

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

М.С. Плеханов

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Утверждено
Редакционно-издательским советом университета

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2013

УДК 556.3(470.53)(076.5)

ПЗ8

Рецензенты:

д-р техн. наук *Г.А. Цветков*

(Пермский национальный исследовательский
политехнический университет);

В.А. Чернопазов

(ООО «УралГео», г. Пермь)

Плеханов, М.С.

ПЗ8 Гидрогеологические особенности Пермского края :
практикум / М.С. Плеханов. – Пермь : Изд-во Перм. нац.
исслед. политехн. ун-та, 2013. – 109 с.

ISBN 978-5-398-01119-7

Содержит примеры гидрогеологических расчетов по определению проницаемости грунтов, коэффициента фильтрации, расхода потока подземных вод и др.

Предназначен для магистров горно-нефтяного факультета.

УДК 556.3(470.53)(076.5)

ISBN 978-5-398-01119-7

© ПНИПУ, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Определение проницаемости грунтов по ГОСТ 23278–78	11
1.1. Метод откачки воды из скважин.....	11
1.2. Выполнение исследований и расчетов по определению коэффициента фильтрации методом откачки воды из одиночной скважины	18
1.3. Расчет коэффициента проницаемости (фильтрации) при кустовом расположении скважин	23
1.4. Метод налива воды в шурфы	29
1.5. Измерение расхода воды в скважине	36
1.6. Определение коэффициента проницаемости и водопроницаемости грунтов	41
2. Определение коэффициента фильтрации	43
3. Определение скорости фильтрации ламинарных потоков подземных вод	49
4. Определение скорости фильтрации потоков подземных вод при турбулентном движении подземного потока.....	54
5. Определение расхода потока подземных вод	56
6. Определение запасов ресурсов подземных вод	59
7. Схемы движения грунтовых вод при горизонтальном и наклонном расположении водоупорных грунтов	65
8. Расчет притока грунтовых вод к водозаборным сооружениям	67
9. Расчет водозаборных сооружений грунтовых (подземных) вод.....	72
10. Понижение грунтовых вод на строительных площадках	79
11. Задачи инженерной геологии.....	85
12. Расчеты свойств грунтов геофизическими методами	95
13. Камеральные работы.....	98
Приложение 1	103
Приложение 2	108

ВВЕДЕНИЕ

Гидрогеология – базовая дисциплина для специалистов строительной отрасли народного хозяйства, профилирующий предмет для изучающих водоснабжение и водоотведение.

Инженерная геология – наука о геологической среде, ее рациональном использовании в целях хозяйственной деятельности.

Для объектов хозяйствования Пермского края гидрогеологические и инженерно-геологические обоснования имеют большое значение при размещении объектов строительства и дальнейшей эксплуатации, введении в строй новых объектов промышленности и объектов гражданского назначения.

Практические занятия по теоретическому курсу «Гидрогеологические особенности Пермского края» предусматривают выполнение расчетов основных параметров движения подземных вод (динамики подземных вод). Особое внимание на практических занятиях уделяется разнообразию ситуаций, возникающих в системе горные породы – подземные воды.

***Основные понятия, термины, определения,
принятые в нормативной документации
и применяемые в гидрогеологической практике
(ГОСТ 23278–78)***

Гидрогеология – это наука о подземных водах, она изучает их происхождение, условия залегания, состав и свойства, законы движения подземных вод.

Вполне закономерно выделить понятие *инженерной гидрогеологии*, которая рассматривает рациональное использование подземных вод, охрану их от истощения и техногенного загрязнения.

При этом необходимо учитывать состояния, в которых вода может находиться в горных породах:

- 1) физически связанная вода – прочносвязанная и рыхлосвязанная или пленочная;
- 2) свободная – капиллярная и гравитационная;
- 3) парообразная;
- 4) в твердом состоянии в виде льда.

Горные породы делятся на два основных вида – это водопроницаемые и водоупорные (или водонепроницаемые).

Режим подземных вод зависит от *факторов*, которые подразделяются на три основных вида:

- 1) климатические – в зависимости от территориального нахождения подземных вод (в свою очередь, могут быть сезонными или многолетними);
- 2) гидрологические – зависящие от естественных поверхностных водотоков, озер, болот;
- 3) техногенные – зависящие от искусственных водохранилищ, каналов, мелиоративных систем и зон орошения.

Подземные воды имеют четкое разграничение по своему состоянию: они могут быть напорными и безнапорными. *Напорными подземными водами* называют воды, которые имеют уровень становления выше, чем уровень разгрузки. При этом не обязательно напорные воды должны изливаться на дневную поверхность.

