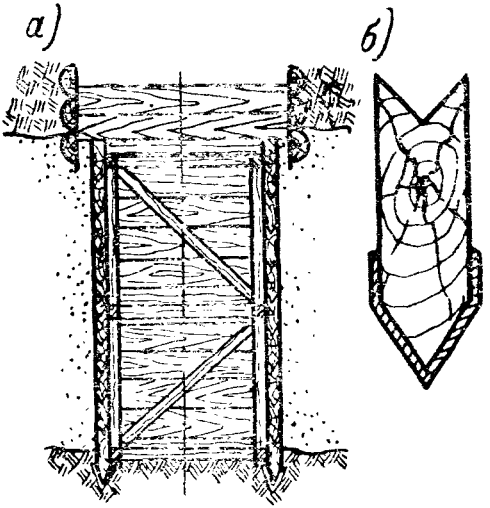


Рис. 50. Шпунтовый ящик:
а — общий вид;
б — деталь режущей грани

ящик опускают на глубину не более 1—1,4 *м*, причем его верхняя грань должна быть всегда выше поверхности плывуна.

Забивной шпунт (рис. 51) применяется при проходке более мощных плывунов (свыше 2—3 *м*). Для забивки шпунта применяются доски толщиной 5 *см* и длиной от 1,4 до 2,8 *м*. В целях плотного прилегания досок шпунтового ряда к стенкам сруба укладываются специальные направляющие рамы, препятствующие прорыву плывунов в шахту; внутри крепи через 0,7—1,0 *м* по высоте устанавливаются распорные рамы. Работа по осаживанию шпунта производится таким образом, чтобы шпунт по всему периметру колодца мог быть одновременно углублен на 20—25 *см*; после чего производится выемка грунта, снова осаживание шпунта, углубление шахты и т. д. При

выемке грунта нельзя допускать обнажения нижних концов шпунтового ряда.

В тех случаях, когда забивным шпунтом необходимо выполнить проходку плывунов значительной мощности, сохранив при этом на всю глубину принятые размеры сечения шахты, следует применять наклонную забивную крепь (рис. 52).

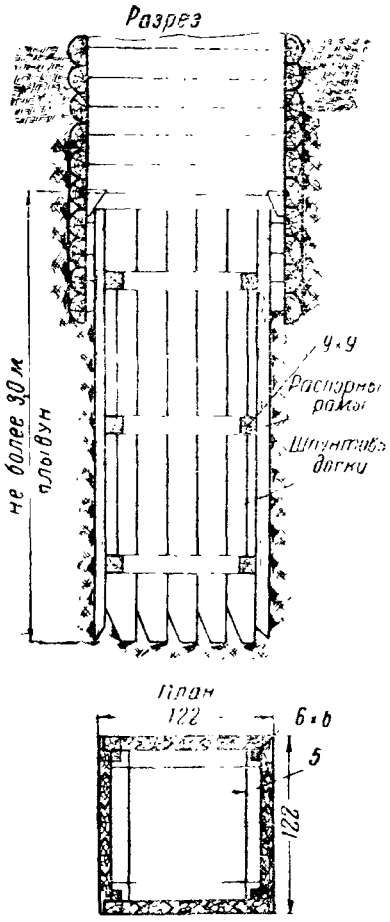


Рис. 51. Вертикальный забивной шпунт

Донный ящик применяют в плывунах, находящихся под большим напором (рис. 53). По достижении плывунов в колодец опускается ящик, имеющий в дне специальное отверстие, закрываемое крышкой. При углублении (вдавливании) ящика в плывун крышка открыта; после наполнения ящика грунтом крышку закрывают, а грунт удаляют (осаживание сруба производится одновременно со вдавливанием ящика). Эта операция повторяется до тех пор, пока сруб не будет опущен на требуемую глубину. В ненапорных водах водоприемную часть колодца углубляют в водоносный слой на 1,5—2,0 *м*, в напорных — на 0,5 *м*. Нижняя часть колодца, исходя из условий проходки водоносных пород и необходимости увеличения его водоприемной поверхности, обычно делается расширенной в виде шатра.

В трещиноватых и крупнообломочных породах, не подвергающихся обрушению, водоприемная часть колодца не укрепляется. В крупно- и среднезернистых не оплывающих песках можно ограничиться устройством простого шатра и даже сруба, снабдив его песчано-гравийным фильтром, а в напорных водах и донной решеткой. В мелкозернистых песках применяют двойной шатер; в этом случае внутренний шатер называют водосборными (рис. 49) и снабжают его также песчано-гравий-

ным фильтром, а иногда и донной решеткой (в напорных водах). В плывунах для устройства водоприемной части применяют ящики из толстых, лучше шпунтованных, досок со дном, в которых для приема воды просверливают дыры и делают фильтрующую пригрузку. В сильно разжиженных плывунах стенки водоприемной части колодца образуют забивкой шпунта, а затем настилают деревянный пол с просверленными в нем отверстиями и пригружают сверху песчано-гравийным фильтром.

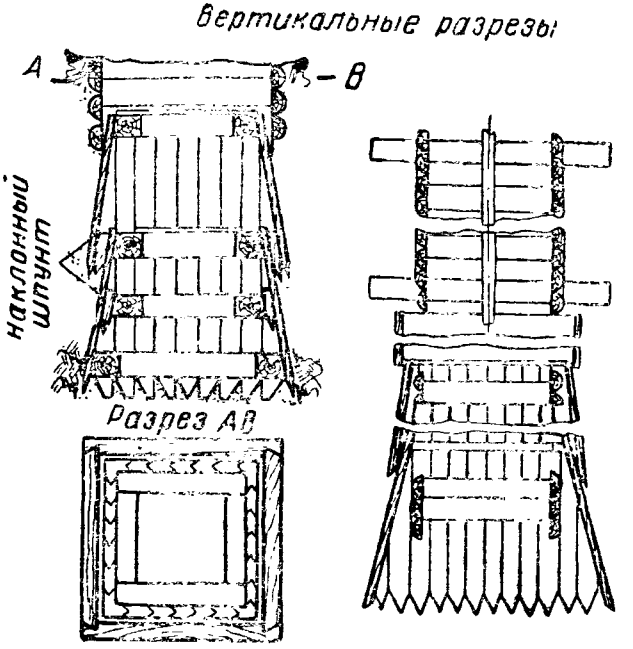


Рис. 52. Наклонная забивная крепь

Как уже указывалось выше, для защиты колодца от промерзания и от попадания в него сверху поверхностных загрязнений, а также для удобства эксплоатации колодца, его оборудуют оголовком. В простейшем случае (при подъеме воды ведрами вручную) оголовок представляет собой сруб меньшего сечения (от 0,7 × 0,7 до 1,00 × 1,00 *м*), выступающий над поверхностью земли на 0,7—0,8 *м*, обшитый тесом и снабженный крышкой. При оборудовании колодца для подъема воды воротом устраивается навес, а при применении ручного насоса — специальная будка.

Вскруг колодца делают глиняный замок и отмостку или асфальтирование площадки с приданием ей уклона в 1/10 (в сторону от колодца).

г) Колодцы из каменной и кирпичной кладки

Колодцы из каменной или кирпичной кладки являются наиболее долговечными водозаборными сооружениями. Вместе с тем они в большей степени удовлетворяют и санитарным требованиям (обеспечивают хорошее качество и приятный вкус воды). Для крепления стенок колодца может быть употреблен:

а) крепкий постелистый или штучный камень, не растворяющийся в воде и не окрашивающий ее (например известняк, железистый и кремнистый песчаник);

б) хорошо обожженный кирпич — обыкновенный или лекальный. Кладка стенок колодца из камня или кирпича производится, как правило, на цементном растворе состава 1 : 3 или 1 : 4. В частях стенок колодцев, не соприкасающихся с водой и устраиваемых не опускным способом, допускается кладка на известковом растворе. Внутренние стенки колодца, а также наружная стенка надземной его части штукатурятся цементом.

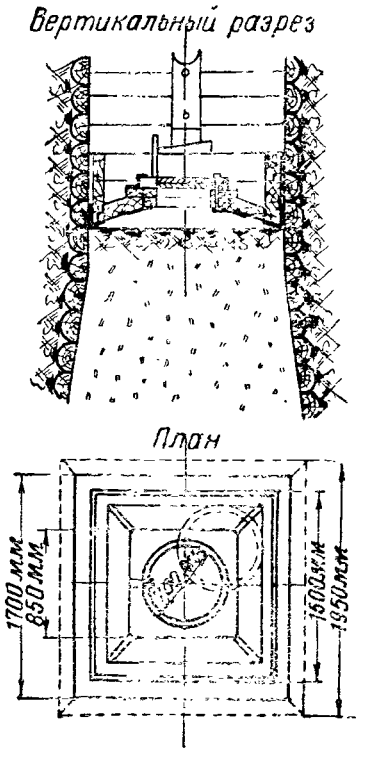


Рис. 53. Донный ящик

Каменным и кирпичным колодцам обычно придается круглая форма при диаметре в свету от 0,75 до 1,5 *м* и более. Неглубокие каменные колодцы (до 5—6 *м*) могут иметь и квадратную форму с размерами в свету от 1,0 × 1,0 до 1,25 — 1,25 *м*. Размеры эти зависят от назначения колодца и ожидаемого дебита.

Толщина стенок в каменных и кирпичных колодцах может быть определена по эмпирической формуле:

$$\delta = 10D + C \text{ см}, \qquad (55)$$

где D — внутренний диаметр круглого колодца (или сторона сечения колодца квадратной формы) в *м*;

C — для каменных колодцев $= 18$ *см* и для кирпичных колодцев $= 10 \div 11$ *см*.

Обычно толщина стенок в каменных колодцах бывает от 25 до 50 *см*. Кирпичные стенки делают не меньше чем в 1 кирпич. Конструкция колодца из каменной кладки показана на рис. 54, из кирпичной кладки — на рис. 55.

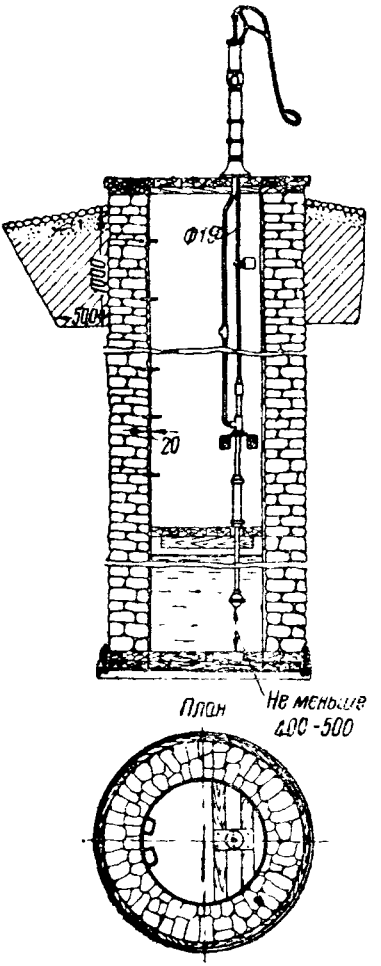


Рис. 54. Каменный колодец

Возведение стенок из каменной и кирпичной кладки может быть выполнено со дна шахты, опускным и комбинированным способом. Возведение кладки со дна шахты возможно лишь в устойчивых грунтах при глубине колодцев, не превышающей 10—12 *м*; в осыпающихся грунтах этот способ также может быть применен, но при условии предварительной постановки временного крепления.

Опускной способ применим при устройстве колодцев и в осыпающихся грунтах; по мере опускания колодца кладка наращивается сверху.

Комбинированный способ представляет комбинацию двух предыдущих способов и применяется при сложном гидрогеологическом разрезе колодца. Так, например, при наличии в верхней части разреза верховодки или плывунных грунтов и в нижней — устойчивых, прочных грунтов, сначала осуществляют проходку несколько увеличенного сечения шахты опускной крепью, а затем, основав верхний участок на прочном грунте, переходят к проходке шахты меньшего сечения и возведению в ней стенки колодца, начиная снизу. При расположении плывунных грунтов внизу проходят шахту по первому способу в пределах прочных грунтов и обосновывают на

ний верхний участок колодца, а затем опускным способом при меньшем сечении шахты проходят нижнюю часть разреза колодца. При устройстве колодцев опускным способом употребляется тренога с полиспастами и лебедкой.

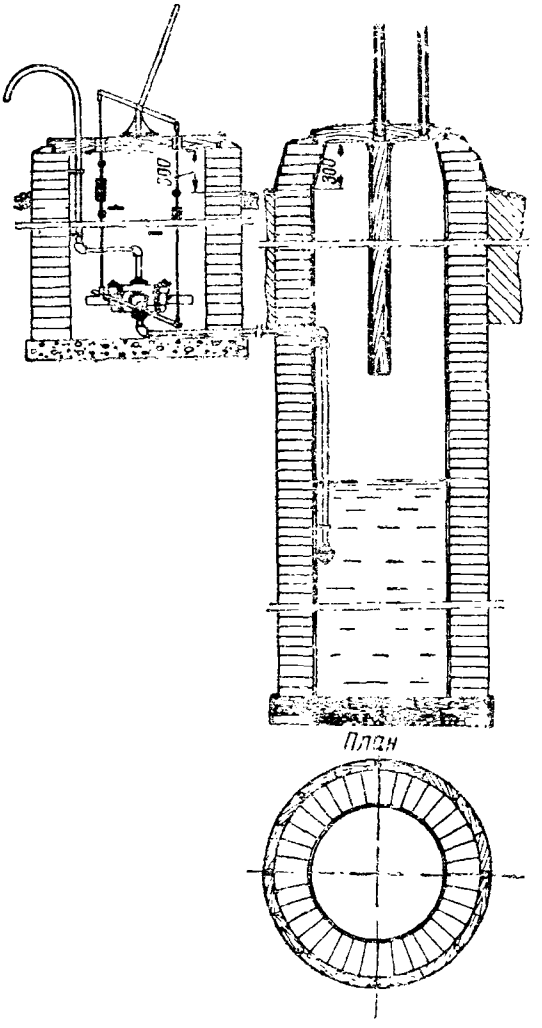


Рис. 55. Кирпичный колодец

Независимо от принятого способа проходки шахты под основание каменной или кирпичной кладки желательно (а при опускном способе обязательно) подложить основную раму, имеющую форму колодца и состоящую из двух-трех рядов досок или брусьев, скрепленных между собой болтами. Для того чтобы возводимая на этой раме кладка могла беспрепятственно и равномерно опускаться, внешний диаметр рамы делается на 5 *см* больше внешнего диаметра колодца, а внутренний ее диаметр на 5 *см* меньше внутреннего диаметра колодца. При проходке колодца в плотных грунтах нижняя грань рамы скашивается и обивается полосовым железом, а иногда снабжается металлическим ножом. В каменных и кирпичных колодцах большого диаметра всю основную раму в некоторых случаях делают из клепаных железных частей.

В целях предупреждения разрыва кладки при опускании колодца в нее закладываются металлические связи (анкеры), соединенные с основной рамой. Анкеры размещаются в средине кладки на расстоянии друг от друга

1,2—1,4 *м*; делаются они обычно из круглого железа $d = 15—25$ *мм*.

При приеме воды через дно водоприемная часть в каменных и кирпичных колодцах устраивается аналогично вышеописанным деревянным колодцам. При приеме воды через стенки: а) в крупнообломочных и трещиноватых породах водоприемные отверстия образуются в результате оставления в кладке пустых, не заполненных цементом швов или же посредством закладки в стенки гончарных или чугунных трубок; б) в песчаных породах в стенках водоприемной части колодца оставляются окна или пустоты, заполненные песчано-гравийным фильтром (рис 56).

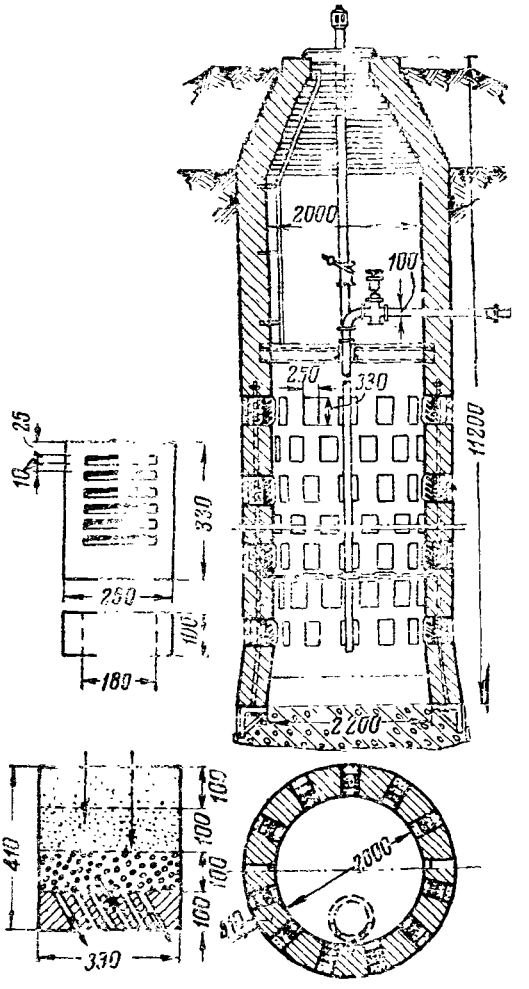


Рис. 56. Водоприемная часть каменного колодца

Оголовок в каменных и кирпичных колодцах часто делается суженным. Суженная (подземная) и надземная части колодцев выполняются из кирпича, бетонных или железобетонных колец.

Если же надземная часть колодца имеет тот же диаметр, что и подземная, то оголовок может быть выполнен в каменных колодцах в виде кладки из более массивных камней, а в кирпичных — из той же кирпичной кладки.

д) Бетонные и железобетонные колодцы

Бетонные и железобетонные колодцы наиболее полно отвечают санитарным условиям и могут быть особо реко-

мендованы для питьевого водоснабжения. Во многих случаях этот конструктивный тип колодца, несмотря на более высокую строительную стоимость по сравнению с деревянными колодцами, может оказаться наиболее выгодным и в технико-экономическом отношении.

Бетонные и железобетонные колодцы бывают трех типов: а) сплошные с набивкой опалубки, установленной в готовой шахте; б) из готовых бетонных или железобетонных колец; в) из готовых бетонных или железобетонных сегментов.

В практике водоснабжения в настоящее время находят применение, главным образом, колодцы, закрепленные железобетонными кольцами. Другие типы железобетонных колодцев почти не применяются. Бетонные колодцы вообще устраиваются весьма редко — в тех случаях, когда необходимо разместить в шахте колодца насосное оборудование или иметь большой запас воды. Они делаются круглыми диаметром в свету не менее 1,25 *м* при толщине стенок не менее 12 *см*.

Широкое применение железобетонных колодцев обусловлено тем обстоятельством, что армирование бетона значительно снижает толщину стенок колодцев и облегчает работу по их устройству. Облегчение веса железобетонных колец по сравнению с бетонными делает их более надежными и прочными при перевозках и позволяет организовать производство их заводским способом вдали от места укладки.

Наиболее распространенный диаметр для бетонных и железобетонных колец — около 1 *м*. Толщина стенок в бетонных кольцах 8—10 *см*, и в железобетонных кольцах — 5—8 *см*, при высоте их 0,8—1,0 *м*.

Примерная толщина стенок в бетонных и железобетонных колодцах может быть определена по эмпирической формуле:

$$\delta = aD + C \text{ см}, \tag{56}$$

где a — коэфициент, который рекомендуется принимать для бетона 8 и для железобетона 4;

D — диаметр колодца в свету в *м*;

C — для бетона 10 *см*, для железобетона — от 5 до 10 *см*.

При сплошных стенках бетонного колодца в бетон необходимо заложить металлические анкеры, разместив их по окружности через 0,5—1,0 *м*.

Устройство набивных бетонных колодцев производится в готовой шахте, пройденной с временным креплением или без крепления, в зависимости от степени устойчивости ее стенок.

Проходка и установка железобетонных колец могут быть осуществлены:

а) в устойчивых грунтах при небольшой глубине колодцев, в готовой шахте;

б) в неустойчивых грунтах — опускным способом. При этом способе опускаемая колонна железобетонных колец наращивается сверху с одновременной подрывкой грунта из-под опускного ножа, или же железобетонные кольца устанавливаются в готовой шахте, раскрепленной временным креплением. В последнем случае на дне шахты устанавливают основную деревянную раму, а на ней по уровню первое кольцо. После этого производится постепенное наращивание железобетонных колец и раскрепление ими стенок шахты, с выемкой временного крепления и плотной засыпкой грунтом освобождающегося при этом пространства. Железобетонные кольца опускаются на канате с помощью треноги с прикрепленным к ней полиспастом и лебедки.

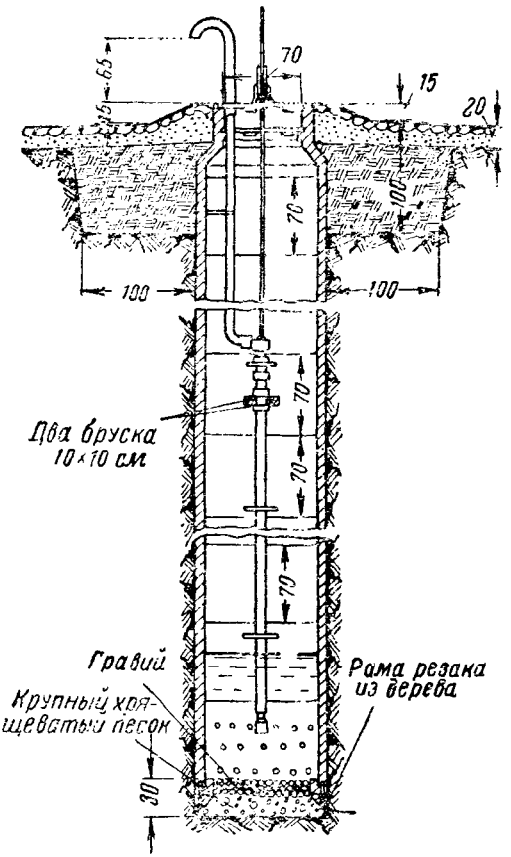


Рис. 57. Опускной железобетонный колодец

Конструкция опускного железобетонного колодца показана на рис. 57. Для предупреждения сдвига отдельных колец в горизонтальном направлении при присоединении их впритык на каждом шве не меньше чем в трех местах укладываются пластинки из полосового железа шириной 50—80 *мм*.

При приеме воды через дно водоприемная часть в бетонных и железобетонных колодцах оборудуется песчано-гравийным фильтром с укладкой железобетонной опорной рамы (в напорных условиях). При приеме воды через стенки в кольцах, которые будут установлены в пределах водоносной толщи, во время бетонирования оставляют (путем заделки деревянных пробок) водоприемные отверстия.

Бетонные и железобетонные колодцы, так же как и другие типы колодцев, имеют надземную часть (оголовок), возвышающийся над землей.

2. Расчет дебита шахтных колодцев

а) Основные расчетные схемы

Дебит шахтных колодцев зависит от гидрогеологических условий участка и конструкции колодца. Выбор расчетной формулы зависит от следующих условий:

1) способа поступления воды в колодец: а) через дно, б) через дно и стенки совместно;

2) характера водопроницаемости пород, слагающих водоносный пласт: а) проницаемые по порам (песок, гравий и т. п.) и по мелким трещинам, б) проницаемые по крупным трещинам (например крупные карстовые полости).

3) гидравлической характеристики водоносного горизонта: а) напорные и б) ненапорные воды;

4) мощности водоносного пласта: при большой мощности водоносного пласта положение водоупорного ложа практически не оказывает влияния на дебит колодца, при небольшой мощности это влияние значительно;

5) формы дна колодца: а) полусферическое, б) плоское;

6) формы поперечного сечения колодца: а) круглое, б) квадратное.

В приводимых ниже формулах дебита колодца принято, что колодец имеет круглое сечение. Если расчет требуется произвести для колодца квадратного сечения, то в формулах следует заменять величину радиуса колодца r величиной стороны сечения колодца a, принимая $r = 0{,}6a$ [1].

---

[1] Радиус круга, равновеликого по площади квадрату, выражается $r = \frac{a}{\sqrt{\pi}} = 0{,}565\ a$.

По мнению В. И. Аравина, исследовавшего вопрос о притоке воды к котлованам различной формы, основанным на водоупоре, для квадратного сечения

$$r = 0{,}61\ a,$$

Приток воды через плоское дно колодца несколько меньше чем через дно полусферической формы. По Форхгеймеру, это соотношение составляет: $\frac{4}{2\pi}$. В связи с этим, в целях обобщения расчетных формул, в них включен коэфициент формы дна колодца α; для полусферического дна $\alpha = 2\pi$, для плоского дна $\alpha = 4$.

б) Дебит колодцев с питанием через дно

1) Колодцы в пористых и мелкотрещиноватых породах. При большой мощности водоносного пласта (более 15—20 *м*) положение водоупорного ложа

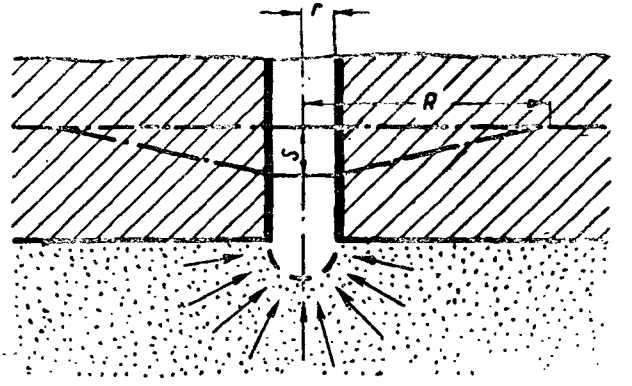


Рис. 58. Схема притока воды к шахтному колодцу, работающему дном, при большой мощности водоносного пласта

практически не оказывает влияния на приток воды к колодцу; дебит последнего в этих условиях определяется по формуле Форхгеймера (57):

$$Q = \frac{\alpha k s r}{1 - \frac{r}{R}}, \qquad (57)$$

где (рис. 58) k — коэфициент фильтрации грунта;
s — понижение уровня воды при откачке;
r — радиус колодца;
R — радиус депрессии.

Поскольку дробь $\frac{r}{R}$ весьма незначительна, ею можно без ощутимой погрешности пренебречь, тогда

$$Q = \alpha k s r. \qquad (58)$$

Формулы (57), (58) даны для условий, когда подземные воды обладают напором. В том случае, если воды не напорные, поступление воды в колодцы несколько возрастает вследствие некоторого увеличения площади поперечного сечения потока сверх площади полусферы. Однако, как справедливо указывает проф. Г. Н. Каменский (20), это увеличение при небольшом погружении колодца в водоносный пласт настолько незначительно, что погрешность при пользовании формулой (58) для ненапорных вод практически несущественна.

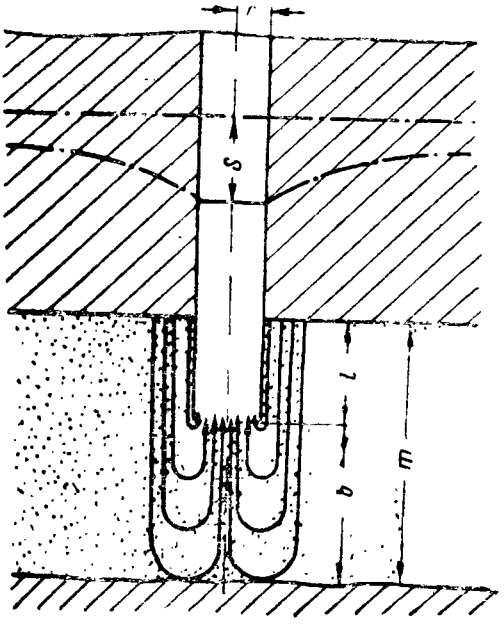


Рис. 59. Схема притока воды к колодцу по Тевене

При небольшой мощности водоносного пласта определение притока воды в колодец обычно производится по формуле Тевене:

$$Q = \pi krs \ln\left(\frac{2b}{l} + 1\right), \quad (59)$$

где b — расстояние от дна колодца до водоупора;

l — глубина колодца в пределах водоносного пласта.

Формула Тевене выведена на основе весьма условных, а в некоторой части чрезвычайно сомнительных предпосылок. Так, при выводе формулы принято, что а) частица воды, прежде чем попасть в колодец, совершает путь сперва вниз, а затем вверх (рис. 59), причем это движение охватывает водоносный пласт вплоть до водоупора; б) уровень воды непосредственно за стенками колодца при откачке воды из колодца не понижается, что для ненапорных вод не отвечает действительности. Подобная схема притока воды в колодец совершенно игнорирует горизонтальное движение воды по пласту от периферии воронки депрессии к колодцу. Следует отметить также, что при $l < 0{,}31\,b$ расчет по формуле (59) дает большее значение дебита, чем по формуле (58), что противоречит физиче-

скому смыслу явления — дебит колодца при конечной глубине залегания водоупорного пласта не может быть больше, чем при залегании его в бесконечности.

По перечисленным выше соображениям применение формулы Тевене на практике следует ограничить условиями, когда колодец значительно углублен в водоносный пласт, что является, вообще говоря, довольно редким на практике случаем, особенно для напорных вод, так как по условиям производства работ, заглубление колодца в водоносный пласт обычно не превосходит 2—3 *м*.

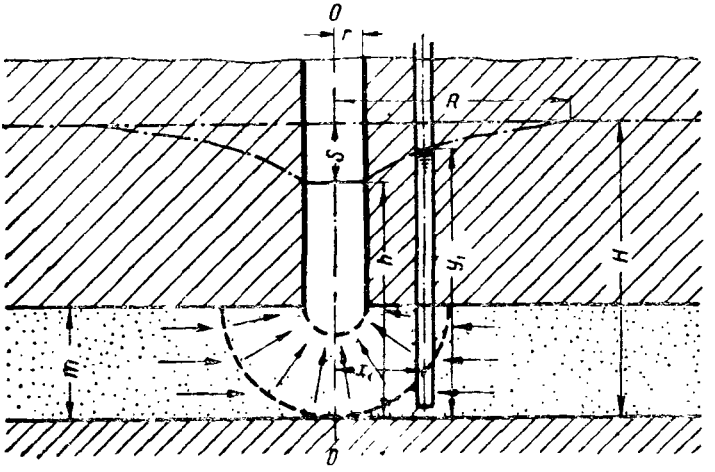


Рис. 60. Схема притока воды к шахтному колодцу, работающему дном при небольшой мощности водоносного пласта

При небольшой мощности водоносного пласта явление притока воды к колодцу необходимо рассматривать совместно с движением воды по водоносному пласту в направлении к колодцу, так как при этом движении происходит некоторая потеря напора. В этих условиях дебит колодца меньше, чем подсчитанный по формуле (58), которая выведена из предпосылки, что водоупорное ложе залегает в «бесконечности».

Применительно к условиям напорных вод можно, несколько схематизируя явление, выделить две зоны движения фильтрационного потока (рис. 60): периферическую, где в вертикальном разрезе линии токов параллельны, и центральную, где их в первом приближении можно считать радиальными. Границей между этими зонами является по-

верхность полусферы, имеющей радиус, равный мощности водоносного пласта m.

Дебит потока в пределах центральной зоны выражается формулой Форхгеймера:

$$Q = \frac{\alpha k (y_1 - h) r}{1 - \frac{r}{m}}, \tag{60}$$

где y_1 — пьезометрический уровень воды у поверхности полусферы, имеющей радиус m;

h — пьезометрический уровень воды в скважине при откачке.

Дебит потока в периферической части выражается формулой Дюпюи для напорных вод:

$$Q = \frac{2\pi k m (H - y_1)}{\ln \left(\frac{R}{x_1}\right)}, \tag{61}$$

где H — пьезометрический уровень подземных вод до откачки (статический уровень);

R — радиус депрессии;

x_1 — расстояние от осевой линии $O—O$, которому соответствует пьезометрический уровень y_1.

Из рис. 60 ясно, что величина x является переменной и изменяется от m на границе с водоупорной кровлей до нуля на границе с водоупорным ложем. Среднее значение величины x_1 можно определить следующим образом. Средняя площадь кругового сечения полусферы (рис. 60) выражается:

$$F_{ср} = \frac{\pi}{m} \int_0^m (m^2 - x^2)\, dx = \frac{2}{3} \pi m^2. \tag{62}$$

Радиус этого кругового сечения и является искомой величиной x_1:

$$x_1 = \sqrt{\frac{F_{ср}}{\pi}}. \tag{63}$$

Подставляя в (63) значение F по формуле (62), имеем:

$$x_1 = \sqrt{\frac{2}{3}}\, m. \tag{64}$$

По условию неразрывности потока фильтрационные расходы в периферической и центральной зонах равны. Из формул (60), (61) и (64) имеем:

$$\frac{\alpha (y_1 - h) r}{1 - \frac{r}{m}} = \frac{2\pi m (H - y_1)}{\ln\left(\sqrt{\frac{3}{2}}\,\frac{R}{m}\right)}. \tag{65}$$

Решая уравнение (65) относительно y_1, получим выражение последнего:

$$y_1 = H - \frac{\alpha s \ln\left(\sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{R}{m}\right)}{2\pi\left(\frac{m}{r} - 1\right) + \alpha \ln\left(\sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{R}{m}\right)}, \tag{66}$$

где s — понижение уровня воды в колодце при откачке, равное $s = H - h$.

Подставляя найденное выражение y_1 в формулу (61), и используя формулу (64) имеем:

$$Q = \frac{2\pi\alpha k m s}{2\pi\left(\frac{m}{r} - 1\right) + \alpha \ln\left(\sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{R}{m}\right)}. \tag{67}$$

Для колодца с полусферическим дном это выражение упрощается ($\alpha = 2\pi$):

$$Q = \frac{2\pi k m s r}{m + r\left[\ln\left(\sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{R}{m}\right) - 1\right]}. \tag{68}$$

Выражение в квадратных скобках имеет положительный знак, так как радиус депрессии обычно во много раз превышает мощность водоносного пласта в рассматриваемом случае.

Напишем отношение притоков воды к колодцу с полусферическим дном, выражаемых формулой (68), — водоупор на конечной глубине (Q_1) и формулой (58) — водоупор «в бесконечности» (Q_2):

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{m}{m + r\left[\ln\left(\sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{R}{m}\right) - 1\right]}.$$

В табл. 17 вычислены значения $\frac{Q_1}{Q_2}$ для радиуса колодца $r = 0{,}5$ *м* (обычный размер колодцев) и радиусов депрессии $R = 50$ и 300 *м* (обычные пределы изменений R

при эксплоатации шахтных колодцев). Таблица наглядно показывает влияние мощности водоносного пласта на дебит колодца.

Если мощность водоносного пласта свыше 15—20 *м*, то ее влияние становится настолько незначительным, что без

Таблица 17

Мощность водоносного пласта в *м*	$Q_1 : Q_2$	
	при $R = 50$ м	при $R = 300$ м
3	0,782	0,612
5	0,850	0,750
10	0,952	0,884
20	0,987	0,955

особой погрешности можно пользоваться для расчетов дебита формулой (58).

Дебит колодца в ненапорных водах приближенно может быть определен по формулам (58) и (68). Минимальное значение дебита получим, если примем, что поступление воды в колодец происходит только из зоны грунтовых вод ниже его дна.

В этом случае в формулах величиной m следует считать расстояние от дна колодца до водоупора.

Выражение максимального дебита можно получить, если допустить, что зона питания ограничивается горизонтальной плоскостью, проведенной через динамический уровень воды в колодце; в этом случае в формулы, вместо величины m следует подставить величину $(m - s)$.

2) Колодцы в крупнотрещиноватых породах. Если мощность водоносного пласта значительна, то формулу дебита колодца можно вывести следующим образом (рис. 61). Принимая, по Форхгеймеру, что поверхности равного напора являются полусферами (дно колодца также имеет формулу полушария), можно написать уравнение дебита колодца:

$$Q = 2\pi k x^2 \sqrt{\frac{dy}{dx}} . \qquad (69)$$

Градиент $\frac{dy}{dx}$ помещен под знак радикала, так как предполагается, что движение турбулентно.

Возведя обе части уравнения в квадрат и разделив переменные, имеем:

$$\int_h^H dy = \left(\frac{Q}{2\pi k}\right)^2 \int_r^R \frac{dx}{x^4}. \qquad (70)$$

Отсюда, учитывая, что $H - h = s$, получим:

$$Q = 2\pi kr \sqrt{\frac{3s}{1 - \left(\frac{r}{R}\right)^3}}. \qquad (71)$$

В общем виде для колодцев с полусферическим и плоским дном, после некоторых упрощений [величиной $\left(\frac{r}{R}\right)^3$

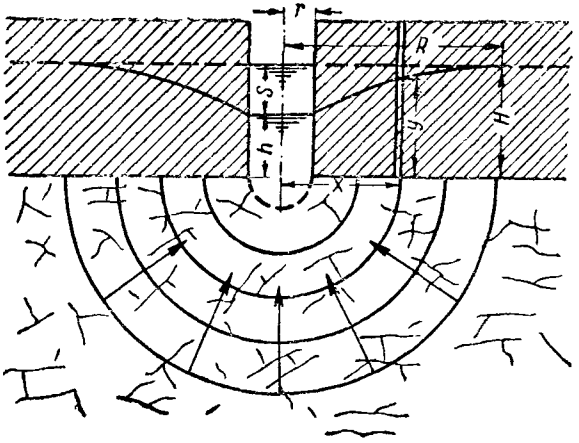


Рис. 61. Схема притока воды к шахтному колодцу, работающему дном, в трещиноватых породах

можно пренебречь, как чрезвычайно малой] формула (71) получит следующую транскрипцию:

$$Q = 1{,}73\pi kr\sqrt{sr}. \qquad (72)$$

Представляет интерес сопоставить формулу (72) с формулой Форхгеймера (58), выведенной для колодцев, заложенных в песках. Влияние размеров поперечного сечения колодца на его дебит больше в крупно-трещиноватых породах (дебит пропорционален $r^{1,5}$), чем в песчаных породах (дебит пропорционален r). Влияние понижения уровня воды

при откачке противоположное — в крупно-трещиноватых породах дебит пропорционален $\sqrt{s}$, тогда как в зернистых породах он пропорционален понижению.

Формула (72) может применяться также при безнапорных водах, однако в этом случае величина дебита окажется несколько заниженной.

Если мощность водоносного пласта незначительна, то в условиях напорных вод движение фильтрационного потока совершается по схеме, изображенной на рис. 60. Для центральной части потока из (69) при интегрировании x от m до r и y от y_1 до h имеем:

$$Q = \alpha k \sqrt{\frac{3(y_1 - h)}{\frac{1}{r^3} - \frac{1}{m^3}}}. \qquad (73)$$

Для периферической части потока по формуле Краснопольского

$$Q = 2\pi k m \sqrt{\frac{H - y_1}{\frac{1}{x_1} - \frac{1}{R}}}. \qquad (74)$$

Из формул (73) и (74), заменяя $h = H - s$, имеем следующее выражение y_1:

$$y_1 = H - \frac{3s\left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{R}\right)}{\left(\frac{2\pi m}{\alpha}\right)^2\left(\frac{1}{r^3} - \frac{1}{m^3}\right) + \frac{1}{x_1} - \frac{1}{R}}. \qquad (75)$$

Подставляя это значение y_1 в формулу (74) и заменяя $x_1 = \sqrt{\frac{2}{3}}\, m$ [см. формулу (64)], имеем:

$$Q = 2\pi k m \sqrt{\frac{s}{\frac{1}{3}\left(\frac{2\pi m}{\alpha}\right)^2\left(\frac{1}{r^3} - \frac{1}{m^3}\right) + \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{1}{m} - \frac{1}{R}}}. \qquad (76)$$

Учитывая, что величина $\frac{1}{R}$ очень мала, при $m \to \infty$ для колодца с полусферическим дном из формулы (76) получаем формулу (72), которая является, таким образом, частным случаем формулы (76) при глубоком залегании водоупора.

Определение дебита в условиях ненапорных вод возможно в некоторых пределах. Минимальное значение дебита получим, если в формулу (76) вместо величины

m подставим величину глубины залегания водоупора от дна колодца, максимальное — если m заменим $(m - s)$.

в) Дебит колодцев, получающих питание через дно и стенки

Колодцы с проницаемым дном и стенками устраиваются в ненапорных водах.

Дебит колодца в этих условиях равен сумме притоков через дно и проницаемые стенки колодца. Поверхностью раздела между этими фильтрационными потоками можно

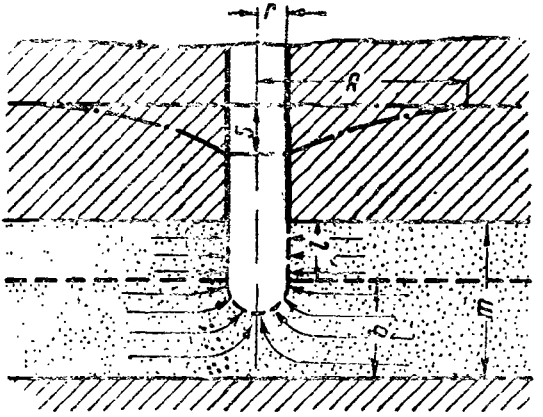


Рис. 62. Схема притока воды к шахтному колодцу, работающему дном и стенками, в условиях напорных вод

считать горизонтальную плоскость, проходящую через основание стенок колодца (рис. 62 и 63).

Величина притока воды через дно колодца, в зависимости от состава водоносного пласта и глубины залегания водоупорного пласта от дна колодца, рассчитывается по формулам в соответствии с указаниями табл. 18.

Таблица 18

Характер пород	Глубина залегания водоупора от дна колодца	
	более 15—20 *м*	менее 15—20 *м*
Пористые породы	(58)	(67)
Крупнотрещиноватые породы	(72)	(76)

В формулах (67) и (76) вместо величины m следует подставлять величину b — расстояние от дна колодца до водоупора (рис. 62 и 63).

Поступление воды через стенки колодца вполне аналогичны притоку воды в буровые скважины, оборудованные фильтрами, поэтому для определения величины этого притока можно пользоваться соответствующими формулами Дюпюи (20), (21) для пористых пород и Краснопольского (22), (23) для крупнотрещиноватых пород, заменяя величину m, входящую в эти формулы, глубиной колодца в пределах водоносного пласта l.

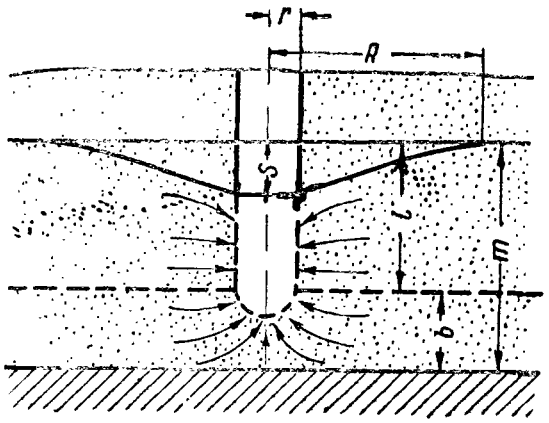


Рис. 63. Схема притока воды к шахтному колодцу, работающему дном и стенками, в условиях ненапорных вод

Для случая, когда колодец круглого сечения заложен в пористых породах и водоупор залегает на небольшой глубине, Форхгеймером рекомендуется следующая формула:

$$Q = \frac{\pi k s (2m - s)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \sqrt{\frac{l - s + 0{,}5r}{m - s}} \sqrt[4]{2 - \frac{l - s}{m - s}}. \qquad (77)$$

Произведенные сравнительные расчеты показывают, что значения дебита колодца по эмпирической формуле Форхгеймера (77) в общем близки к получаемым по способу, изложенному выше (суммирование притоков через дно и стенки колодца), хотя в отдельных случаях наблюдаются довольно значительные уклонения (до 50—100%).

Глава IX

БЕСФИЛЬТРОВЫЕ СКВАЖИНЫ В ВОДОНОСНЫХ ПЕСКАХ

1. Общие замечания

При производстве ремонта скважин и извлечении фильтров для чистки в ряде случаев оказывалось, что дебит скважин, заложенных в песчаных водоносных пластах, после удаления фильтров резко увеличивался. Так, например, дебит одной из скважин в Полтаве, оборудованной фильтром, в 1935 г. был равен 2 *м*³/*час* при понижении уровня воды 40 *м*, а после удаления фильтра увеличился до 50 *м*³/*час* при понижении уровня 12 *м*. При обследовании этой скважины в 1941 г. дебит ее был 52 *м*³/*час* при понижении 9 *м*. Дебит скважины № 3 в г. Пензе при наличии фильтра был равен 14 *м*³/*час*. а после извлечения фильтра — 51 *м*³/*час*. Бесфильтровая скважина в Курске за 23 года эксплоатации свой удельный дебит не только не уменьшила, но увеличила с 3,07 до 3,41 *л*/*сек*, в то время как другие скважины, оборудованные фильтрами, через 15—20 лет перестали давать воду.