В природе достаточно примеров, когда замкнутый водоносный горизонт имеет не горизонтальное расположение, а расположен под углом к горизонту или имеет дугообразную форму. Разница абсолютных отметок становления подземных вод и уровня разгрузки называется *напором* подземной воды.

Подземные воды делятся:

- на *верховодку* – воды, расположенные непосредственно в зоне аэрации у поверхности земли и имеющие локальное распространение;

– *грунтовые воды* – воды, располагающиеся на первом (от поверхности) водоупорном горизонте, могут быть напорными водами и иметь зоны разгрузки в виде выходов родников на поверхность или в русла водотоков и акваторий озер.

Грунтовые воды могут образовывать постоянные водоносные горизонты, названия которым дается в зависимости от возраста горных пород, образующих эти горизонты. Например, верхнечетвертичный аллювиальный, нижнемеловой, верхнекаменноугольный водоносные горизонты, современный техногенный водоносный горизонт (техногенная верховодка).

Для определения расположения подземных вод составляются *гидрогеологические карты*, на которых указывается расположение водоносных горизонтов на местности и по глубине залегания:

1) карты гидроизобат – на этих картах указаны линии равных глубин залегания подземных вод, называемых гидроизобатами;

2) карты изогипс – на этих картах наносятся абсолютные или относительные отметки залегания подземных вод. На этих картах стрелками указывается направление движения подземных вод;

3) карты гидроизопьез, на которые наносятся абсолютные отметки уровней напорных вод (гидроизопьезы – это линии, соединяющие точки напорных вод с одинаковыми отметками).

Важным параметром в характеристике движения подземных вод является *гидравлический градиент*, который характеризуется перепадом давлений в потоке подземных вод на длине рассматриваемого участка потока. Для напорных вод это уклон пьезометрического уровня, для безнапорных – уклон поверхности подземных вод.

В прошлом веке для определения гидрогеологических характеристик горных пород и подземных вод для целей строительства и практики эксплуатации существующих сооружений был введен единый порядок исследования их состояния и соответствующая методика.

В нашей стране термины и определения гидрогеологии трактуются следующим образом:

Проницаемость – свойство (способность) грунта пропускать жидкость или газ под действием перепада давлений или напора.

Водопроницаемость – проницаемость грунта для воды.

Фильтрация жидкости – движение жидкости в пористой среде.

Скорость фильтрации – расход жидкости, протекающей через единицу площади поперечного сечения грунта, включающей площадь сечения порового пространства и площадь сечения скелета грунта.

Коэффициент водопроницаемости (фильтрации) – скорость фильтрации воды при градиенте напора, равном единице.

Градиент напора – понижение напора воды, отнесенное к единице длины пути фильтрации.

Безнапорные подземные воды – воды водоносных пластов, имеющие свободную поверхность, давление на которой равно атмосферному.

Напорные подземные воды – воды водоносных пластов, не имеющие свободной поверхности и изолированные слабопроницаемыми или водоупорными грунтами с пьезометрическим напором над верхней границей пласта.

Зона неполного водонасыщения – грунты, расположенные выше уровня грунтовых вод.

Зона насыщения – насыщенные водой грунты, расположенные ниже уровня грунтовых вод или кровли напорного пласта.

Откачка – работы по откачке воды из скважины, шурфа или других выработок с целью понижения уровня (напора) подземных вод для определения коэффициента фильтрации и других гидрогеологических характеристик горных пород, грунтов.

Налив (нагнетание) – налив (нагнетание) воды или воздуха в скважину или шурф с целью повышения напора (давления) в водоносном пласте и создания потока грунтовых вод (воздуха)

в зоне неполного насыщения для определения гидрогеологических характеристик горных пород, грунтов.

При полевых испытаниях грунтов на проницаемость водой рассматриваются гидрогеологические условия их залегания:

1) выше уровня грунтовых вод или кровли напорного пласта (*зона неполного водонасыщения*);

2) ниже уровня грунтовых вод или кровли напорного пласта (*зона полного водонасыщения*).

Характеристика методов полевых испытаний для определения проницаемости грунтов

Полевые испытания грунтов проводятся для определения проницаемости грунтов, как параметра, необходимого для выявления расхода (дебита) скважины или группы скважин. Охарактеризуем методику и условия проведения испытаний (табл. В.1, В.2).