В табл. 19 приведены данные о дебите бесфильтровых скважин: таблица показывает, что дебит скважин значителен даже в тех случаях, когда водоносный горизонт представлен мелкозернистыми песками.[1]

Помимо значительного дебита, даже в мелкозернистых песках, где эксплоатация фильтровых скважин сопряжена со значительными трудностями, к преимуществам бесфильтровых скважин следует также отнести меньшую глубину бурения по сравнению с фильтровыми (водоносный горизонт только вскрывается, но не проходится), а также отсутствие необходимости в расходовании дефицитной фильтровой сетки.

Бесфильтровая скважина, заложенная в водоносном пласте, представленном песком, отличается от фильтровой скважины тем, что в пределах водоносного пласта разрабатывается полость-каверна, которая, как показали лабораторные опыты, имеет форму конуса с вершиной, обращенной вниз. При эксплоатации скважины вода по-

[1] Сводка данных по этим скважинам произведена в Институте Водгео в 1941 г. инж. А. М. Чалищевым.

Таблица 19

Местонахождение скважин	Характеристика водоносного горизонта	Диаметр скважины в *мм*	Дебит в *л/сек*	Понижение уровня при откачке в *м*	Удельный дебит в *л/сек*
Курск	Песчано-гравелистая толща (юра) . . .	112	—	—	3,4
Киев	То же	200	32	3,5	9,1
Барвенково	Мелкозернистый песок (юра)	150	2,5	3,6	0,7
Полтава	Мелкозернистый глинистый песок (сеноман)	200	14,4	9,0	1,6
Мерефа	Мелкозернистый глинистый песок (бучакский ярус)	200	3,0	4,2	0,
Белики Полтавской обл.	Мелкозернистый песок (бучакский ярус)	200	3,0	самоизлив	—
Пенза скв. № 2	То же	200	14,0	»	—
» » № 3	Мелкозернистые пески с прослоями песчаников (нижний альб); преобладают фракции 0,05 — 0,25 *мм*	150	12,2	4,0	3,0
» » № 1		250	14,0	—	—
» » Терновская		250	27,0	нет сведен.	—
» » № 57—9		250	11,0	7	1,6
г. Могилев скв. № 1	Мелкозернистый глинистый песок . . .	300	28,4	6	4,7
» » № 2	То же	250	19,4	7,7	2,5
» » № 3	»	250	32,5	14	2,3
Б. Токмак	Крупнозернистый песок	200	8,0	13,5	0,6
Ашхабад	Песок с гравием	350	8,0	2	4,0

ступает через откосы каверны, которая является, таким образом, подземным водоприемником ,заменяющим фильтр скважины.

Устройство бесфильтровых скважин возможно при наличии:

1) прочной водоупорной кровли (плотные глины, мергель, мел, песчаник и т. п.) над водоносным горизонтом, обеспечивающей возможность образования и сохранность каверны;

2) напора подземных вод.

При проектировании и устройстве бесфильтровых скважин необходимо тщательно учитывать особенности гидрогеологических условий участка и свойств горных пород, поэтому производство указанных работ должно протекать под непосредственным руководством инженера-гидрогеолога.

2. Производство работ

Производство работ по устройству бесфильтровой скважины распадается на следующие этапы:

1) бурение и обсадка скважины до водоносного пласта;

2) разработка водоприемной каверны;

3) откачка скважины.

Водоприемную каверну рекомендуется разрабатывать способом обратной промывки. Для этого, в колонну обсадных труб опускается колонна пустотелых буровых штанг. В кольцевой зазор между обсадными трубами и штангами нагнетается вода, которая размывает песок в забое и поднимается в штангах на поверхность вместе со взвешенными зернами песка. В процессе разработки каверны обсадные трубы и штанги должны быть несколько (на 25—50 *см*) задавлены в песок, поэтому по мере углубления каверны необходимо производить соответствующее опускание труб и штанг.

Когда каверна разработана на требуемую глубину, определяемую расчетами, штанги извлекаются, а обсадные трубы поднимаются, при этом фрезер труб устанавливается на 0,25—0,50 *м* ниже подошвы водоупорного пласта, после чего из скважины производится пробная откачка воды в целях уточнения величины дебита скважины и выполаживания откосов каверны для обеспечения их устойчивости при эксплоатации скважины.

Пробная откачка должна производиться с постепенным и плавным увеличением понижения уровня воды в скважине, с доведением этого понижения до величины, установленной расчетами. Продолжительность пробной откачки при стабильном понижении равна 1—2 суток.

3. Расчет дебита бесфильтровых скважин

Расчет дебита бесфильтровых скважин является основным и в то же время наиболее сложным вопросом проектирования этих скважин, так как он теснейшим образом связан с расчетом устойчивости водоприемной каверны. Увеличение размеров водоприемной каверны увеличивает дебит скважины, но, с другой стороны, ухудшает условия устойчивости водоупорной кровли над каверной. Дебит бесфильтровой скважины, как и фильтровой, возрастает по мере увеличения понижения уровня воды в скважине при откачке, но это же обстоятельство может привести к заплыванию водоприемной каверны. Таким образом вопрос о дебите бесфильтровой скважины должен рассматриваться комплексно с вопросом устойчивости водоприемной каверны.

Вопрос о дебите бесфильтровых скважин рассмотрен проф. В. С. Оводовым (35), который предложил метод расчета дебита скважины. Этот метод не отвечает однако на некоторые основные вопросы проектирования бесфильтровых скважин, а именно:

1) не учитывает зависимости дебита скважины от понижения уровня воды при откачке (между тем произвольное назначение понижения недопустимо, так как, с одной стороны, это может не обеспечить получения требуемого дебита, с другой, — может привести к заплыванию водоприемной каверны);

2) не ограничивает проектирования в назначении глубины водоприемной каверны, между тем разработка каверны на глубину, превышающую некоторую допустимую величину, может повлечь обрушение водоупорной кровли и заполнение ею каверны;

3) не учитывает геотехнических свойств пород водоупорного пласта, определяющих условия устойчивости кровли водоприемной каверны.

Предлагаемая ниже методика расчета дебита бесфильтровых скважин рассматривает явление притока воды к такой скважине комплексно с условиями устойчивости водоприемной каверны.

а) Приток воды к водоприемной каверне

Явление притока воды к водоприемной каверне имеет чрезвычайно сложный характер.

Можно предполагать, что при весьма большой мощности водоносного пласта линии токов имеют вид гипербол, пересекающих под прямыми углами эллиптические эквипотенциальные поверхности. Если мощность водоносного пласта незначительна, то гидродинамическая сетка движения усложняется влиянием водоупорного ложа на линии токов. Наконец при подходе к каверне, линии токов должны изгибаться, принимая направление, перпендику-

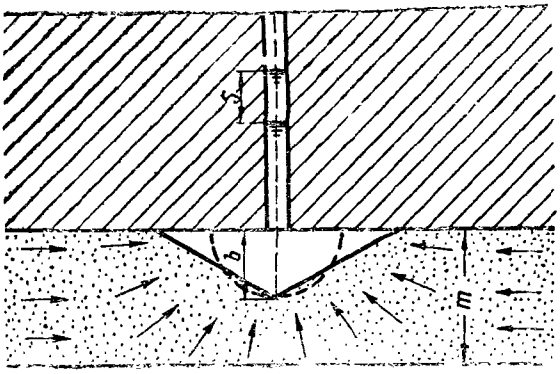


Рис. 64. Схема притока воды к водоприемной каверне

лярное к поверхности каверны. Для приведения этой сложной сетки движения к «расчетному» виду необходимо ее упростить и схематизировать. В качестве такого упрощения можно предложить рассматривать явление притока к водоприемной каверне как к шахтному колодцу, имеющему полусферическое дно радиусом, равным глубине каверны (рис. 64). Это допущение несколько преуменьшает площадь поверхности каверны, что дает некоторый запас при расчете дебита бесфильтровых скважин, гарантируя от завышения последнего.

Заменив в формуле (68) величину радиуса колодца r величиной глубины каверны b, получим следующую формулу для расчета дебита бесфильтровых скважин:

$$Q = \frac{2\pi k s m}{\frac{m}{b} + \ln\left(\sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{R}{m}\right) - 1}, \qquad (78)$$

где k — коэфициент фильтрации водоносного пласта;

s — понижение уровня воды в скважине при откачке;

m — мощность водоносного пласта;

R — радиус воронки депрессии.

Произведенные в Институте Водгео лабораторные работы в экспериментальном лотке показали, что формула (78) имеет удовлетворительную для практических целей точность (расхождения вычисленных и наблюденных расходов не превосходили 20—25%).

б) Условия устойчивости водоприемной каверны

Как показывает формула (78), дебит скважины увеличивается по мере увеличения глубины водоприемной каверны b и понижения уровня воды в скважине при откачке s. Выбор проектных значений величин b и s не

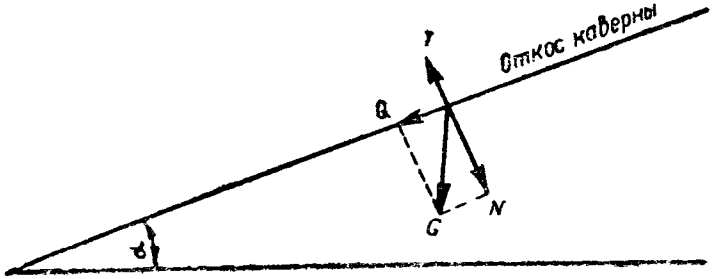


Рис. 65. Схема условий устойчивости откоса водоприемной каверны

может быть, однако, произвольным, а должен соответствовать условиям устойчивости откосов каверны и устойчивости водоупорной кровли над каверной.

Условия устойчивости откосов водоприемной каверны определяются взаимодействием сил трения и гидродинамического давления.

Рассмотрим условия устойчивости частицы грунта на откосе каверны, составляющем с горизонтом угол α (рис. 65). Вес частицы G можно разложить на две силы: касательную к откосу силу Q и нормальную к откосу силу N.

Из механики грунтов известно, что в песках откос устойчив, если

$$Q \leqslant N \operatorname{tg} \varphi, \qquad (79)$$

где φ — угол внутреннего трения песка.

При фильтрации воды через откос в каверну частицы грунта испытывают гидродинамическое давление T, направленное перпендикулярно к откосу в сторону, противоположную силе N. Следовательно, в этих условиях устойчивость откоса имеет место, если

$$Q \leqslant (N - T) \operatorname{tg} \varphi, \tag{80}$$

Из рис. 65 ясно, что $Q = N \operatorname{tg} \alpha$; $N = G \cos \alpha$; сделав эти подстановки и произведя соответствующие преобразования, получим формулу (80) в следующем виде:

$$\frac{T}{G} \leqslant \cos \alpha \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \varphi}\right). \tag{81}$$

Угол α находится в пределах:

$$0 \leqslant \alpha \leqslant \varphi.$$

При $\alpha = 0$, что отвечает горизонтальной поверхности, $T = G$, т. е. гидродинамическое давление, обусловливающее подвижку грунта, равно весу грунта; таким образом в этом частном случае формула (81) идентична известной формуле Терцаги (выдавливание грунта под влиянием гидродинамического давления). При $\alpha = \varphi$, $T = 0$, т. е. если откос каверны отвечает углу внутреннего трения песка (или, что то же, углу естественного откоса песка), любое гидродинамическое давление, обусловленное фильтрацией в каверну, вызовет оплывание откоса каверны.

Вес единицы объема грунта под водой выражается:

$$G = (\gamma - 1)(1 - p) \ г/см^3, \tag{82}$$

где γ — удельный вес частиц грунта;

p — пористость грунта.

При обычных значениях удельного веса и пористости песков величина G близка к единице. Величина гидродинамического давления, как известно, численно равна гидравлическому градиенту фильтрационного потока. Таким образом критический градиент потока, разрушающий откос, имеет выражение:

$$i_{кр} = \cos \alpha \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \varphi}\right). \tag{83}$$

Гидравлический градиент по закону Дарси выражается:

$$i = \frac{Q}{Fk}, \tag{84}$$

где F — площадь поперечного сечения потока, которая применительно к рассматриваемому случаю, равна боковой поверхности каверны (конуса):

$$F = \frac{\pi b^2}{\operatorname{tg}\alpha \sin\alpha}. \tag{85}$$

На основании уравнений (83)—(85), критический (максимально допустимый) дебит выразится:

$$Q_{кр} = \frac{\pi k b^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha}\left(1 - \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\varphi}\right). \tag{86}$$

Приравнивая дебит бесфильтровой скважины по формуле (78) и допустимый дебит по формуле (86), имеем допустимое понижение уровня воды в скважине при откачке:

$$s = \frac{b^2\left[\frac{m}{b} + \ln\left(\sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{R}{m}\right) - 1\right]\left(1 - \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\varphi}\right)}{2\, m \operatorname{tg}^2 \alpha}. \tag{87}$$

Как показали лабораторные опыты, при разработке каверны последняя приобретает вид правильного конуса с углом откоса, равным углу естественного откоса песка φ. При эксплоатации скважины происходит уполаживание откосов каверны, сохраняющей при этом прежний объем (выноса песка не происходит). Поэтому, для того чтобы каверна в процессе эксплоатации скважины имела глубину, удовлетворяющую проектному дебиту скважины, необходимо, чтобы она была разработана на несколько бо́льшую глубину. Если обозначить глубину разработки каверны b_1 при угле естественного откоса грунта φ и проектную (эксплоатационную) глубину каверны b при угле откоса каверны в условиях эксплоатации скважины α, то из условия равенства объемов каверн имеем:

$$b_1 = b\frac{\operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tg}\alpha}. \tag{88}$$

По этой формуле можно определить глубину, на которую следует разработать каверну.

Условия устойчивости водоупорной кровли над каверной определяются геотехническими свойствами горных пород и величиной напора подземных вод.

По мере разработки водоприемной каверны вглубь одновременно увеличиваются ее горизонтальные размеры. Благодаря этому водоупорная кровля, располагающаяся

над водоприемной каверной, оказывается все более «на весу».

При достижении каверной некоторых критических размеров, зависящих от геотехнических свойств кровли и напора подземных вод, водоупорная кровля теряет устойчивость и может обрушиться в полость каверны, что, с одной стороны, должно повлечь уменьшение дебита скважины, а с другой, — может вызвать просадки поверхности земли у устья скважины.

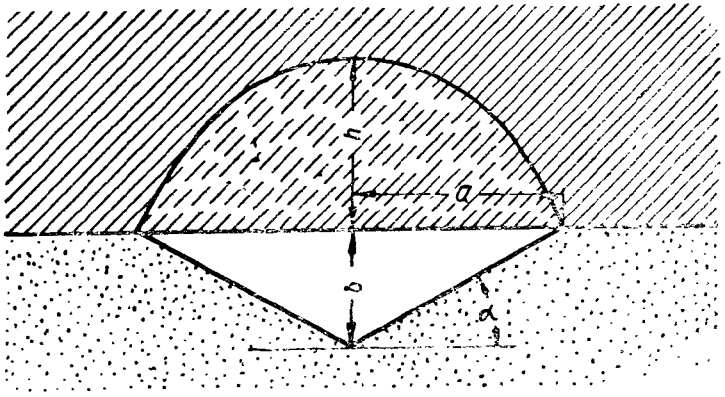


Рис. 66. Схема условий устойчивости водоупорной кровли над каверной

По наблюдениям проф. М. М. Протодьяконова, объем опускающейся породы над выработанной полостью имеет вид параболоида, выше поверхности которого порода удерживается силами трения и сцепления (рис. 66), при этом высота параболического свода составляет:

$$h = \frac{a}{f}, \qquad (89)$$

где a — ширина полупролета выемки (в нашем случае это радиус водоприемной каверны на контакте с водоупорной кровлей);

f — кажущийся коэфициент трения (иначе — коэфициент сдвига, выражающий совокупное действие трения и сцепления в породе), определяемый в лаборатории.

Условия устойчивости кровли находятся в зависимости от величины напора подземных вод. Водоупорная кровля

в этих случаях испытывает давление воды, направленное снизу вверх, причем этот напор не только создает определенное противодавление, затрудняющее обрушение кровли, но и способствует улучшению геотехнических свойств пород кровли, если последние представлены глинами, неразмокающими в воде (уплотняющее влияние давления).

Данные бурения показывают, что коренные глины, имеющие большую мощность, обычно являются прекрасной водоупорной кровлей; естественная влажность этих глин значительно меньше той, которая отвечает их водонасыщенности, и глины, залегающие в кровле водоносного пласта, в буровых журналах нередко характеризуются как «сухие». Исходя из этих соображений, можно допустить, что коренные глины при достаточно большой мощности не передают гидростатического давления напорных вод и это давление приложено непосредственно к кровле водоприемной каверны.

Для расчета условий устойчивости кровли примем наиболее невыгодные условия, именно, допустим, что объем породы, оказывающий давление, выражается объемом цилиндра высотой h. Этот объем больше объема параболоида той же высоты, и, таким образом, расчет получает некоторый «запас прочности», назначение которого оправдывается ориентировочным характером расчетов. При этом допущении условия устойчивости удовлетворяются, если давление воды на кровлю водоприемной каверны больше веса водонасыщенной породы в объеме цилиндра указанной высоты. Таким образом условия устойчивости соблюдаются, если

$$\Delta (H_0 - s)\, F_0 > h[(1-p)\gamma + \Delta p]\, F_0, \qquad (90)$$

где H_0 — напор воды до откачки, считая от кровли водоносного горизонта;
s — понижение уровня воды в скважине при откачке;
F_0 — площадь водоупорной кровли над водоприемной каверной;
p — пористость грунта;
γ — удельный вес частиц грунта;
Δ — объемный вес воды.

Пористость глин, как известно, обычно находится в пределах 0,4—0,5; примем, во избежание преуменьшения веса породы, $p = 0{,}4$. Далее, без ощутимой для целей практики

погрешности, можно принять $\gamma = 2{,}65$ и $\Delta = 1$. Тогда условие устойчивости кровли:

$$\frac{H_0 - s}{2} \geqslant h \qquad (91)$$

Из уравнений (89) и (91), заменяя $a = \frac{b}{\operatorname{tg}\alpha}$, получаем допустимую глубину водоприемной каверны в зависимости от напора водоносного горизонта:

$$b \leqslant \frac{(H_0 - s) f \operatorname{tg}\alpha}{2}. \qquad (92)$$

Коэфициент f определяется в лаборатории; образцы породы должны быть отобраны для исследования с ненарушенной структурой, пользуясь грунтоносом. Значения коэфициента f для глин изменяется в пределах 0,2—1,0, при этом аллювиальные глины, а также молодые глинистые морские отложения характеризуются обычно значениями $f < 0{,}5$, валунные глины (морены) — 0,5—0,7, древние коренные (морского происхождения) глины — 0,5—1,0.

Для скальных пород Протодьяконов придает коэфициенту f более широкое физическое значение, отождествляя его с понятием показателя «крепости» породы f_1. Приняв во избежание преуменьшения веса скальных пород пористость их равной нулю, получим аналогичную формулу устойчивости кровли, сложенной скальными породами

$$b \leqslant \frac{(H_0 - s) f_1 \operatorname{tg}\alpha}{2{,}65}. \qquad (93)$$

По Протодьяконову, коэфициент крепости мягких известняков, мергеля и мела — 1,5—2,0, известняков и плотных мергелей — 3,0—4,0, песчаников 5,0—6,0.

Чем больше напор водоносного горизонта, чем мощнее и крепче водоупорная кровля, тем лучше условия для сооружения бесфильтровой скважины.

Собранный Институтом Водгео материал по бесфильтровым скважинам ряда городов СССР, показывает, что эти скважины располагаются в достаточно благоприятных условиях в отношении состава водоупорных пород, их мощности и напора подземных вод (табл. 20).

в) Порядок расчета дебита

Основной задачей расчета дебита бесфильтровых скважин является определение оптимальных значений пониже-

Таблица 20

№ п/п	Местонахождение скважин	Порода водоупорной кровли	Мощность водоупорных пород в м	Напор воды над кровлей водоносного пласта в м
1	г. Курск (скв. № 4)	Глина плотная с прослоями мергеля (юра)	41,8	>77,4
2	г. Киев (скв. № 26)	Глина, вверху песчаная (юра)	73,8	201,5
3	г. Барвенково	Глина плотная, пластичная, местами песчанистая, с редкими прослоями песчаника (юра)	100,2	120,3
4	г. Полтава (скв. № 6)	Мел крепкий	32,0	255,0
5	Ст. Мерефа	Глина мергелистая, у подошвы с фосфоритами (Киевский ярус), выше — глина песчаная плотная (Харьковский ярус)	37,4	67,0
6	Белики	Мергель (Киевский ярус), выше — глина слабослюдистая (тоже Киевского яруса)	18,5	>87,5
7	Пенза (скв. № 2-Н)	Глина плотная известковистая, с тонкими прослоями песчаника; выше — мергель плотный	68,0	78,1
8	„ („ № 57-9)	Глина мергелистая плотная с обломками мергеля и прослоями песчаника у подошвы; выше — мергель плотный	69,6	67,3
9	„ („ № 3)	Глина известковистая с прослоями песчаника, выше мергели, плотные, прикрытые песчаной глиной	100,5	78,0
10	г. Могилев (скв. № 3)	Глина пестроцветная плотная с прослоями песка мелкозернистого (девонские отложения)	34,4	183,2
11	Большой Токмак	Мел плотный с прослойками кремня (меловые отложения)	43,5	191,0
12	Прикаспийская степь „Черные земли“	Глина, местами песчаная и сланцеватая с прослоями песка	80,9	>137,7

ния уровня воды при откачке s, глубины каверны b и угла откоса каверны α, при которых дебит имеет максимальное значение, удовлетворяющее вместе с тем условиям устойчивости каверны. Табл. 21 характеризует влияние величин s, b и α на дебит скважины и устойчивость каверны.

Таблица 21

Основные характеристики	При увеличении		
	понижения уровня воды при откачке s	глубины водоприемной каверны b	угла откоса каверны α
Дебит скважины	Увеличивается, так как возрастает фильтрационный градиент	Увеличивается, так как увеличивается водоприемная поверхность каверны	Уменьшается, так как уменьшается водоприемная поверхность каверны
Условия устойчивости откосов каверны	Ухудшаются, так как увеличиваются скорости поступления воды в каверну	Улучшаются, так как уменьшаются скорости поступления воды в каверну	Ухудшаются, так как воздействие гидродинамического давления возрастает
Условия устойчивости кровли каверны	Ухудшаются, так как уменьшается противодавление воды на водоупорную кровлю, препятствующее ее обрушению	Ухудшаются, так как одновременно увеличиваются горизонтальные размеры каверны	Улучшаются, так как горизонтальные размеры каверны уменьшаются

Порядок производства расчетов следующий:

1) По формуле (87), задаваясь различными значениями b и α, вычислить отвечающие им значения s, удовлетворяющие условиям устойчивости откосов каверны.

2) На основе этих вычислений построить на графике семейство кривых (каждая кривая отвечает определенному значению α), откладывая по оси абсцисс значения b, а по оси ординат — значения s (см. ниже пример расчета).

3) Аналогичные вычисления произвести по формуле (92) для определения значений s, удовлетворяющих условиям устойчивости кровли каверны.

4) На том же графике (см. п. 2) построить семейство прямых по формуле (92). Точки пересечения этих прямых

с кривыми (см. п. 2) показывают, какие значения s и b удовлетворяют значениям a в отношении условий устойчивости откосов и кровли каверны.

5) По формуле (78) определить дебит скважины для наблюденных значений s, b и a. Наибольший дебит, полученный при этих вычислениях, является максимально допустимым дебитом для данной скважины, а отвечающие этому дебиту s, b и a являются оптимальными.

В заключение приведен пример расчета дебита скважины. Требуется определить максимальный дебит бесфильтровой скважины по следующим данным.

Подземные воды приурочены к пласту мелкозернистого песка; мощность водоносного пласта $m = 25$ *м*. Над водоносным пластом залегает пласт плотной глины мощностью $M = 30$ *м*. Подземные воды

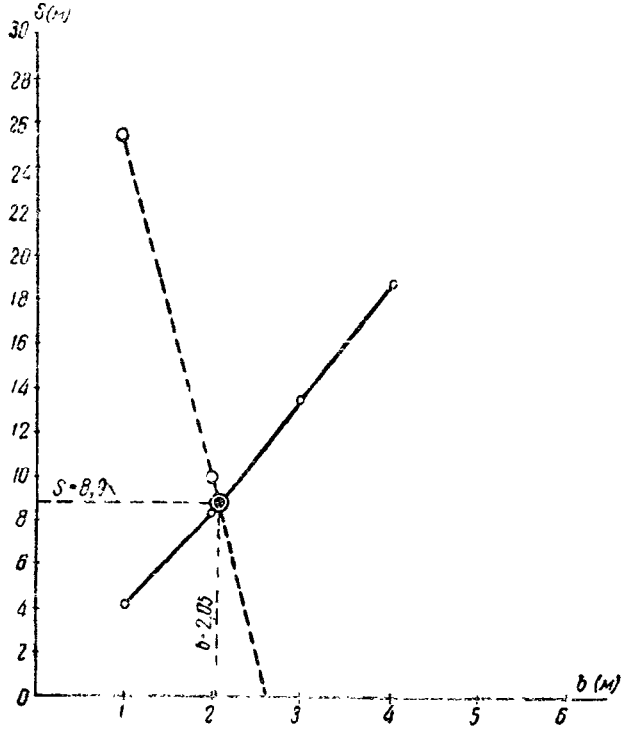


Рис. 67. Схема определения допустимого понижения уровня воды при откачке из бесфильтровой скважины и глубины водоприемной каверны [— по формуле (87),... по формуле (92)]

имеют напор $H_0 = 40$ *м*. По данным откачек из скважин, эксплоатирующих этот водоносный горизонт, радиус депрессии R равен приблизительно 200 *м*. По данным лабораторных определений коэфициент фильтрации песка $= 10$ *м/сутки*; угол внутреннего трения

песка $\varphi = 32°$, коэфициент сопротивления сдвигу глины, залегающей в кровле водоносного горизонта, $f = 0{,}5$.

1) Определяем значения s по формулам (87) и (92), задаваясь различными значениями b и α, например:

при $\alpha = 15^0$ по формуле (87) имеем:

при $b = 1{,}0$ *м* . . . . . $s = 4{,}17$ *м*
$b = 1{,}5$ „ . . . . . $s = 6{,}40$ „
$b = 2{,}0$ „ . . . . . $s = 8{,}75$ „
$b = 2{,}5$ „ . . . . . $s = 11{,}00$ „
$b = 3{,}0$ „ . . . . . $s = 13{,}73$ „
$b = 4{,}0$ „ . . . . . $s = 18{,}85$ „

По формуле (92) для $\alpha = 15^0$ имеем [1]:

при $b = 1{,}0$ *м* . . . . . $s = 25{,}07$ *м*
$b = 2{,}0$ „ . . . . . $s = 10{,}15$ „

2) По графику (рис. 67) определяем координаты точки пересечения кривой *1* и прямой *2*, отвечающие $\alpha = 15°$, $b = 2{,}05$ *м*, $s = 8{,}9$ *м*.

В табл. 22 приведены значения b и s, полученные аналогичным образом, для различных значений α.

3) Для этих значений b и s по формуле (78) определяем дебит скважины (табл. 22).

Таблица 22

№ п/п	$\alpha°$	b в *м*	s в *м*	Q в *м³/сутки*
1	10	1,10	14,2	912
2	11	1,30	13,1	938
3	12	1,45	11,8	990
4	13	1,65	10,6	1 030
5	14	1,85	9,9	1 051
6	15	2,05	8,9	1 043
7	20	3,10	5,8	975
8	25	4,25	3,1	680

Максимальное значение дебита (1 051 *м³/сутки)* получаем при глубине водоприемной каверны $b = 1{,}85$ *м*, угле откоса $\alpha = 14°$ и понижении при откачке $s = 9{,}9$ *м*. Эти значения b, α и s являются оптимальными для получения наибольшего дебита скважины.

4) В соответствии с формулой (88) глубина воронки при ее разработке должна быть:

$$b_1 = 1{,}85 \frac{\operatorname{tg} 32°}{\operatorname{tg} 14°} = 4{,}64 \text{ м}.$$

[1] Поскольку формула (92) представляет собой уравнение прямой линии, достаточно двух вычислений значений s.

4. Особенности эксплоатации бесфильтровых скважин

Для соблюдения устойчивости водоприемной каверны бесфильтровая скважина должна эксплоатироваться с понижением, не превышающим 75% от понижения, полученного расчетом, соответственно эксплоатационный дебит скважины не должен превышать 75% от дебита, определенного расчетом.

Во избежание заплыва водоприемной каверны песком извлечение воды должно быть по возможности равномерным, без толчков. С этой точки зрения наилучшим способом получения воды является самоизлив, на втором месте должны быть поставлены центробежный насос и эрлифт, на третьем — штанговые насосы. Пуск насосов в работу и остановка должны производиться постепенно с регулирующими расход приспособлениями — задвижками, желательно вентильного типа.

В процессе эксплоатации необходимо вести тщательное наблюдение за скважиной. Если из скважины начинает выносить вместе с водой песок, то необходимо уменьшить эксплоатационное понижение при откачке. В мелкозернистых глинистых песках полезно применять засыпку водоприемной каверны крупным песком или мелким гравием, при этом диаметр зерен засыпки должен превосходить диаметр зерен водоносного песка не более чем в 10—12 раз.

Глава X

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ВОДОЗАБОРЫ

1. Общие замечания

Горизонтальные водозаборы представляют собой водосборную траншею или водосборную галлерею, надлежащим образом оборудованную для приема подземной воды из окружающего ее водоносного пласта и отвода воды в место расположения водоразборных устройств.

Водозаборное сооружение горизонтального типа (рис. 68) обычно состоит из: а) водоприемной части, б) водоотводящей (водопроводной) части, в) смотровых и вентиляционных колодцев (расположенных на линии водозабора) и г) водосборного резервуара.

Водоприемная часть, как показывает само название, служит для приема воды из водоносного пласта, для чего поверхность ее снабжается соответствующими отверстиями и песчано-гравийным фильтром (в случае водозабора из песчаных грунтов). Этой части придается некоторый уклон, благодаря которому вода самотеком стекает в направлении развития водозабора (в пределах водоприемной части вода заполняет лишь часть сечения).

Водоотводящая (водопроводная) часть имеет своим назначением транспортировку каптированной водозабором воды в нужном направлении (эта часть делается глухой и также имеет уклон, но уже может работать и полным своим сечением.

В некоторых водозаборах водоотводящая часть отсутствует; тогда вода непосредственно из водоприемной части поступает в водосборный резервуар.



Рис. 68. Общая схема горизонтального водозабора:
1 — водоприемная часть; *2* — смотровые колодцы; *3* — водоотводящая часть; *4* — водосборный резервуар

Для осмотра, вентиляции и ремонта в процессе эксплоатации водозабора последний в пределах водоприемной и водоотводящей части снабжается смотровыми колодцами.

Водосборные резервуары, которыми обычно заканчивается сооружение горизонтального водозабора, предназначаются для: а) размещения водоразборных устройств или насосов, б) регулирования подачи воды потребителям, в) наблюдений за работой водозабора (замеры дебита, отбор проб на химический и бактериологический анализы и т. п.), г) осаждения взвешенных в воде частиц грунта.

Из водосборного резервуара вода самотеком или при помощи насосов поступает в водопроводные сооружения.

2. Конструкции горизонтальных водозаборов. Способы работ по их устройству

В конструктивном отношении горизонтальные водозаборы могут быть разделены на следующие основные типы:

а) траншейные водозаборы;

б) галлерейные водозаборы;
в) кяризы.

а) Траншейные водозаборы

Траншейные водозаборы в свою очередь могут быть разбиты на: каменно-щебенчатые и трубчатые.

Каменно-щебенчатый водозабор является наименее совершенным типом водозабора; он представляет собой траншею, заполненную в нижней своей части филь-

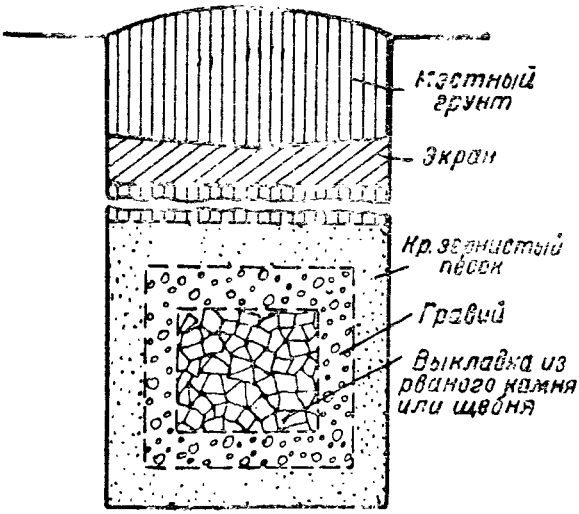


Рис. 69. Каменно-щебеночный водозабор

трующим материалом. В средине нижней части траншеи укладывается рваный камень или щебень с поперечным сечением слоя от 0,30 × 0,30 до 0,50 × 0,50 *м*, в промежутках между камнями протекает вода. Для приема воды из окружающего водоносного пласта эта каменная выкладка обсыпается более мелким фильтрующим материалом (галькой, гравием, песком), размер которого постепенно увеличивается к середине траншеи (рис. 69).

Соотношение диаметров частиц смежных слоев фильтрующей обсыпки принимается от 1 : 7 до 1 : 12 в зависимости от характера водоносных пород (бо́льшие значения берутся в крупнозернистых и гравийных песках, меньшие — в более мелкозернистых. Применяемые для фильтрующих обсыпок материалы (пески, гравий, галька и

щебень) перед укладкой должны быть пропущены через соответствующие грохота (сетки) для отбора необходимой крупности частиц. При наличии в гравии, а особенно в песках примесей (илистых, глинистых или пылеватых частиц) рекомендуется предварительная промывка их водой. Следует также отметить, что каменно-щебенчатое заполнение водозабора не должно растворяться под действием воды, а потому карбонатные (мел, известняк и пр.) и гипсоносные породы для этой цели не пригодны.

Глубина траншеи назначается исходя из гидрогеологических соображений, т. е. глубины залегания и мощности подлежащего эксплоатации водоносного горизонта. Высота фильтрующей засыпки практически принимается в пределах 0,3—0,4 H (где H — мощность водоносного горизонта). Толщина фильтрующих слоев берется от 100 до 150 *мм* для каждого слоя (бо́льшие значения принимаются для слоев с крупным материалом). Ширина траншеи устанавливается, исходя из конструктивных особенностей водозабора (количество и толщина фильтрующих слоев) и условий производства работ по рытью траншеи: практически эта ширина колеблется от 0,80 до 1,20 *м*.

Трубчатый водозабор является более совершенным типом водозабора. От предыдущего типа он отличается только тем, что внизу траншеи, также заполняемой фильтрующим материалом, для свободного стока воды укладывается труба (рис. 70). Здесь назначение фильтрующего заполнения ограничивается сбором воды из прилегающего водоносного пласта, тогда как в каменно-щебенчатом водозаборе (без труб) оно служит и для отвода воды. Это разделение функций между отдельными элементами в трубчатом водозаборе является его очень существенным достоинством, так как позволяет придавать ему малый уклон (а следовательно, и развивать большую длину), обеспечивает свободный сток воды, предупреждает засорение весьма ответственного элемента водозабора — его сточной части и, что чрезвычайно важно, облегчает осмотр и прочистку последней.

Определение размеров траншеи и фильтрующей обсыпки производится аналогично предыдущему типу. Диаметр труб устанавливается гидравлическим расчетом. Исходя из условий эксплоатации (прочистки и ремонта), трубы диаметром менее 100 *мм* применять не рекомендуется.

В трубчатых водозаборах находят применение гончарные, керамиковые, бетонные, железобетонные и чугунные

трубы. Очень редко применяются трубы из каменной или кирпичной кладки. Деревянные трубы при работе их в условиях переменного режима влажности не могут быть рекомендованы. В ближайшем будущем, в связи с развитием производства асбоцементных труб, последние должны найти широкое применение и в горизонтальных водозаборах. Гончарные трубы следует допускать к укладке лишь при глубине

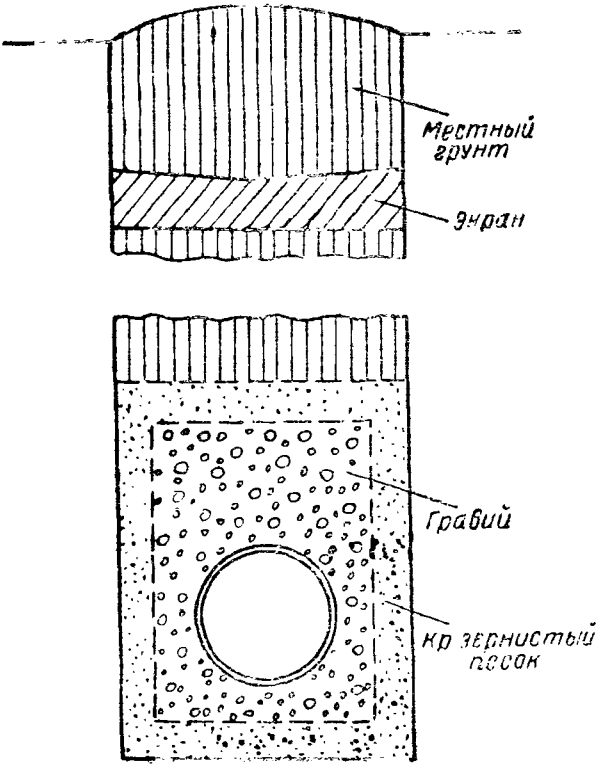


Рис. 70. Трубчатый водозабор

водозаборов порядка 3—4 *м* и диаметре до 16 *см*; в этих условиях, в случае отсутствия агрессивных вод, могут найти также применение и бетонные трубы. При больших глубине и диаметрах следует применять керамиковые, а при отсутствии агрессивных вод — бетонные и железобетонные трубы как обладающие большей прочностью. Чугунные трубы легко подвергаются ржавлению, что может повлиять на снижение качества воды (при малых дебитах водозабора и слабом водоразборе).

Гончарные трубы обычно принимают воду своими стыками (зазор в стыках принимается 2—5 *мм*).

Керамиковые трубы имеют внутренний диаметр от 125 до 500 *мм* и более и длину отдельных колец 0,75—1,00 *м* и соединяются между собой раструбами. Для приема воды они снабжаются круглыми или щелевидными отверстиями, расположенными по поверхности трубы в шахматном порядке; особо рекомендуется применение труб со щелями, расширяющимися внутрь. Круглые дыры и щели делаются только с боков трубы и в верхней ее части; нижняя же

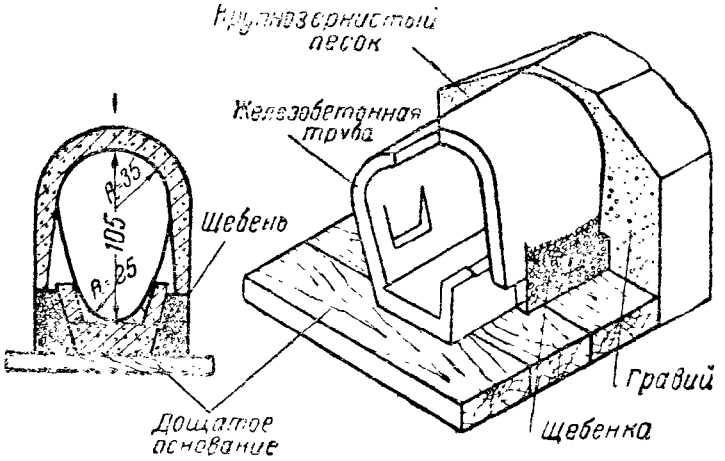


Рис. 71. Труба с колокольчатыми козырьками

часть трубы (примерно 1/3 по высоте), по которой стекает вода, оставляется глухой.

Бетонные и железобетонные трубы в зависимости от размера поперечного сечения имеют следующую форму: а) круглую при диаметре от 100 до 300 *мм*, б) круглую с плоским основанием при диаметре от 300 до 1 000 *мм*, в) овоидальную при тех же размерах поперечного сечения. Бетонные трубы снабжаются с боков и в верхней части для приема воды круглыми отверстиями, что достигается закладкой при набивке бетона в формы в соответствующих местах деревянных пробок. В железобетонных трубах больших размеров взамен дырчатых отверстий рекомендуется устраивать в боковых стенках специальные окна (или ниши), прикрываемые колокольчатыми козырьками (рис. 71) или решетками (рис. 72) и снабженные фильтрующей обсыпкой. Бетонные и железобетонные трубы соеди-

няются между собой раструбами или впритык; в последнем случае, во избежание расстройства водозабора на стыках, рекомендуется применять надвижные муфты. В бетонных трубах малых диаметров надвижные муфты не применяются и дырчатые отверстия для приема воды не делаются (в этом случае бетонные трубы, аналогично гончарным, работают своими стыками).

Чугунные трубы могут иметь различный диаметр, они достаточно прочны и удобны в укладке. Соединяются чугунные трубы между собой раструбами, а для приема воды снабжаются щелевидными отверстиями.

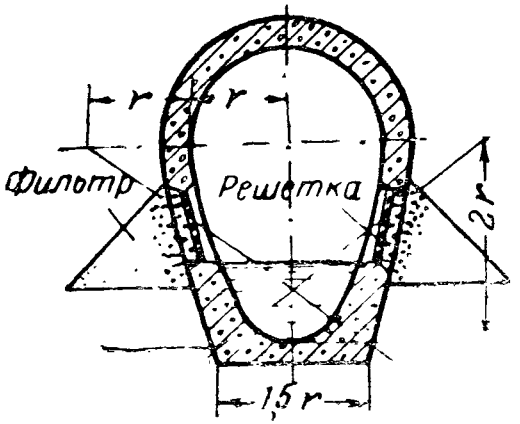


Рис. 72. Труба с решетками

Следует отметить, что стандарт на дырчатые трубы пока не установлен.

Принцип определения размеров отверстий, щелей и решеток в трубчатых водозаборах аналогичен фильтрам буровых скважин (см. гл. VI), а подбор состава фильтрующей обсыпки — каменно-щебенчатому типу водозабора.

Независимо от принятого типа водозабора (каменно-щебенчатый или трубчатый) водоприемная часть последнего должна быть тщательно изолирована от поверхностного загрязнения путем укладки над ней водонепроницаемого экрана из мятой глины (рис. 69 и 70).

Для отвода вод, профильтровавшихся с поверхности земли, над экраном иногда укладывается гончарный дренаж (на высоте 3—5 *см* над экраном).

В пределах водоотводящей (водопроводной) части водозабора траншейного типа укладываются глухие трубы (без дырчатых отверстий и фильтрующей обсыпки) с применением соответствующих уплотнений в стыках; для этой части лучше употреблять раструбные трубы. В остальном конструкция водоотводящей части водозабора аналогична водоприемной.

Гончарные, керамиковые, бетонные, железобетонные и чугунные трубы укладываются в траншеи на специальное основание, тип которого определяется свойствами грунта

и весом труб. В плотных грунтах при укладке легких труб возможно ограничиться песчанощебеночной подготовкой или глинобетонной подушкой. В более слабых грунтах устраиваются деревянные стеллажи или основание из тощего бетона.

При укладке тяжелых труб в обычных грунтах применяют основание из тощего бетона; в слабых же грунтах делают свайные растверки или уширенное бетонное основание (рис. 73).

В каменно-щебеночных водозаборах специальные основания обычно не делаются; лишь иногда каменно-щебеночную выкладку укладывают на глинобетонную подушку.

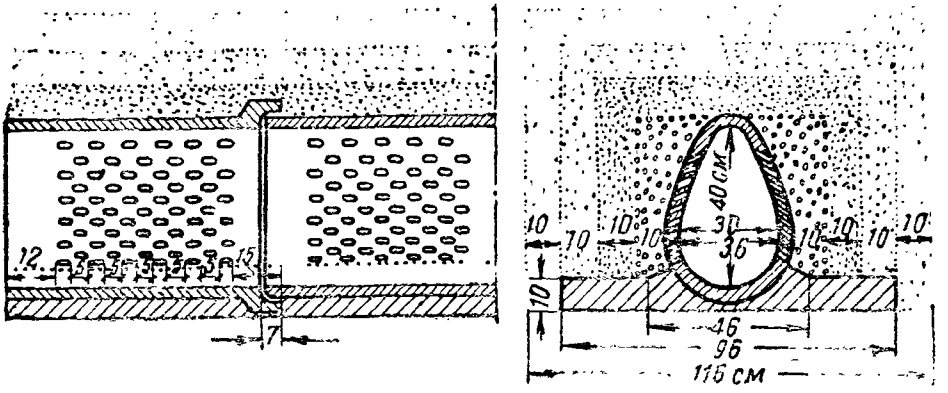


Рис. 73. Уширенное бетонное основание для водосборных труб

Производство работ по рытью траншей во многих случаях целесообразно механизировать, применяя для этой цели: а) в рыхлых грунтах траншейные экскаваторы, б) в скалистых грунтах — пневматические ударные инструменты (отбойные молотки) и взрывной метод работ.

Для подъема породы и спуска тяжелых труб применяют треноги с полиспастами и лебедки.

При устройстве траншей в рыхлых грунтах большей частью не представляется возможным обойтись без временного крепления стенок траншеи. При глубине траншеи до 4 *м* в рыхлых, не разжиженных грунтах следует применять обычное горизонтальное крепление с распорками; при тех же глубинах траншеи, но в слабых, разжиженных грунтах необходимо переходить на сплошное вертикальное крепление (иногда из шпунтованных досок или брусьев). При глубине траншеи более 4 *м* рекомендуется применять

двухъярусное крепление (вертикальное в нижней водонасыщенной части и горизонтальное в верхней части траншеи).

В целях обеспечения беспрепятственного стока воды проходку траншей рекомендуется начинать с выходной части водозабора, т. е. от водосборного резервуара. Сброс воды обычно осуществляется самотеком; лишь в том случае, когда по условиям рельефа самотечный сброс невозможен, применяется водоотлив, для чего в конце траншеи устраивается зумпф и устанавливается насос для периодической откачки из него воды.

б) Галлерейные водозаборы

Галлерейные водозаборы разделяются на собственно водосборные галлереи и водосборные штольни.

Водосборная галлерея устраивается открытым (траншейным) способом, т. е. вначале вырывается траншея, на дне которой и возводится галлерея. По возведении галлереи и укладке фильтрующей обсыпки траншея засыпается сверху местным грунтом с устройством водонепроницаемого экрана (иногда и гончарного дренажа), аналогично траншейным водозаборам.

По форме поперечного сечения водосборные галлереи отличаются значительным разнообразием — от прямоугольной (со сводом) до круглой или овоидальной.

Размеры галлереи должны обеспечивать ее проходимость как при производстве работ, так и эксплоатации; при этом рекомендуется принимать: при прямоугольной или овоидальной формах — высоту не менее 1,6 *м* и ширину не менее 0,70 *м*, при круглой форме — минимальный диаметр 1,0 *м*.

Водосборные галлереи могут быть выполнены из естественного камня, бетона, железобетона, а иногда и кирпича.

Дерево в качестве материала для устройства водосборных галлерей применять не следует.

В простейшем случае, например при эксплоатации водоносного горизонта, приуроченного к скальным трещиноватым породам, водосборная галлерея может быть выполнена из каменной кладки насухо с цементной штукатуркой только нижней ее части; в слабых породах кладка производится на цементном растворе.

Галлереи из каменной или кирпичной кладки возможно устраивать лишь при наличии в основании плотных грун-

тов, например при расположении галлереи на водоупоре; им придают обычно прямоугольную форму со сводом в потолке.

Наиболее совершенными являются бетонные и железобетонные галлереи; им придают круглую или овоидальную форму (рис. 74).

Прием воды в галлереях из каменной или кирпичной кладки осуществляется через швы и пустоты в кладке (не заполненные раствором) или через специально устраиваемые окна и ниши; в бетонных и железобетонных галлереях для приема воды устраиваются специальные отверстия, окна или наши (аналогично бетонным трубам, укладываемым в трубчатых водозаборах).

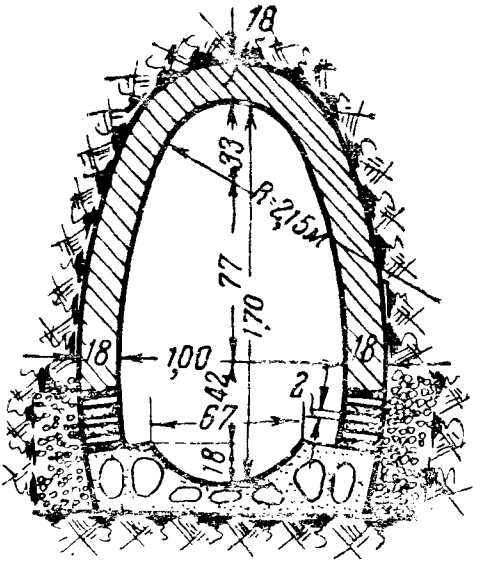


Рис. 74. Бетонная водосборная галлерея со стоком воды по специальному лотку

В целях предотвращения выноса в галлерею мелких частиц из окружающего ее грунта, с боков и сверху (а иногда и снизу, например, в случае устройства дна галлереи в водоносном пласте) делается фильтрующая обсыпка Принцип подбора состава этой обсыпки, а также определения ее размеров (высоты и толщины слоев) аналогичны траншейным водозаборам.

Для стока воды по дну галлереи устраивается бетонный лоток с обочинами по его бортам для удобства осмотра и ремонта водозабора.

Во многих случаях во избежание загрязнения воды при эксплоатации водозабора целесообразно для стока воды прокладывать в подошве галлереи специальные трубы (втапливаемые в бетон).

Основание водосборных галлерей в обычных грунтах делается из бетона; в слабых, разжиженных грунтах, устраивают свайные ростверки.

Водоотводящая (водопроводная) часть обычно устраивается в виде глухой галлереи.

Способы производства работ по рытью траншей для водосборных галлерей, а также способы крепления траншей в общем аналогичны траншейным водозаборам.

Водосборная штольня в отличие от галлереи проходится подземным (туннельным) способом. Особенностью водосборной штольни является отсутствие фильтрующего заполнения вне пределов ее временного крепления, в силу этого сама штольня может каптировать только тот водоносный слой, в котором она проходит или с которым соприкасается.

В скальных трещиноватых породах штольни можно проходить без крепления. Проходка штолен в мягких, малоустойчивых породах требует постановки временного деревянного крепления. В дальнейшем под защитой этого крепления устраивается постоянная обделка штольни из бетона или железобетона, иногда из каменной или кирпичной кладки.

Бетонная или железобетонная обделка штолен является наиболее совершенной. Формы и конструкции водосборных штолен в общем аналогичны галлереям. Для обеспечения необходимых эксплоатационных размеров (минимальные значения которых аналогичны галлереям) штольня проходится большим сечением с таким расчетом, чтобы в ней могла разместиться как постоянная обделка, так и фильтрующая обсыпка.

Прием воды штольней и отвод ее аналогичны галлереям.

В целях зарегулирования стока подземных вод и обеспечения более равномерной водоотдачи водозабора иногда применяется способ шлюзования штолен, что достигается устройством шлюзовых ворот и затворов на участках развития водонепроницаемых пород; в этом случае вода из подпертой части штольни пропускается через шлюз при помощи трубопровода.

в) Кяризы

Кяризы являются оригинальными сооружениями туземного типа, довольно широко распространенными в полупустынных (маловодных) местностях предгорных районов Средней Азии, Закавказья и Ирана. Здесь они служат для получения и самотечного вывода воды на поверхность земли из сравнительно глубоко залегающих водоносных пластов. При помощи кяризов часто удается получить тре-

буемое количество воды из обводненных трещиноватых глин или глин с небольшими прослоями водоносных песков.

Кяриз представляет собой ряд шахтных колодцев — шурфов, пройденных до водоносных пород, между которыми подземным (туннельным) способом (штольнями малого сечения) проходятся водосборные галлереи. В туземной практике строительства кяризов шахтные колодцы обычно выполняют, с одной стороны, роль разведочных шурфов, при помощи которых выясняется водоносность пород и условия их залегания, и, с другой через них производится подъем породы, вынимаемой при проходке штольни и, в случае надобности, спуск крепежного материала. Вместе с тем эти колодцы, располагаемые обычно

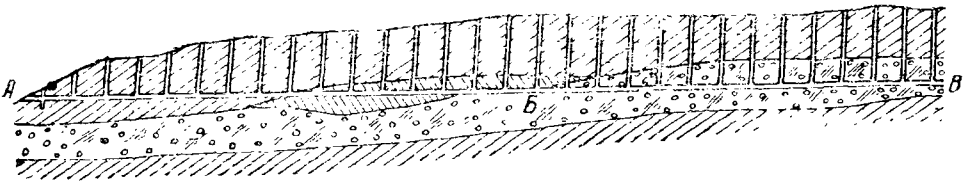


Рис. 75. Кяриз

на расстоянии от 5 до 50 м друг от друга (в зависимости от устойчивости пород, т. е. чем устойчивее породы, тем реже), одновременно служат и целям вентиляции водозабора (глубина колодцев часто доходит до 50 *м* и более). Практикой установлен следующий порядок осуществления кяризов: сначала проходят колодцы-шурфы, а затем по выяснении при помощи их положения водоносных пород, между колодцами производят проходку водосборных галлерей. Галлерею располагают таким образом, чтобы она одной своей половиной входила в водоносный слой и каптировала его (участок *Б — В*), а другой проходила бы в водонепроницаемых породах (участок *А—Б*) и служила путями выхода каптированной воды на дневную поверхность (рис. 75). Таким образом на участке *Б—В* галлерея должна являться водоприемной частью водозабора (т. е. должна быть снабжена соответствующими водоприемными отверстиями и фильтрующей обсыпкой), а на участке *А — В* выполнять только водоотводящую роль (т. е. должна быть глухой).

В туземной практике в устойчивых породах крепление штолен в кяризах не делается; в обваливающихся же поро-

дах применяется деревянное крепление сплошными вязанными рамами при высоте их 1,0—1,2 *м* и ширине 0,5—0,6 *м*. Эти размеры явно недостаточны, так как не удовлетворяют условиям проходимости штольни, а также не создают возможности для устройства постоянных обделок и применения фильтрующих обсыпок.

В современных условиях штольни и колодцы в кяризах целесообразно конструктивно оформлять аналогично описанным выше сооружениям, т. е. соответственно водосборным штольням и шахтным колодцам. Следует также рекомендовать производить предварительную разведку водоносности пород не при помощи колодцев-шурфов, а общепринятым методом (т. е. бурением).

Для обеспечения самотечного отвода воды строительство кяриза следует начинать с выходной части. В тех же случаях, когда работы по устройству кяриза должны проводиться одновременно по всей его длине или же начинаются с водоприемной части, следует применять водоотлив; водоотлив может быть осуществлен при помощи бадьи или насосов через шахтные колодцы. Выход кяриза (его устье) обделывается в виде водосборного резервуара (камеры).

г) Смотровые колодцы и водосборные резервуары

Для осмотра, вентиляции и ремонта горизонтальных водозаборов устраиваются смотровые колодцы, которые следует располагать в водозаборах траншейного типа через каждые 50—75 *м*, в водозаборах галлерейного типа через каждые 100—150 *м*.

Кроме того, смотровые колодцы должны быть устроены на каждом изменении направления водозабора в плане, на всех перегибах профиля и в местах устройства перепадов, а также в начале водозабора (в верхней его части). В кяризах нет надобности в специальном устройстве смотровых колодцев, так как их роль могут выполнять шахтные колодцы, располагаемые на сравнительно небольших расстояниях друг от друга.

В водозаборах траншейного типа смотровые колодцы делаются круглой формы, обычно из бетонных или железобетонных колец.

Смотровые колодцы устраиваются и из каменной или кирпичной кладки на цементном растворе или же из керамиковых колец; дерево для этой цели применять не сле-

дует. Внутренний диаметр колодцев принимается равным 0,75—1,00 *м*.

Независимо от материала, употребляемого на стенки колодца, последний снабжается бетонным или железобетонным днищем. Во избежание быстрого заиления колодцев сопряжение в них труб рекомендуется осуществлять при помощи бетонных лотков, т. е. применять лотковый тип колодцев.

В водозаборах галлерейного типа смотровые колодцы могут устраиваться как круглой, так и квадратной формы:

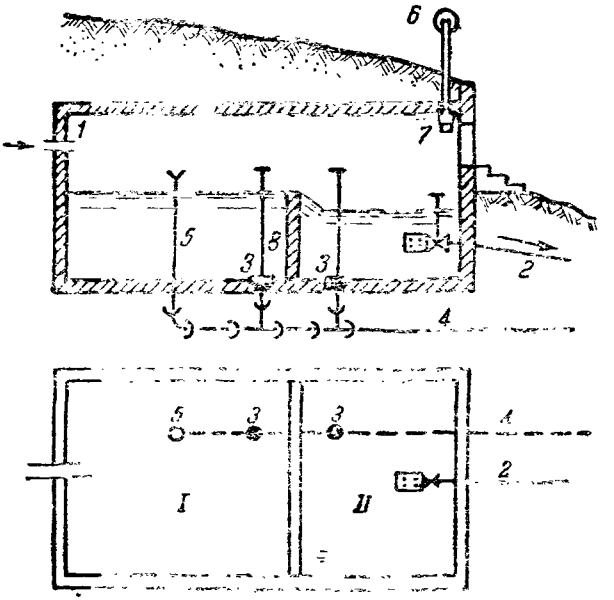


Рис. 76. Водосборный резервуар:

1 — труба, подводящая воду из водоприемной части водозабора; *2* — разборная труба; *3* — спускные трубы; *4* — канализационные трубы; *5* — переливная труба; *6* — вентиляционная труба; *7* — лоток; *8* — переливная стенка-водослив

выполняются они из тех же материалов, что и галлереи или штольни. Размеры колодцев определяются конструкцией и размерами галлерей или штолен, с которыми они сопрягаются.

При устройстве смотровых колодцев следует принимать меры по предохранению водозабора от поверхностного загрязнения. Для этого верх колодцев должен возвышаться не менее чем на 0,25 *м* над поверхностью земли, а вокруг них должен быть уложен водонепроницаемый слой (из мятой глины) и сделана отмостка.

Кроме того, смотровые колодцы не должны затопляться паводочными водами рек. В смотровых колодцах необходимо поставить вентиляционные трубы-колонки с выводом их на поверхность земли не меньше чем на 2,5—3,0 *м* и с устройством предохранительных крышек.

Каждый горизонтальный водозабор заканчивается водосборным резервуаром, в который вода поступает самотеком; из резервуара в водоразборные устройства вода может подаваться или также самотеком или же при помощи насосов.

Водосборные резервуары при небольшом заглублении их в землю (до 5—6 *м*) устраиваются квадратной или прямоугольной формы, а при большом заглублении — круглой. Размеры их определяются дебитом водозабора и требуемой величиной водоразбора.

Водосборные резервуары выполняются из бетона или железобетона, иногда они устраиваются из каменной или кирпичной кладки на цементном растворе.

Обычно водосборные резервуары делятся на две части (рис. 76), из которых первая часть, примыкающая к водозабору, служит для осаждения взвешенных в воде частиц, а вторая — для размещения водоразборных устройств или насосов. Для размещения всасывающих труб, а также осаждения взвешенных в воде частиц, низ резервуара располагается на 1,0—1,5 *м* ниже подошвы траншеи или галлереи.

При малых дебитах водозабора и отсутствии необходимости в осаждении взвешенных частиц деление водосборного резервуара на части не производится.

3. Трассирование горизонтальных водозаборов

Горизонтальные водозаборы наиболее часто устраиваются на коренных склонах; как правило, они располагаются нормально к движению подземных вод, обычно в виде вытянутой по простиранию потока одной сплошной или нескольких прерывистых линий. Следует однако отметить, что не всегда целесообразно развивать горизонтальный водозабор по одной линии: иногда более удобно и экономично построить водозабор, состоящий из отдельных участков, расположенных в наиболее благоприятных в гидрогеологическом отношении местах и объединенных в общую систему при помощи водоотводящих (водопроводных) линий, подводящих воду в единый водосборный резервуар (рис. 77).

В кяризах, устраиваемых в предгорьях, линия водозабора располагается нормально к склону, т. е. по потоку подземных вод. При заложении водозаборов на водораздельных участках или на участках с замедленным движением подземных вод, направление водозаборных линий может быть принято любым, удобным для производства работ.

При использовании фильтрационных вод открытых водоемов возможны следующие схемы расположения водозаборов:

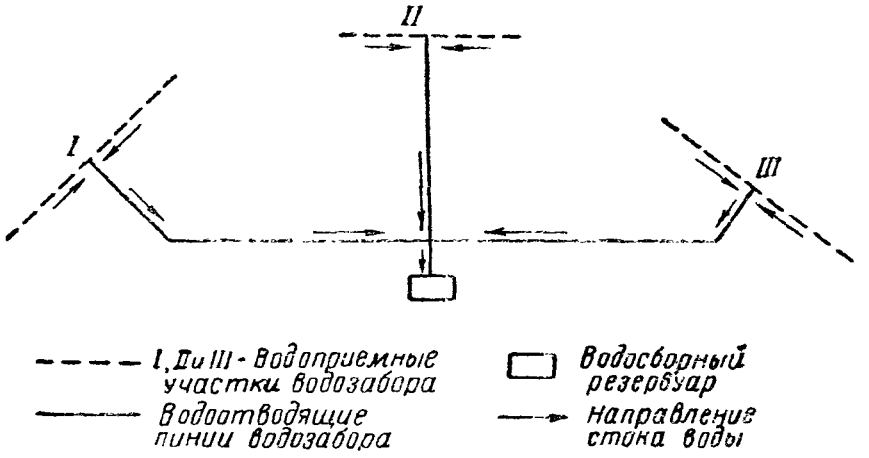


Рис. 77. **Схема расположения группового горизонтального водозабора**

а) параллельно береговой линии водоема, так называемые «прирусловые» водозаборы (неправильно называемые иногда «инфильтрационными» водозаборами);

б) под руслом водоема, так называемые «подрусловые» водозаборы.

Следует подчеркнуть, что возможность использования фильтрационных вод для хозяйственно-питьевых целей должна быть обоснована, в каждом конкретном случае и согласована с органами санитарной инспекции.

Как уже указывалось выше, сопряжение отдельных линий горизонтального водозабора в плане осуществляется в смотровых колодцах, причем в галлерейных водозаборах это сопряжение необходимо делать под углом, близком к прямому.

Горизонтальному водозабору, придается уклон, направленный к водосборному резервуару. Уклоны следует трас-

сировать таким образом, чтобы скорости движения воды по направлению к резервуару возрастали, что предохраняет водозабор от заиления наносами за счет выпадения взвешенных в воде частиц; при этом особое значение имеют минимальные уклоны. Уклоны устанавливаются гидравлическим расчетом (см. главу XI). В качестве ориентира при трассировании горизонтальных водозаборов возможно рекомендовать нижеследующие значения минимальных уклонов:

а) для каменно-щебеночных водозаборов $J_{min} = 0{,}01$
б) „ „ трубчатых „ $J_{min} = 0{,}002$
в) „ „ галлерейных „ $J_{min} = 0{,}005$

Уклоны, намечаемые из гидравлических условий (а для штолен и из условий производства работ — откатки грунта при проходке), должны быть согласованы с мощностью и падением водоносных пластов с тем, чтобы горизонтальный водозабор мог бы более эффективно выполнять перехват подземных вод. Если водоупор, подстилающий водоносный пласт, имеет большое падение, то в некоторых случаях целесообразно для получения наибольшего эффекта прибегать к устройству перепадов, приурочивая их к смотровым колодцам.

При заложении дна водозабора в самом водоносном пласте трассирование значительно облегчается и выбор уклона определяется только гидравлическими условиями.

Глава XI

РАСЧЕТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВОДОЗАБОРОВ

1. Гидрогеологические расчеты

Гидрогеологические расчеты горизонтальных водозаборов можно свести к расчету;

а) одиночно работающего (невзаимодействующего) водозабора, расположенного нормально движению потока подземных вод, при их поступлении с одной стороны;

б) одиночно работающего водозабора, расположенного по течению потока, при двухстороннем обычно симметричном поступлении воды;

в) одиночно работающего водозабора, расположенного вблизи водоема, обычно параллельно его береговой

линии, также при двухстороннем, но несимметричном поступлении воды (подземных вод со стороны водораздела и фильтрационных вод со стороны водоема);

г) подруслового водозабора при вертикальной схеме движения воды (сверху вниз).

В зависимости от условий заложения водозаборов по отношению к водоупору, различают водозаборы «совершенные», своим основанием лежащие на водоупоре, и водозаборы «несовершенные», не достигающие водоупора.

Кроме того, на методику гидрогеологического расчета водозабора весьма существенно влияет характер движения

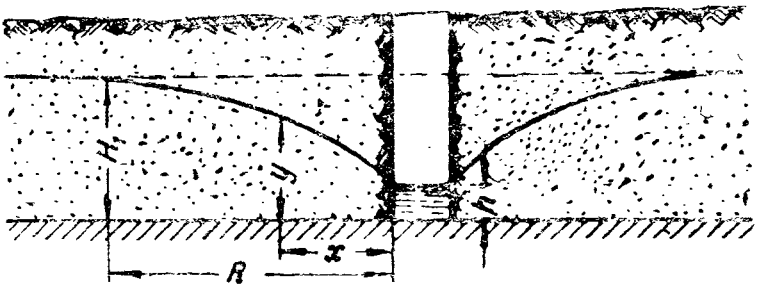


Рис. 78. Схема притока воды к горизонтальному совершенному водозабору (по Дюпюи)

подземных вод (ламинарный или турбулентный), определяемый, главным образом, структурой водоносных пород (зернистые и трещиноватые породы) и гидравлическим градиентом потока. Практически считают, что во всех зернистых и мелкотрещиноватых породах имеет место ламинарное движение и в основу расчета притока воды к водозабору принимают закон Дарси, а в крупно-трещиноватых породах — турбулентное движение и расчет ведут, используя основную формулу Шези.

Расчет притока воды к горизонтальным водозаборам в условиях потока представляет исключительно сложную задачу, до сих пор достаточно удовлетворительно не разрешенную. В практике применяют формулы, предложенные различными авторами для определения притока воды к горизонтальным водозаборам, работающим в условиях бассейна подземных вод неограниченно большого размера.

Не задаваясь исчерпывающим разбором всех имеющихся формул, ниже попытаемся, на основе проверки ряда

формул на экспериментальном материале, полученном автором в лаборатории Института Водгео, проанализировать эти формулы с точки зрения практического применения их для расчета горизонтальных водозаборов, используемых в практике водоснабжения.

Дебит горизонтального совершенного водозабора заложенного в зернистых породах (рис. 78), при притоке воды с одной стороны может быть определен по общеизвестной формуле Дюпюи:

$$Q = lk\frac{H^2 - h^2}{2R}, \qquad (94)$$

где l — длина водозабора;

k — коэфициент фильтрации пород;

H — мощность водоносного слоя;

h — глубина наполнения водозабора водой;

R — радиус действия водозабора.

При поступлении воды в водозабор с двух сторон дебит его, определяемый по формуле (94), удваивается.

Попытки других авторов (Лембке, Люгера, Иошида и др.) дать более точное решение той же задачи в конечном счете приводят к основной формуле Дюпюи.

Дебит горизонтального совершенного водозабора, заложенного в трещиноватых породах при притоке с одной стороны, может быть определен по формуле Краснопольского:

$$Q = lk\sqrt{\frac{H^3 - h^3}{3R}}. \qquad (95)$$

При притоке воды с двух сторон дебит, определенный по формуле (95), удваивается.

Рассмотрение вопроса о движении воды к горизонтальным несовершенным водозаборам встречается еще в труде проф. Люгера «Водоснабжение городов», где им выводятся уравнения притока воды к этого типа водозаборам при работе их как в условиях бассейна, так и потока. Однако полученные проф. Люгером уравнения практического применения не получили, поскольку они не доведены до расчетного вида.

Проф. А. Н. Костяков [25] решает задачу двухстороннего притока воды к дренам, заложенным в водоносном слое неограниченной мощности (т. е. при бесконечно глубоком залегании водоупора), исходя из предположения, что поверхности равного напора, представляющие собой

живое сечение потока, приближаются к окружностям (рис. 79).В соответствии с этим он получает формулу для определения притока воды в дрену длиной l с двух сторон:

$$Q = \frac{2\alpha k H_1 l}{\ln \frac{R}{r_0}}, \qquad (96)$$

где $\alpha = \frac{\pi}{2} + \frac{H_1}{R}$,

H_1 — глубина погружения дрены в водоносный слой;
r_0 — радиус дрены.

Для случая одностороннего притока воды в дрену дебит, подсчитанный по формуле (96), должен быть уменьшен в два раза.

Формула (96) является приближенной, так как в действительности поверхности равного напора, как показали

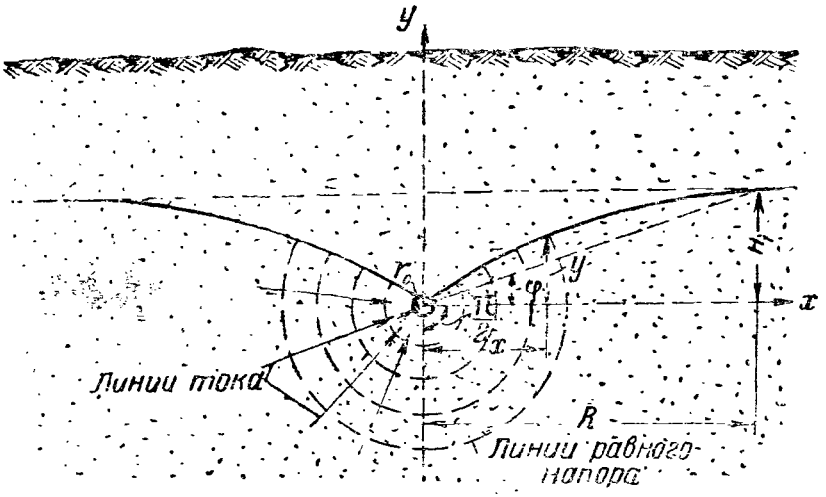


Рис. 79. Схема притока воды к дрене при глубоком залегании водоупора (по Костякову)

лабораторные опыты, имеют не круговую, а несколько приплюснутую форму. Несмотря на указанные недостатки, формула Костякова вполне заслуженно вошла в нашу дренажную практику.

Другие более точные (гидромеханические) решения той же задачи (проф. В. В. Ведерникова [13], Е. Д. Хомовской, С. Ф. Аверьянова и др.) не могут быть пока использованы для практических расчетов, так как они не дове-

дены до расчетного вида (Ведерникова и Хомовской) или же громоздки и сложны (Аверьянова).

Для расчета горизонтального водозабора, также заложенного в водоносном пласте неограниченной мощности, но в случае приуроченности подземных вод к трещиноватым породам расчетных формул не имеется. Однако приближенное решение этой задачи может быть получено путем комбинированного использования формулы Краснопольского и расчетной схемы проф. Костякова.

Для этого поток подземных вод, перехватываемых одиночной дреной, заложенной в водоносном пласте неограниченной мощности, условно разбиваем на две зоны

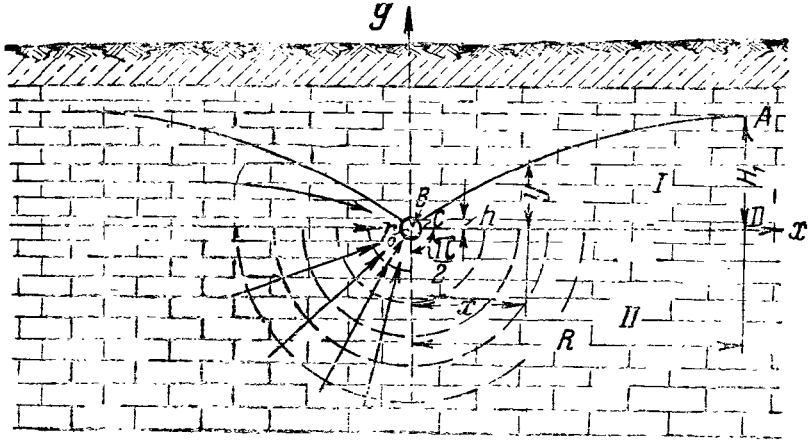


Рис. 80. **Схема притока воды к дрене в трещиноватых породах при глубоком залегании водоупора**

(рис. 80) и расчет притока воды в дрену ведем отдельно для каждой зоны; причем разделяющая эти зоны линия *СД* (проходящая через центр дрены) условно принимается нами за водоупор.

Тогда для определения дебита дрены из первой (верхней) зоны может быть применена формула Краснопольского (95) с поправкой на двухсторонний приток воды.

Уравнение притока воды в дрену с двух сторон из второй (нижней) зоны может быть выведено по аналогии с уравнением проф. Костякова, принимая при этом $\alpha = \frac{\pi}{2}$ и считая, что движение воды подчиняется закону Шези.

Фильтрующая поверхность при двухсторонней схеме притока воды к дрене:

$$\omega = 2\alpha x,$$

где $\alpha = \frac{\pi}{2}$

Количество воды, поступающее в дрену с двух сторон из второй зоны, на 1 *пог. м* ее длины будет:

$$q = v\omega = 2\alpha k x \sqrt{\frac{dy}{dx}}. \qquad (97)$$

Проинтегрировав уравнение (97) в пределах от $x = r_0$ до $x = R$ и от $y = 0$ до $y = H_1$, получаем:

$$q = 2\alpha k \sqrt{\frac{H_1}{\frac{1}{r_0} - \frac{1}{R}}} \qquad (98)$$

или, пренебрегая величиной $\frac{1}{R}$ ввиду ее малости, формулу (98) приводим к виду:

$$q = 2\alpha k \sqrt{H_1 r_0}. \qquad (99)$$

Тогда для определения общего дебита дрены длиной l при притоке воды с двух сторон получаем следующую формулу:

$$Q = 2lk\left[\sqrt{\frac{H_1^3 - h^3}{3R}} + \alpha\sqrt{H_1 \cdot r_0}\right] \qquad (100)$$

При притоке воды с одной стороны дебит, определенный по формуле (100), должен быть уменьшен в два раза.

Для случая заложения горизонтальных водозаборов в водоносном слое ограниченной мощности имеется ряд приближенных решений (акад. Л. С. Лейбензона [27], В. С. Козлова [24], Р. Р. Чугаева и др.).

Формулы Лейбензона не могут быть использованы ввиду их ошибочной структуры. Анализ их показывает, что при заложении галлереи на уровне неопиженного горизонта подземных вод, когда явно не будет притока воды в галлерею, по формулам Лейбензона дебит не равен нулю.

Формула Козлова недостаточно точна и отличается значительной громоздкостью.

Из приближенных способов расчета дебита горизонтальных несовершенных водозаборов наибольшего внима-

ния заслуживает метод, предложенный Р. Р. Чугаевым, базирующийся на комбинированном использовании уравнения Дюпюи и гидромеханических решений акад. Н. Н. Павловского по напорному движению грунтовых вод. Этот метод при наличии вспомогательных графиков, разработанных его автором, достаточно прост и удобен.

Общий дебит траншеи длиной l при притоке воды с одной стороны определяется по Чугаеву:

$$Q = lk\left[\frac{H_1^2 - H_2^2}{2L} + H_0 q_r\right]. \qquad (101)$$

При притоке с двух сторон дебит траншеи, определенный по формуле (101), удваивается.

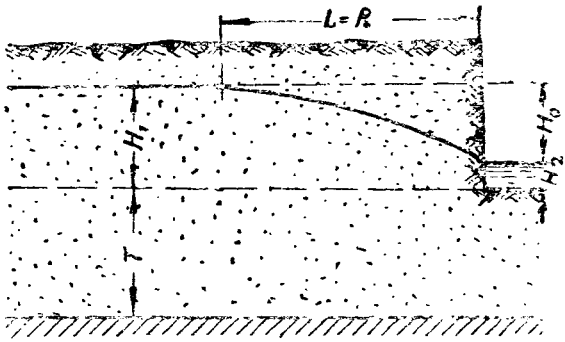


Рис. 81 Схема притока воды к дренажной траншее (по Чугаеву)

Все величины, входящие в формулу (101), ясны из рис. 81 (за исключением «приведенного» расхода напорного потока q_r).

Для нахождения величины q_r Р. Р. Чугаевым построены специальные графики (рис. 82, *а* и *б*), выражающие функциональную зависимость:

$$q_r = f(\alpha, \beta),$$

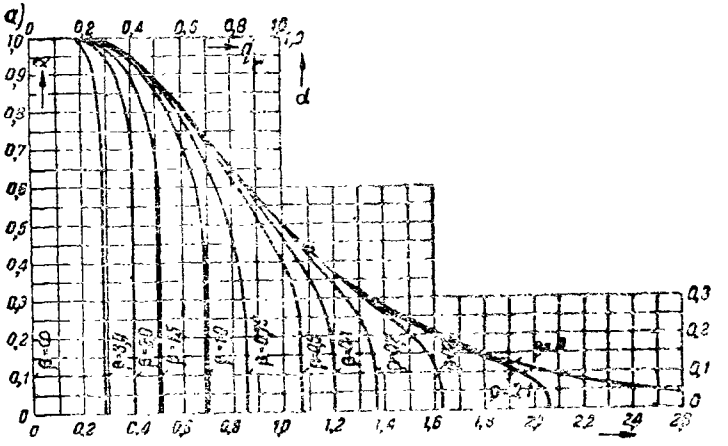
где

$$\alpha = \frac{L}{L + C} \quad \text{и} \quad \beta = \frac{L}{T},$$

причем величина L есть не что иное, как радиус действия траншеи R, а величина C — половина ширины траншеи. В тех случаях, когда $\beta > 3$ (для этих значений на приведенных графиках кривых не дается), величина приведен-

ного расхода напорного потока может быть определена по формуле:

$$q_r = \frac{q_r'}{(\beta - 3)\, q_r' + 1}. \qquad (102)$$



Значение q_r' в формуле (102) определяется по графику (рис. 83), также составленному Р. Р. Чугаевым; при этом величина α_0 равна:

$$\alpha_0 = \frac{T}{T + \frac{1}{3} C}$$

Расчет притока к горизонтальным водозаборам может быть произведен и по гидродинамическим сеткам движения, построенным графическим способом (рис. 84). Этот способ, предложенный проф. Е. А. Замариным [16], в настоящее время широко применяется при изучении характера фильтрации через земляные плотины и определении фильтрационных расходов. Описание правил построения сеток движения и методики подсчета расходов довольно подробно изложены в работах

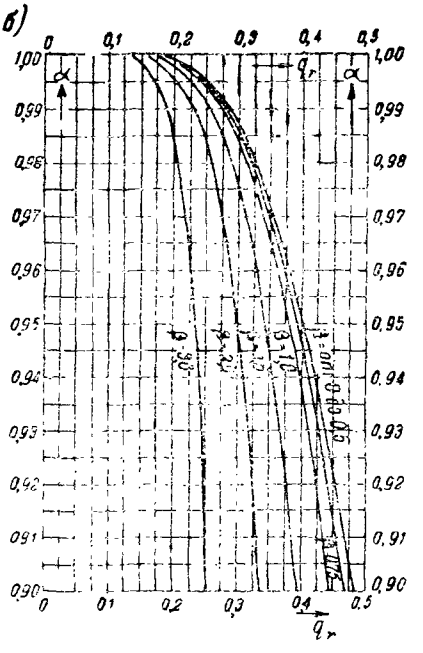


Рис. 82. График для нахождения величины q_r.

проф. Е. А. Замарина [16] и проф. Н. К. Гиринского [15]. В последнее время предпринимаются попытки применить этот метод и для расчета притока воды к горизонтальным водозаборам. Расчет дебита горизонтальных водозаборов по сеткам движения, построенным графическим методом, как показали сравнительные подсчеты автора [5]

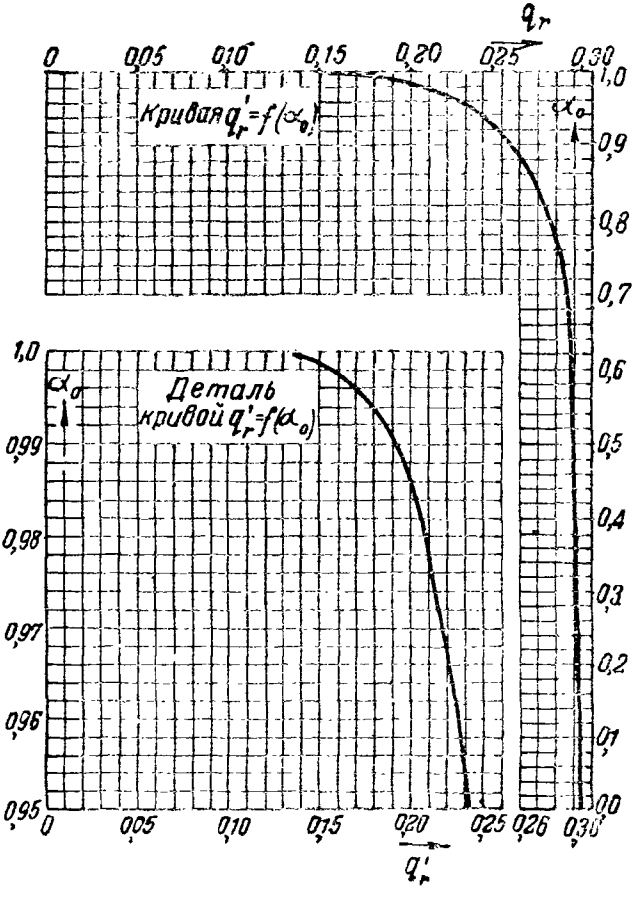


Рис. 83. График для нахождения величины q_r'

на экспериментальном материале дает достаточную для практических целей точность ($\pm 10 \div 15\%$).

Вопрос об определении притока воды к подрусловым водозаборам, при работе которых имеет место вертикальное движение воды (сверху вниз), представляет собой совершенно обособленную задачу, не имеющую аналогии с рассмотренными выше. Эта задача была решена проф.

Н. Е. Жуковским, который гидромеханическим путем получил приближенную формулу для определения дебита

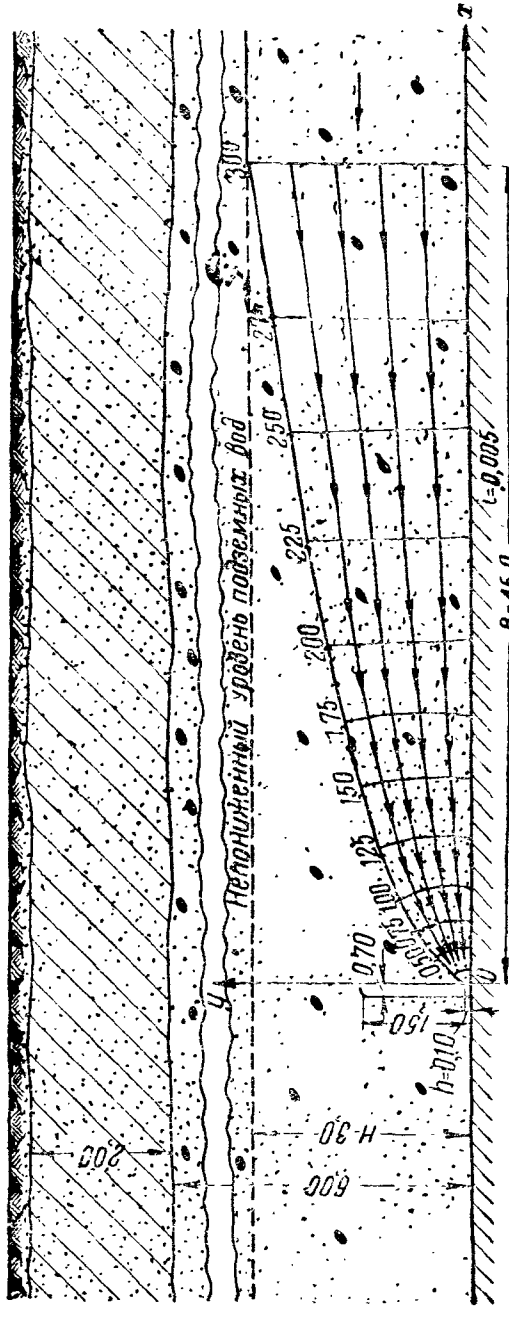


Рис. 84. Гидродинамическая сетка движения воды к водосборной галлерее

водосборной галлереи радиусом r_0 и длиной l, заложенной в водоносном песчаном пласте на расстоянии ρ от водо-

упора (рис. 85), при поступлении воды в эту толщу сверху:

$$Q = \frac{2\pi k l H_1}{\ln\left(\operatorname{ctg}\frac{\pi\rho}{2H}\operatorname{ctg}\frac{\pi r_0}{2H}\right)}, \qquad (103)$$

где H_1 — глубина погружения водозабора от поверхности земли или водоема;

H — мощность водоносного пласта (считая от водоупора до поверхности земли или водоема);

$\operatorname{ctg}\frac{\pi\rho}{2H}$ и $\operatorname{ctg}\frac{\pi r_0}{2H}$ выражены в радианах.

Более точное решение той же задачи, проведенное с использованием метода конформных преобразований, дано проф. В. В. Ведерниковым [13]. Однако полученная им формула вследствие ее сложности и громоздкости для практического использования пока мало доступна.

Ограничившись сделанным выше кратким обзором имеющихся предложений по расчету притока воды к гори-

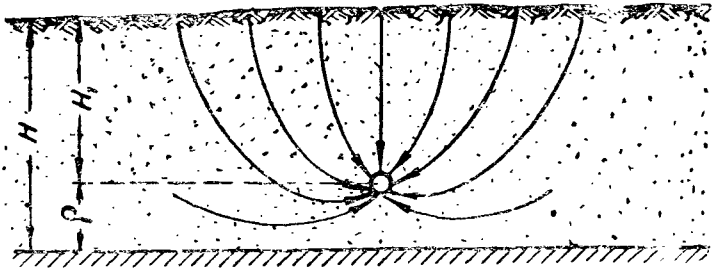


Рис. 85. Схема притока воды в водосборную галлерею (по Жуковскому)

зонтальным водозаборам, произведем оценку практической их применимости, основываясь на экспериментальном материале, полученном автором при лабораторных опытах в Институте Водгео [3]. С этой целью на опытном материале были произведены подсчеты по следующим формулам:

а) для условий бассейна подземных вод (при двухстороннем притоке воды к водозаборам) — Дюпюи, Костякова, Лейбензона, Козлова и Чугаева;

б) для условий потока подземных вод (при одностороннем притоке воды к водозаборам) — Дюпюи, Костя-

кова и Чугаева. Кроме того, был произведен подсчет дебита по сеткам движения как для условий бассейна, так и для потока.

Полученные при этом результаты изображены на графиках в виде кривых дебита водозаборов в зависимости от их положения над водоупором (рис. 86 и 87).

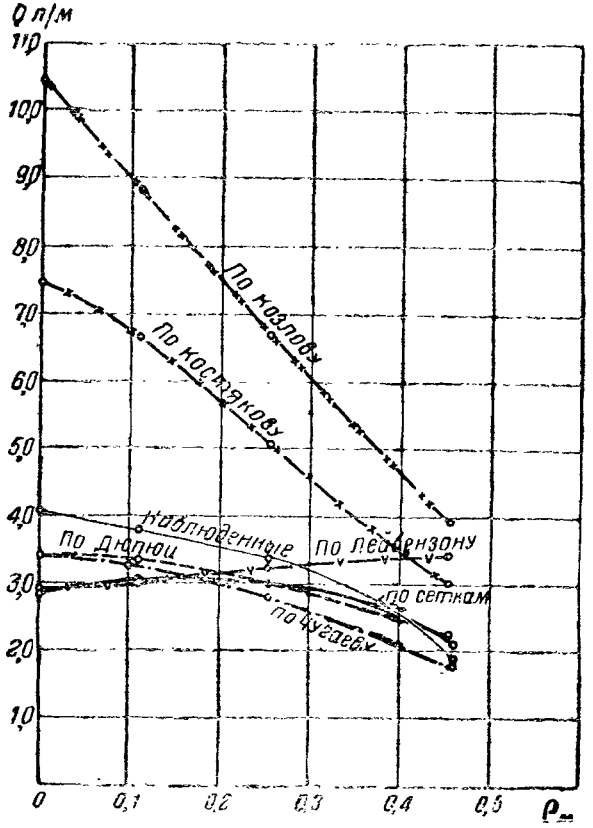


Рис. 86. График зависимости дебита горизонтальных водозаборов от расстояния до водоупора (в условиях бассейна подземных вод)

Анализ приведенных на графиках кривых показывает, что наиболее близкими к наблюденным как в условиях бассейна, так и потока являются дебиты, подсчитанные по формулам Дюпюи и Чугаева, а также по сеткам движения. Для условий потока достаточно удовлетворительные результаты дает формула Костякова. Расхождения в подсчетах по последней формуле, как и следовало ожидать, уменьшаются по мере увеличения расстояния от водоза-

бора до водоупора. Вообще формула Костякова всюду дает завышенные значения, что при использовании водозаборов для целей водоснабжения может привести к нежелательным осложнениям. Наоборот, подсчет дебита по формулам Дюпюи и Чугаева, а также по сеткам движения приводит к некоторому занижению дебита водозабора, что вполне себя оправдывает, так как создает некоторый резерв при эксплоатации водопровода. Совершенно неприемлемые данные получаются при пользовании формулами Козлова и Лейбензона. Подсчет по формуле Козлова

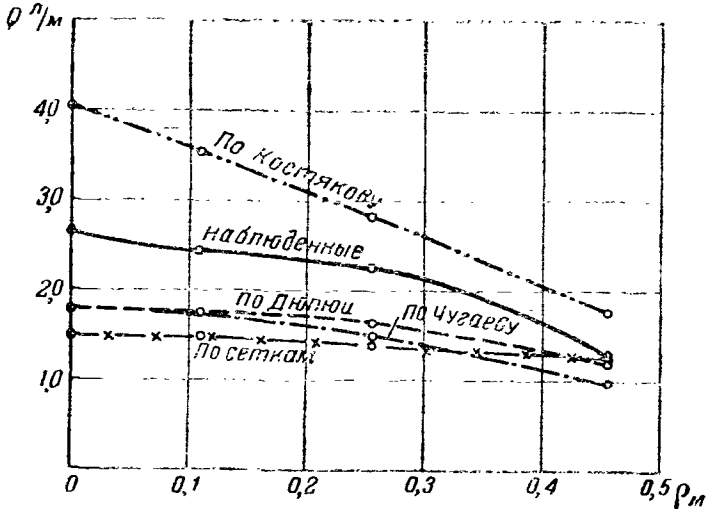


Рис 87. График зависимости дебита горизонтальных водозаборов от расстояния до водоупора (в условиях потока подземных вод)

дает значительно завышенные значения дебитов; формула Лейбензона, вопреки общей закономерности уменьшения дебита водозабора с удалением его от водоупора, обнаруживает их увеличение, что не соответствует действительности.

Проверить на экспериментальном материале формулу Жуковского не удалось вследствие отсутствия опытных данных, удовлетворяющих принятой в ней схеме движения воды.

На основании сделанного анализа имеющихся расчетных формул рекомендуем определение дебита производить:

1) совершенных водозаборов:

а) в зернистых и мелкотрещиноватых породах — по формуле Дюпюи (94).

б) в крупнотрещиноватых породах — по формуле Краснопольского (95):

2) несовершенных водозаборов:

а) в зернистых и мелкотрещиноватых породах при относительно неглубоком залегании водоупора — по формуле Чугаева (101), при глубоком залегании водоупора — по формуле Костякова (96);

б) в крупнотрещиноватых породах при глубоком залегании водоупора — по предлагаемой нами комбинированной формуле (100);

3) подрусловых водозаборов в зернистых породах — по формуле Жуковского (103).

При расчете дебита водозаборов, располагаемых вблизи водоема, приток определяется раздельно:

а) для подземных вод, притекающих со стороны водораздела, и

б) для фильтрационных вод, притекающих со стороны водоема.

В последнем случае в рекомендуемые расчетные формулы должны проставляться: взамен радиуса действия водозабора R — расстояние от водозабора до уреза воды в водоеме L и взамен глубины погружения водозабора в водоносный слой относительно первоначального уровня подземных вод H_1 — глубина погружения водозабора относительно уровня воды в водоеме H_1'.

Кроме того, при расчете траншейных и галлерейных водозаборов, в которых поперечное сечение водоприемной части довольно близко к квадратному, радиус водозабора может быть принят $r_0 \approx 1{,}20\ C$, где C — половина ширины траншеи.

В тех случаях, когда данные о глубине залегания водоупора отсутствуют, за расчетный дебит водозабора следует принимать:

а) в зернистых и мелкотрещиноватых породах — среднее из значений, подсчитанных по формуле Дюпюи и Костякова;

б) в крупнотрещиноватых породах — среднее из значений, подсчитанных по формулам Краснопольского и комбинированной.

При проектировании крупных водозаборов параллельно с подсчетом по соответствующим формулам рекомен-

дуется производить расчет дебита и по сеткам движения, построенным графическим способом. В особо ответственных сооружениях при работе их в сложных гидрогеологических условиях желательно сетки движения строить на основе специально проводимых лабораторных экспериментов.

При длине водозаборов менее 30—50 *м* дебит их согласно Форхгеймеру может быть принят равным дебиту круглого шахтного колодца с диаметром, равным половине длины горизонтального водозабора.

Суммарная (интегральная) месячная и годовая производительность водозабора должна подсчитываться с учетом сезонных колебаний уровня воды в подземном потоке и водоеме.

При назначении высоты фильтрующей обсыпки рекомендуется учитывать величину «участка выхода», которая может быть определена по следующим формулам:

а) при двухстороннем симметричном притоке:

$$h_0 = 0{,}22\,\frac{q_{II}}{k} \qquad (104)$$

б) при одностороннем или двухстороннем, но несимметричном притоке:

$$h_0 = 0{,}44\,\frac{q_I}{k}\,, \qquad (104а)$$

где q_{II} — дебит водозабора с двух сторон на 1 *пог. м*

q_I — дебит водозабора с одной стороны на 1 *пог. м* его длины;

k — коэфициент фильтраций водоносного пласта.

При расчете следует также проверять соответствие принятых размеров водозабора его водозахватной способности, которая может быть подсчитана по формуле проф. Ведерникова:

а) при двухстороннем симметричном притоке:

$$q_{II_{зах}} = \frac{2dk}{0{,}525}\,; \qquad (105)$$

б) при одностороннем или двухстороннем, но несимметричном притоке:

$$q_{I_{зах}} = \frac{dk}{0{,}525}\,, \qquad (105а)$$

где d — диаметр водозабора или высота его водоприемной части;

k — коэфициент фильтрации фильтрующего слоя обсыпки, непосредственно примыкающего к водоприемной части водозабора.

Практически считают, что если $(h + h_0) < d$, то затопление водозабора не будет иметь места (к чему обычно и стремятся).

2. Гидравлические расчеты

Гидравлический расчет водосборных галлерей заключается в проверке предельных максимальных и минимальных скоростей течения воды в лотках, а также в нахождении глубины наполнения их водой. В горизонтальных водозаборах трубчатого типа необходимо подобрать также и диаметр труб.

При подборе диаметра труб и проверке максимальных скоростей течения воды как в лотках, так и трубах необходимо исходить из максимально возможного значения ожидаемого дебита водозабора — в периоды максимальных уровней подземных вод или же периоды наивысшего горизонта воды в водоеме (в случае использования водозабором фильтрационных вод).

При поверочных расчетах на минимальные значения допускаемых скоростей, которыми предопределяются минимальные уклоны водозабора, обычно исходят из зимнего или летнего режима его работы, при котором дебиты водозабора также являются минимальными.

Скорости течения воды в трубах допускаются в пределах 0,20—1,0 *м/сек*. Меньшая скорость недопустима вследствие опасности заиления, бо́льшая же грозит опасностью размыва грунта. Оптимальная скорость заключается в пределах от 0,50 до 0,70 *м/сек*. Минимальные скорости в лотках также принимаются не ниже 0,20 *м/сек*. Максимальные же скорости не должны превышать допустимых для данного материала предельных скоростей, значения которых можно найти в соответствующих справочниках (например Справочник строителя, изд. 1944 г.). Формулы для определения скоростей в лотках и трубах общеизвестны. Из формул, определяющих скорость, можно найти предельные значения уклона, соответствующего той или иной скорости.

Водопропускная способность лотков и труб также определяется по общеизвестным формулам гидравлики. Принятая пропускная способность должна обеспечивать

пропуск максимально возможного дебита водозабора. При этом в трубах не следует добиваться полного заполнения их водой. Практически, исходя из условий обеспечения достаточной аэрации воды, рекомендуется принимать заполнение труб водой в пределах от 0,1 d до 0,4 d.

Глава XII

КАПТАЖИ ИСТОЧНИКОВ

1. Общие замечания

Каптаж источников заключается в обделке выходов подземных вод, обеспечивающей более концентрированное их поступление из водоносного пласта в водозабор и предохраняющей воду от поверхностного загрязнения.

Конструкции каптажных сооружений весьма разнообразны и определяются направлением движения подземных вод (восходящие или нисходящие источники), мощностью наносов, прикрывающих водоносные породы, характером и водообилием отдельных источников и т. д. Каптажные сооружения должны быть достаточно прочными и простыми и выполнены из материалов, не ухудшающих качества воды; обычно они устраиваются из бетона или железобетона, реже из камня или кирпича (применение для этой цели дерева не рекомендуется).

В простейшем случае каптаж представляет каменную наброску, уложенную на очищенную от наносов поверхность коренных водоносных пород: в более сложных случаях для каптажа устраиваются специальные водосборные камеры-колодцы. Кроме того, во многих случаях при каптаже источников находят применение: в восходящих источниках — опускные колодцы и в нисходящих источниках — траншейные водозаборы.

При устройстве каптажей в трещиноватых скальных породах прием воды возможен непосредственно через водоприемные отверстия каптажного сооружения, без применения фильтрующей обсыпки. При приеме же воды из песчаных (а иногда и из галечниковых) пород, когда вместе с водой возможен вынос в каптаж мелких частиц грунта, необходимо применять фильтрующие обсыпки.

Принцип подбора материала для фильтрующих обсыпок аналогичен или шахтным колодцам (при каптаже восходя-

щих источников) или же горизонтальным водозаборам (при каптаже нисходящих источников).

При устройстве каптажных сооружений следует предусматривать:

а) тщательную заделку их водонепроницаемым материалом (например мятой жирной глиной), препятствующим прониканию в каптаж всякого рода загрязнений (экранирование);

б) устройство вентиляции в целях улучшения качества воды в каптаже (установка вентиляционных вытяжных труб);

в) меры, обеспечивающие участки расположения каптажных сооружений от затопления поверхностными водами (обвалование);

г) меры для защиты от проникания в каптаж насекомых, змей, ящериц и др. (постановка металлических сеток);

д) меры, предохраняющие каптаж от промерзания (достаточное заглубление или подсыпка).

Устройство каптажа не должно вызывать подпора в потоке подземных вод. Кроме того, каптаж следует располагать на заведомо устойчивых участках (в отношении образования оползневых деформаций, обвальных явлений, промоин, размыва оврагами и т. п.).

Во многих случаях отдельно устраиваемые каптажи при близком их расположении друг от друга целесообразно объединить в единую систему с общим водосборным резервуаром.

2. Типы каптажных устройств

Типы каптажных устройств рассмотрим отдельно для двух основных групп источников (восходящих и нисходящих).

а) Каптаж восходящих источников

Восходящие источники чаще всего приурочены к трещиноватым скальным породам; значительно реже подобного типа источники встречаются в песчаных водоносных пластах (в последнем случае они приурочены обычно к понижениям водоупорного ложа, подстилающего водоносный пласт). Так как в восходящих источниках имеет место вертикальное движение подземных вод (снизу вверх), то прием их каптажем осуществляется через дно последнего.

В том случае, если каптируемый водоносный горизонт, приуроченный к трещиноватым скальным породам, прикрыт небольшим слоем наносов (до 2—3 *м*), может быть применен простейший тип каптажа из каменной наброски (рис. 88). При более мощном источнике целесообразно устройство более совершенного типа каптажного сооружения, снабженного для осаждения взвешенных в воде частиц и регулирования водоразбора специальной камерой-колодцем из бетона или железобетона (рис. 89); подобного типа камеры могут быть выполнены также из каменной или кирпичной кладки.

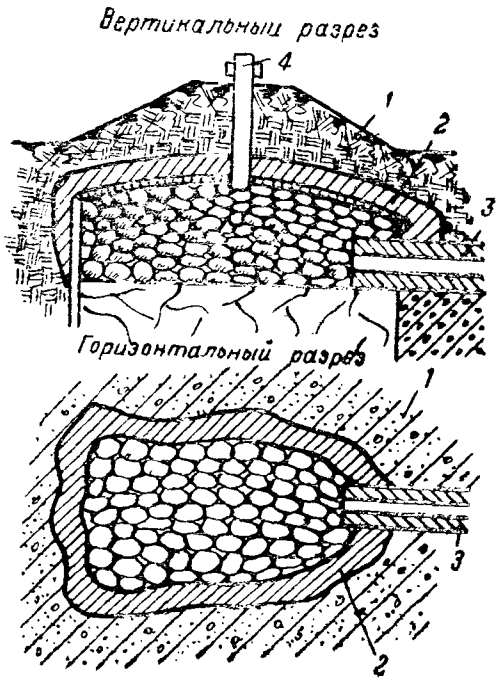


Рис. 88. Простейший тип каптажа восходящего источника:

1 — засыпка из местного грунта; *2* — глиняный экран; *3* — водоразборная труба; *4* — вентиляционная вытяжная труба

При каптаже песчаных водоносных горизонтов (иногда и водоносных горизонтов,

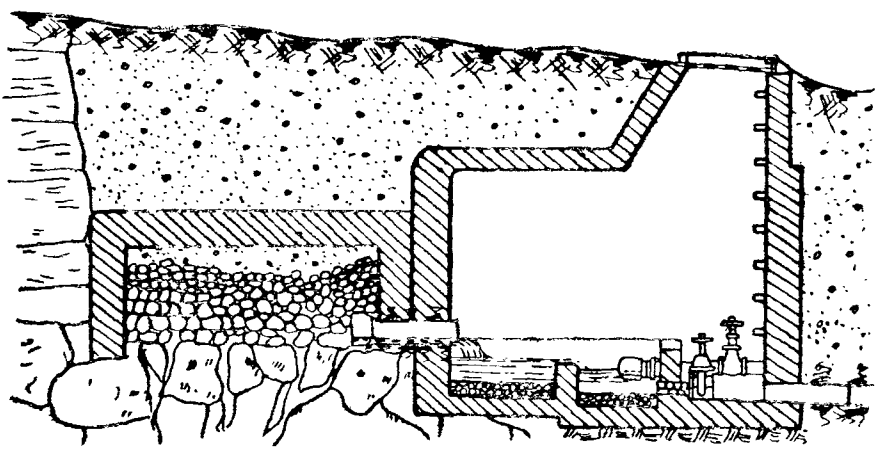


Рис. 89. Водосборная камера при каптаже восходящего источника

приуроченных к трещиноватым скальным породам) прикрытых мощным слоем наносов, следует применять опускные колодцы (см. выше).

б) Каптаж нисходящих источников

Нисходящие источники встречаются по склонам гор и речных долин, при дренировании ими ненапорных вод. В том случае, когда каптируемый водоносный горизонт, приуроченный к трещиноватым скальным породам, имеет довольно мощный и концентрированный выход воды на поверхность, возможно применение каптажной камеры-колодца с водоприемными отверстиями, устроенными в ее задней стенке (рис. 90). Эта камера может быть выполнена как из бетона или железобетона, так и из каменной или кирпичной кладки.

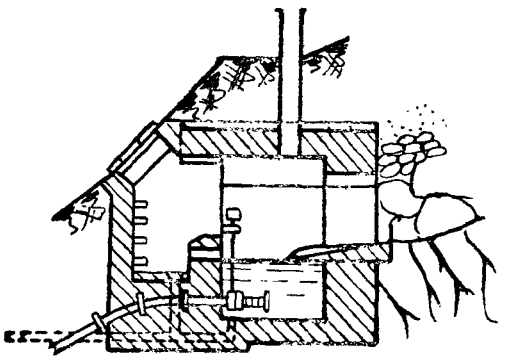


Рис. 90. Водосборная камера при каптаже нисходящего источника, приуроченного к трещиноватым скальным породам

При каптаже нисходящего источника, выходящего из песчаного пласта, во многих случаях возможно ограничиться устройством простейшего типа каптажа, показанного на рис. 91, в котором вода поступает из водоносного слоя в водоприемник, заполненный фильтрующим материалом, и выводится по трубе на поверхность земли.

В том случае, когда по склону выклинивается примерно на одних и тех же отметках значительное количество небольших источников, иногда целесообразно концентрировать их выход в одном пункте путем устройства шпунтовых открылков (рис. 92) или продольно расположенных бетонных или каменных стенок [иногда с укладкой в их основании с верховой стороны водосборных труб (рис. 93), направляющих воду к водосборной камере].

Если водоносный пласт скрыт под мощным слоем наносов и подземные воды коренных пород, фильтруясь через них, образуют группу многочисленных источников, выходящих на разных отметках, каптаж их иногда целесообразно проводить путем устройства индивидуальных

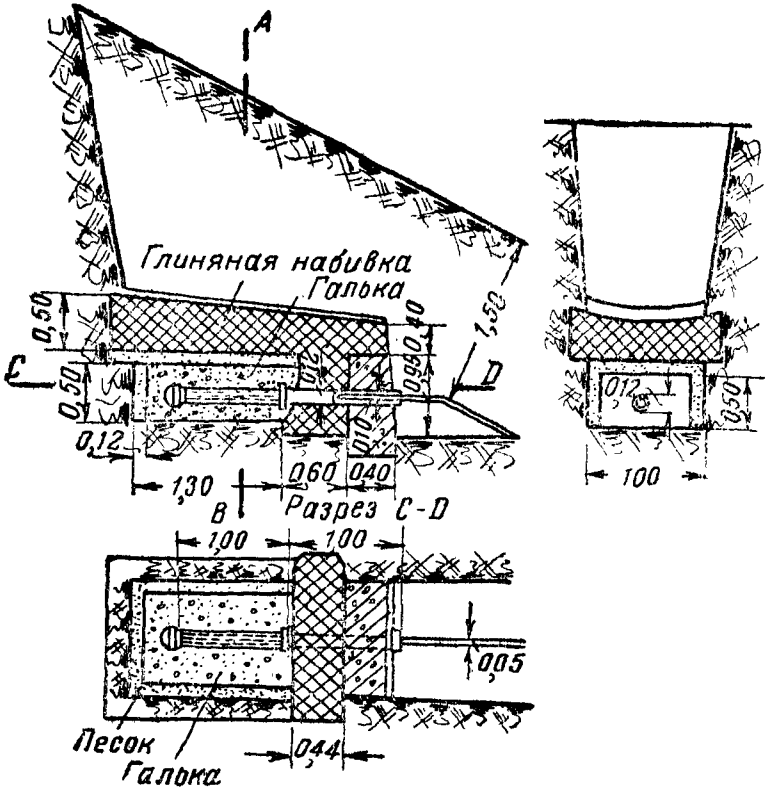


Рис. 91. Простейший тип каптажа нисходящего источника, приуроченного к песчаным породам

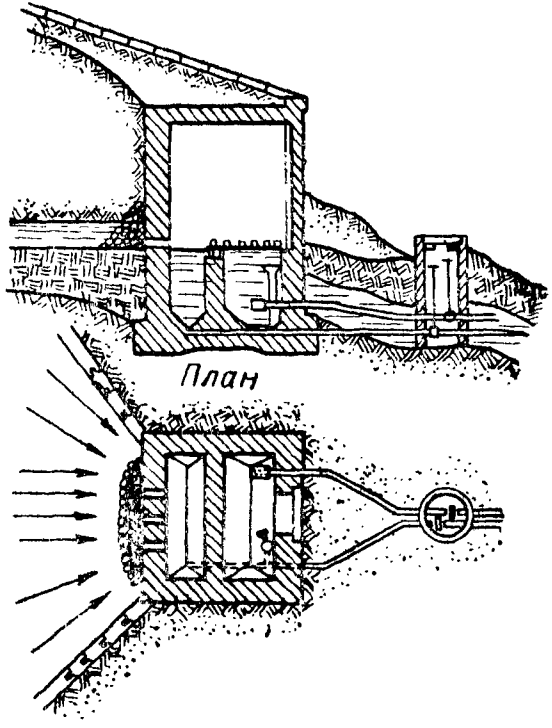


Рис. 92. Каптаж нисходящего источника с применением шпунтовых открылков

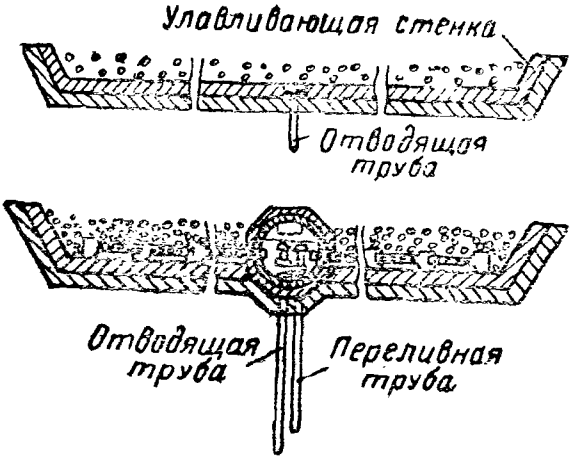


Рис. 93. Каптаж нисходящего источника с применением улавливающей стенки и водосборных труб

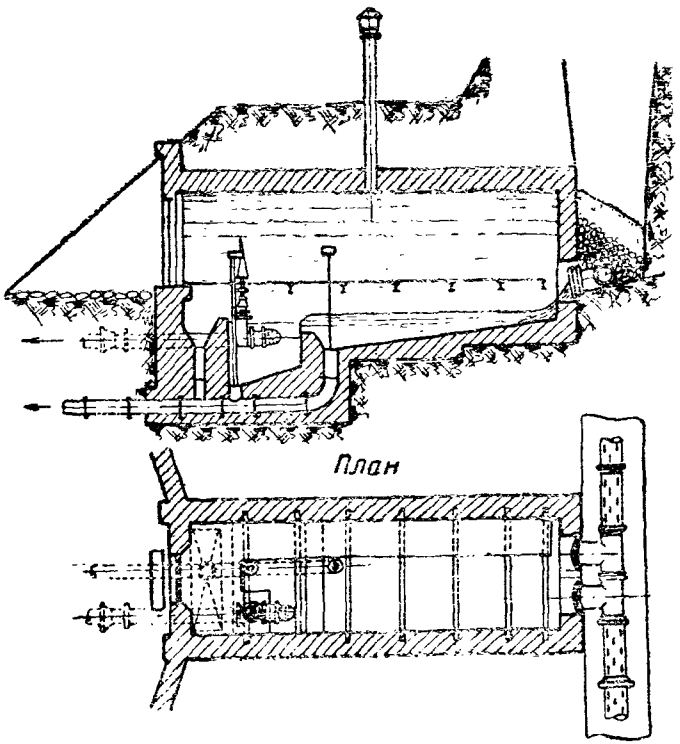


Рис 94. Каптаж нисходящего источника с применением траншейного водозабора и водосборной камеры

(для каждого источника) обделок, объединяемых при помощи водопроводных труб в единую каптажную систему, сбрасывающую воду в общий резервуар. В этом случае резервуар следует располагать на наиболее низких отметках с тем, чтобы обеспечить поступление в него воды из отдельных каптажей самотеком.

В случае отсутствия ясно выраженных выходов воды на склоне (источников) и выдержанного залегания песчаного водоносного пласта, каптаж может быть осуществлен при помощи горизонтальных водозаборов траншейного типа (см. выше) со сбросом воды в общую камеру (рис. 94).

Дебит каптажного сооружения определяется по приведенным выше формулам для шахтных колодцев или горизонтальных водозаборов в зависимости от того, к какому из указанных выше типов водозаборов данный каптаж ближе подходит.

Глава XIII

ВЫБОР ТИПА ВОДОПОДЪЕМНИКА

Выбор типа водоподъемника в водозаборах, эксплоатирующих подземные воды, определяется:

а) типом самого водозабора — буровые скважины, шахтные колодцы и водосборные камеры;

б) глубиной залегания динамического уровня воды в водозаборе при эксплоатации;

в) требуемой производительностью водозабора;

г) диаметром обсадных труб (для буровых скважин).

Для подъема воды из буровых скважин могут служить ручные, центробежные, приводные поршневые или штанговые насосы или же эрлифты.

В случае неглубокого залегания динамического уровня воды в скважине, т. е. в пределах высоты всасывания (не более 6 *м* от поверхности земли или пола шахты), следует применять:

а) при малой производительности скважины — ручные насосы (приложение I);

б) при большой производительности скважины — центробежные (приложение II) или приводные поршневые насосы горизонтального типа (приложение III).

Следует отметить, что пределы применения центробеж-

ных насосов могут быть несколько расширены за счет их установки в специальные шахты. Однако глубина шахт обычно не превышает 10 *м* от поверхности земли, так как при большой их глубине насосная установка приобретает довольно сложный характер (требует искусственного освещения и вентиляции, а иногда водоотлива и отопления). Центробежные насосы обычно работают или от двигателя или же от электромотора (что при наличии электроэнергии предпочтительнее).

В случае более глубокого залегания динамического уровня воды в скважине, т. е. за пределами высоты всасывания (более 6 *м* от поверхности земли или от пола шахты) необходимо переходить на применение:

а) при небольшой производительности скважины — на глубоководные штанговые насосы;

б) при большой производительности скважины — на эрлифты или глубинные центробежные насосы типа Фарко.

Глубоководные штанговые насосы дают возможность производить подъем воды с любой, практически необходимой глубины из водоносных слоев небольшой мощности, т. е. при низких динамических уровнях воды в скважине. К недостаткам их необходимо отнести не только малую производительность, но также и быстроту изнашивания (частый ремонт).

Откачка воды штанговыми насосами производится: при небольших диаметрах цилиндра (до 3 ″) от балансира вручную, а при больших (свыше 4″) — при помощи насосных лебедок (приложение IV). Штанговые насосы диаметром свыше 8″ ввиду большой тяжести и громоздкости гарнитуры, в особенности в глубоких скважинах, применять не рекомендуется.

Производительность штанговых насосов, зависящая от диаметра цилиндра, от числа качаний и длины хода поршня, сравнительно невысока (приложение V).

Эрлифты дают возможность поднимать воду, содержащую значительное количество взвешенных частиц, и позволяют увеличивать производительность водоподъема в процессе эксплоатации. Вместе с тем следует отметить, что производительность эрлифта трудно поддается регулировке.

Глубина скважины, необходимая для нормальной работы эрлифта, может быть определена по формуле:

$$l \geqslant h(1+\alpha) \text{ в } м. \qquad (106)$$

где h — глубина динамического уровня от точки излива в *м*;

α — коэфициент, значения которого рекомендуется принимать: а) при $h = 15—20$ *м* $\alpha = 2$, б) при $h >$ $> 15—20$ *м*, $\alpha = 1{,}5$.

Глубина погружения воздушных труб под воду определяется по формуле:

$$H = \alpha h. \qquad (107)$$

Различают две системы размещения эрлифтных труб:

а) центральная, при которой воздушная колонна труб размещается внутри водоподъемной, и

б) система «рядом», при которой воздушная труба проходит снаружи водоподъемных.

В зависимости от принятой системы размещения эрлифтных труб в скважине и требуемой ее производительности производится подбор диаметров эрлифтных труб (по табл. 23).

Таблица 23

При центральной системе размещения эрлифтных труб				При размещении эрлифтных труб „рядом"			
диаметр труб в дюймах		производительность откачки в $м^3/час$		диаметр труб в дюймах		производительность откачки в $м^3/час$	
водоподъемной	воздушной	от	до	водоподъемной	воздушной	от	до
3	$1\frac{1}{4}$	12	13	1	$\frac{1}{2}$	1,4	1,6
4	$1\frac{1}{2}$	30	35	$1\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	4	5
5	2	40	50	2	1	7	8
6	2	65	80	3	$1\frac{1}{2}$	20	25
8	3	110	150	4	$1\frac{1}{2}$	30	40
				6	2	85	100

Давление сжатого воздуха (в атмосферах), потребное для работы эрлифтной установки, определяется путем деления на 10 глубины погружения воздушных труб в воду, выраженной в метрах, считая от уровня воды.

При расчете эрлифтной установки производительность компрессора (расход воздуха), в зависимости от высоты подъема воды, ориентировочно может быть определена по табл. 24.

Таблица 24

Высота подъема воды в *м*	5	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Расход воздуха в $м^3$ на 1 $м^3$ воды	2,1—2,5	2,5—2,8	2,5—3,1	3,6	4,2	4,8	5,3	5,8	6,5—7,8	7,0—8,5	7,5—9,0

Подъем воды из шахтных колодцев в простейшем случае может быть осуществлен бадьями:

а) при глубине подъема до 10 *м* при помощи блока;
б) при глубине подъема до 20 *м* при помощи ручного горизонтального ворота;
в) при глубине подъема свыше 20 *м* при помощи ручного колесного ворота или кабестана

При более совершенном водоподъеме применяют:

а) ручные насосы;

б) штанговые насосы, работающие от лебедки, или поршневые насосы «Красный факел» с ручной качалкой или конным приводом;

в) центробежные насосы, работающие от двигателя или электромотора; в последнее время начинают применять ветродвигатели.

Для подъема воды из шахтных колодцев находят также применение ячеисто-ленточные и спирально-цепные водоприемники типа Шен-Элис.

В групповых водозаборах, состоящих из ряда буровых скважин или шахтных колодцев, объединяемых единой всасывающей линией, могут найти применение приводные поршневые или центробежные насосы, работающие от двигателя или электромотора, а иногда и сифоны.

Для подъема воды из водосборных камер применяют ручные или центробежные насосы.

I. Ручные насосы

Наименование	Тип	Диаметр цилиндра в *мм*	Ход поршня в *мм*	Производительность в *л/мин*	Наибольшее манометрическое давление в *м*	Число двойных качаний	Необходимое количество рабочих (качальщиков)	Диаметр труб в *мм*		Приблизительный вес в *кг*
								всасывающих	нагнетательных	
„Новая Иматра"	№ 1	65	60	17	30	50	1	19	19	13
„Красный факел"	№ 2	75	70	27	30	50	1—2	25	25	19
„Летестю"	№ 11	150	250	320	7,5	40	4—6	75	—	136
„Альвейер" двухкратного действия	№ 1	—	—	30	10	110	1	19	19	—
То же	№ 2	—	—	36	10	100	1	25	25	11
„	№ 3	—	—	56	10	90	1	32	32	12
„	№ 4	—	—	66	10	80	1	32	32	12
„	№ 6	—	—	106	10	60	1—2	40	40	17,5
„Альвейер" четырехкратного действия	№ 1	—	—	36	10	110	1	19	19	7
То же	№ 2	—	—	46	10	100	1	25	25	13
„	№ 3	—	—	68	10	90	1	32	32	15
„	№ 4	—	—	90	10	80	1	32	32	17
„	№ 6	—	—	125	10	60	1—2	40	40	21
Диафрагмовый („лягушка")	83	—	—	300	6,5	30	1—2	75	—	—
То же	83	—	—	400	—	30	1—2	100	—	—
„	82	—	—	300	12,5	30	1—2	75	75	—
„	82	—	—	400	—	30	1—2	100	100	—
Пожарный насос „Красный факел"	—	100	275	190	40	45	10—12	58	45	108
Пожарный насос „Новый Челенджи"	—	—	—	210	40	45	10—12	65	56	118
	—	140	200	250	25	45	6—8	70	63	180

II. Насосы приводные поршневые горизонтального типа

Тип насоса	Производительность в $м^3/час$	Требуемая мощность электромотора *ква*	Внутренний диаметр всасывающей трубы в *мм*	Внутренний диаметр нагнетательной трубы в *мм*	Габаритные размеры в *мм*			Вес в *кг*
					длина	ширина	высота	
Завод „Красный факел"								
К-18	4—6	1,50—2,20	50	50	1 150	630	745	175
К-20	7—11	1,90—2,93	65	65	1 386	710	920	310
К-21	10—16	2,30—3,67	76	76	1 405	710	1 110	415
Завод „Борец"								
2	17—29	7,50—12,0	100	75	2 043	1 065	1 210	1 190
2	30—51	11,0 —18,5	125	100	2 185	1 070	1 400	1 570

Завод-изготовитель	Тип и марка насосов	Диаметр патрубков в *мм*		Число колес	
		нагнетательный	всасывающий	минимум	максимум
„Красный факел"	Гр. X	50	50	Одноколесные	
„ „	Гр. X	65	65	„	
Им. Фрунзе	АН-60	60	60	„	
„Красный факел"	Гр. X	75	75	„	
Им. Фрунзе	АС-100	100	125	„	
„ „	АН-100	100	100	„	
„Борец"	Ф-26	150	150	„	
„	Ф-26	200	200	„	
Им. Фрунзе	АН-150	150	175	„	
„ „	Н-200	200	250	„	
„ „	В-60	60	80	2	9
„ „	В-80	80	100	2	9
Им. Сталина	3/ВД	75	75	2	3
Им. Фрунзе	В/100	100	125	2	9
Горловский з-д „Коммунист"		200	250	4	8
Им. Калинина	Гр. VI	100	100	4	6
„ „		125	12	3	5
„Борец"	В-150	150	175	2	7
„	Фиг. 28-ЕМ	150	150	2	6
Им. Фрунзе	В-200	200	250	2	7
„Борец"	Фиг. 28-ЕМ	200	200	3	6
Им. Сталина	8-ВД	200	225	2	—

Производительность в $м^3/час$	Манометрический напор при минимальном числе колес в $м$	Число об/мин (максимальное)	Мощность на валу насоса при минимальном числе колес в $л.с.$	Габариты одноколесных насосов (длина × ширина × $мм$)	Габариты многоколесных насосов в $мм$			Вес при минимальном числе колес в $кг$
					длина при минимальном числе колес	длина при максимальном числе колес	ширина	
25	22	3 250	5,5	500 × 300	—	—	—	34
40	22	3 206	9,5	570 × 360	—	—	—	50
24	20	1 450	4,5	670 × 450	—	—	—	100
85	32	3 000	23	600 × 420	—	—	—	71
84	27	1 450	16	—	—	—	—	182
90	30	1 450	20	802 × 580	—	—	—	190
160	24	1 450	22	980 × 740	—	—	—	314
260	30	1 450	38	1100 × 7895	—	—	—	460
180	40	1 450	40	940 × 700	—	—	—	278
300	45	1 450	85	1200 × 900	—	—	—	510
20,4	16	1 450	2,2	—	810	1 300	490	175
30	25	1 450	4,6	—	1 010	1 570	605	250
36	32	1 450	8,6	—	710	930	485	290
87	87	1 450	18,4	—	1 183	1 833	700	465
300	320	1 450	600	—	2 475	2 920	1 210	4 554
50	60	1 450	30	—	1 267	1 467	636	465
90	62	1 450	45	—	1 328	1 578	714	535
204	70	1 450	76	—	1 435	2 085	890	948
180	57	1 450	64	—	1 374	1 974	814	705
300	80	1 450	140	—	1 730	2 505	9[illegible]0	972
280	120	1 450	280	—	1 740	2 370	950	1 120
220	60	1 450	65	—	1 380	—	250	1 000

IV. Лебедки для штанговых насосов

Система лебедки	Диаметр цилиндра в *мм*	Число качаний в 1 мин.	Ход поршня в *мм*	Высота нагнетания в *м*	Производительность в $м^3/час$	Мощность двигателя в *л/с.*	Размеры: длина × ширина × высота в *мм*
Бурвод III	100	25—35	170	70	1,45—2,03	3,4 — 4,4	Лебедка 1,08×0,8×1,65
		25—35	220	70	1,88—2,64	4,1 — 5,4	
		25—35	300	70	2,56—3,60	5,2 — 6,75	—
	150	25—35	170	50	3,73—5,23	5,5 — 7,0	—
		25—35	220	50	4,85—6,77	6,5 — 8,4	—
		25—35	300	50	6,60—9,20	8,25—11,5	—
Бромлей	92	36	350	70	4,5	—	Шахта 1,7×1,4×3,0
	110	30	550	70	8,5	—	1,95×1,6×3,0
	140	35	600	70	12,5	—	2,8×1,6×3,0
Киевский Водотопстрой:							
а) тип № 1	142	16—18	1 000	80—100	11,9 —15,2	18	2,6×1,6×4,0
	180	16—18	1 000	60—70	21,9 —23,2	18	2,6×1,6×4,0
	230	16—18	1 000	30—40	35,8 —40,15	16	2,6×1,6×4,0
б) тип № 2	98	18—22	800	70—80	4,5 — 5,0	8	2,6×1,6×3,8
	142	18—22	800	40—60	9,6 —13,5	12	—
	190	18—20	800	20—30	17,2 —24,5	12	—
в) тип № 3	72	18—22	500	40—50	1,85— 2,40	2,5	2,2×1,5×3,0
	98	18—22	500	30—40	3,24— 4,45	3,5	—
Карловские мастерские (Харьков)		25	915	85—100	11,0	—	Вес 1 800 *кг*

V. Производительность штанговых насосов в $м^3/час$

Диаметр насосных цилиндров в дюймах	Число качаний в 1 мин.	Длина хода поршня в *мм*				
		250	300	400	500	600
2	20	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1
	30	0,7	0,8	1,1	—	—
	45	1,0	1,3	—	—	—
2 1/2	20	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8
	30	1,1	1,4	1,8	—	—
	45	1,7	2,0	—	—	—
3	20	1,1	1,3	1,7	2,2	2,6
	30	1,6	1,9	2,6	—	—
	45	2,4	2,9	—	—	—
3 1/2	20	1,5	1,8	2,4	3,0	3,7
	30	2,3	2,7	3,7	—	—
	45	3,4	4,1	—	—	—
4	20	2,0	2,4	3,1	3,9	4,7
	30	2,9	3,5	4,7	—	—
	45	4,4	5,3	—	—	—
5	20	3,0	3,6	4,9	6,1	7,3
	30	4,5	5,5	7,3	—	—
	45	6,7	8,1	—	—	—
6	20	4,3	5,2	7,0	8,7	10 5
	30	6,5	7,8	10,5	—	—
	45	9,8	11,7	—	—	—
8	20	7,5	9,0	12,1	15,1	18,1
	30	11,4	13,6	18,1	—	—
	45	17,0	20,4	—	—	—
10	20	11,7	14,1	18,8	23,5	28,2
	30	17,6	21,1	28,2	—	—
	45	26,4	31,7	—	—	—

ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов С. К., Типовые конструкции и расчеты дренажных сооружений, 1946.

2. Абрамов С. К. и Чалищев А. М., Расчет и конструкции фильтров буровых на воду скважин, Научно-технический архив Ин-та Водгео (рукопись), 1941.

3. Абрамов С. К. и Разин К. И., Расчет горизонтальных несовершенных водозаборов, Научно-технический архив Ин-та Водгео (рукопись), 1940.

4. Абрамов С. К. Инструкция по подбору и расчету фильтров буровых на воду скважин, Научно-технический архив Ин-та Водгео (рукопись), 1945.

5. Абрамов С. К. и Разин К. И., Гидромеханический расчет горизонтальных водозаборов графическим методом, статья в сборнике № 1. «Труды гидрогеологической лаборатории Института Водгео», 1941.

6. Альтовский М. Е., Методика гидрогеологических изысканий в целях водоснабжения, 1936.

7. Альтовский М. Е., Расчет дебита по откачкам из одиночных скважин, 1940.

8. Альтовский М. Е., Временная инструкция по расчету взаимодействующих артезианских скважин по данным опытных откачек, 1940.

9. Биндеман Н. Н., Справочник по использованию подземных вод для временного и полевого водоснабжения, 1943.

10. Богомолов Г. В., Бесфильтровые скважины в песчаных грунтах и элементы их расчета, журнал «Водоснабжение и санитарная техника», № 4, 1938.

11. Бутов П. И., Определение мощности подземных вод, сборник ГГРУ «Опробование месторождений полезных ископаемых», 1931.

12. Бутов П. И., К вопросу об определении запасов подземных вод, «Труды I Всесоюзного гидрогеологического съезда 1931 г.». Сборник 6, 1933.

13. Ведерников В. В., Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа, 1939.

14. Гефер Г., Подземные воды и источники, 1925.

15. Гиринский Н. К., Графическое построение гидродинамических сеток для случая фильтрации в однородных грунтах, 1939.

16. Замарин Е. А., Гидродинамические сетки движения, «Научные записки МИИВХ», вып. IV, 1937.

17. Замарин Е. А., Гидротехнические сооружения, 1940.

18. Калабугин А. Я., Основы сельскохозяйственного обводнения и водоснабжения, 1933.

19. Каменский Г. Н., Уравнение неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях и применение их к исследованиям подпора, «Известия отделения технических наук Академии наук СССР», № 4, 1940.

20. Каменский Г. Н., Основы динамики подземных вод, 1943.
21. Каменский Г. Н., Движение грунтовых вод в междуречном массиве, «Доклады Академии наук СССР», т. XXI, № 5, 1938.
22. Каменский Г. Н., Биндеман Н. Н., Вевиоровская М. А., Альтовский М. Е., Режим подземных вод, 1938.
23. Кенэ Р., Учение о грунтовых водах, 1932.
24. Козлов В. С., Расчет дренажных сооружений, 1940.
25. Костяков А. Н., Основы мелиорации, 1938.
26. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф., Расчеты речного стока, 1934.
27. Лейбензон Л. С., Нефтепромысловая механика, ч. II, 1934.
28. Маков К. И., О методике подсчета запасов подземных вод артезианского бассейна, «Разведка недр», № 23, 1936.
29. Маков К. И., О запасах подземных вод Северо-Украинской мульды, «Инженерная геология и гидрогеология», Сборник № 1, 1939.
30. Малишевский Н. Г., Новый способ определения мощности подземных потоков, «Труды I Всесоюзного (XIII) водопроводного и санитарно-технического съезда в г. Баку в 1925 г.», вып. 4, ч. II, 1928.
31. Маньковский Г. П., Ереснов Н. Б. и Плотников Н. А., Водоснабжение промышленных предприятий и населенных мест, 1938.
32. Мейнцер О. Э. Учение о подземных водах, 1935.
33. Московский санитарный научно-исследовательский институт им. Ф. Ф. Эрисмана, Альбом по водоснабжению, 1939.
34. Огиевский А. В., Гидрология суши, 1941.
35. Оводов В. С., Сельскохозяйственное водоснабжение, 1939.
36. Принц Е. и Камне Р., Гидрогеология т. II, «Источники», 1937.
37. Принц Е., Гидрогеология (источники, грунтовые воды, подземные воды и каптаж грунтовых вод), 1932.
38. Саваренский Ф. П., Гидрогеология, 1935.
39. Саваренский Е. Ф., Обобщенная формула Кенэ и три случая ее применения, Гидрогеология и инженерная геология, Сборник статей № 2, 1936.
40. Саваренский Ф. П., Васильевский М. М. Щеголев Д. И., Материалы для характеристики ресурсов подземных вод по районам СССР, 1933.
41. Семенов М. П., Абрамов С. К. и др., Технические условия на изыскания и проектирование водозаборов, эксплоатирующих подземные воды. (рукопись), Водгео, 1941.
42. Семенов М. П., Землянский Е. Г. и др., Инструкция для буровых мастеров по бурению и опробованию скважин для водоснабжения, 1943.
43. Силин-Бекчурин А. И., Курс специальной гидрогеологии для техникумов, 1937.
44. Советов С. А., Общая гидрология, 1935.
45. «Советская геология» № 4 за 1941 г., «О классификации запасов месторождений твердых полезных ископаемых».
46. Сурин А. А., Водоснабжение, ч. I, 1926.
47. Биндеман Н. Н., Ускоренное вычисление дебита скважин, колодцев и родников, 1945.

Техн. редактор *В. С. Дахнов*

Сдано в набор 15/XI 1946 г. Подписано к печ. 20/V 1947 г.
Формат 84 × 108 1/32. Печ. л. 14,25. УИЛ 12,82. Учетн. № 7469.
Тираж 2.500 экз. М03230. Цена 9 р. 60 к. Заказ № 4180.

4-я типография им. Евг. Соколовой треста «Полиграфкнига» ОГИЗа при Совете Министров СССР, Ленинград, Измайловский пр., 29.

Опечатки

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать	По чьей вине
116	1 снизу	$1\frac{R}{r}$	$\ln\left(\frac{R}{r}\right)$	Автора
124	4 снизу	$Q = \sqrt[m]{S}$	$Q = n\sqrt[m]{S}$	Типографии
134	9 снизу	(рис. 46)	(рис. 44)	„