Таблица В.1

Проведение испытаний при расположении грунтов выше уровня грунтовых вод

№ п/п	Наименование метода испытания	Методика испытания	Условия применения метода испытания
1	Основной	Налив воды в шурфы	–
2	Вспомогательный	Нагнетание воды в скважины	Грунты скальные трещиноватые
3	»	Нагнетание воздуха в скважины	Грунты скальные трещиноватые, песчаные, глинистые
4	Допускаемый к применению	Налив воды в скважины	Большая мощность зоны аэрации
5	То же	Измерение параметров трещиноватости	Скальные трещиноватые массивы

Таблица В.2

Проведение испытаний при расположении грунтов
ниже уровня грунтовых вод

№ п/п	Наименование метода испытаний	Методика испытаний	Условия применения метода испытания
1	Основной	Откачка воды из скважины	–
2	Вспомогательный	Нагнетание воды в скважины	Скальные трещиноватые грунты
3	»	Измерение воды в скважине (расхода)	Слоистые грунты
4	Допускаемый к применению	Налив воды в скважины	Полупроницаемые грунты при $K_{\phi} < 1$ м/сут
5	То же	Откачка воды из шурфов	В водонасыщенных полупроницаемых грунтах или при высоком стоянии грунтовых вод
6	»	Режимные наблюдения	При наличии стационарной сети режимных скважин
7	»	Индикаторный метод	При определении действительной скорости движения подземных вод

Особое внимание при проведении в полевых условиях испытаний грунтов, расположенных ниже уровня грунтовых вод, для определения их водопроницаемости необходимо учитывать однородность или неоднородность (литологическое строение) пластов; ограниченность или неограниченность мощности и набор пластов; размеры пласта в плане и его форму; состав (температурный, химический), режим подземных и поверхностных вод.

Должна быть известна конструкция скважин и размещение водоприемной части скважины в плане на местности.

До начала полевых работ должна быть четко определена программа и режим испытаний – установившийся, неустановившийся и квазистационарный при постоянном дебите ($Q = \text{const}$)

или при постоянном понижении уровня воды в опытной скважине ($S = \text{const}$).

Если полевые изыскания проводятся в зоне неполного водонасыщения, необходимо учитывать литологическое строение и мощность этой зоны, а именно:

- расстояние от земной поверхности до уровня грунтовых вод;
- величину капиллярного вакуума – давления;
- характер распределения влажности грунта по вертикали;
- наличие ходов зверей-землероев;
- особенности структуры грунта и рельефа земной поверхности;
- особенности конструкции инфильтрометров.

Как правило, методы полевых испытаний проницаемости грунтов применяются в общем комплексе инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий на конкретном объекте.

Все данные, получаемые в процессе выполнения полевых изысканий, надлежит отражать в рабочих журналах специальной формы.

В зависимости от задач, поставленных техническим заданием на выполнение изысканий по определению проницаемости грунтов, устанавливается метод, который применяется в полевых условиях для получения данных о качестве грунта и его возможности нести нагрузку при строительстве соответствующего сооружения или комплекса сооружений.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ГРУНТОВ по ГОСТ 23278–78

1.1. Метод откачки воды из скважин

Общая подготовка скважин

Откачка воды из скважины производится по технологическим схемам испытаний, предусматривающим наличие одиночной или нескольких скважин (не менее трех), называемых кустами.

Проведение испытаний на ранних стадиях исследований в простых геологических и гидрогеологических условиях проводятся на одиночной скважине и, как правило, на ранних стадиях исследования.

Испытания грунтов для ответственных объектов при сложных гидрогеологических условиях производятся при наличии куста свай.

Для правильного определения пунктов испытаний, количества откачек, технологии их проведения разрабатывается проект производства работ, в котором учитывается расположение и количество наблюдательных скважин, продолжительность откачек в зависимости от целевого назначения испытаний, с учетом инженерно-геологических и гидрогеологических условий территории.

В зависимости от свойств фильтрационных пластов грунта и принятой расчетной схемы задается глубина заложения фильтров и расположение наблюдательных скважин (при кустовом методе исследования). Расстояние между наблюдательными и центральной скважинами определяется после выполнения расчетов, которые необходимо сделать в подготовительный период, до начала полевых работ. При этом следует учитывать, что разность величин понижения уровня воды в соседних наблюдательных скважинах и величина понижения уровня воды

на конец откачки в дальней наблюдательной скважине должна превышать абсолютную величину возможной ошибки измерения не менее чем в десять раз.

Продолжительность испытаний (при кустовой схеме) необходимо определять на основе предварительных расчетов, выполненных с условием, что длительности откачки воды должны быть получены в зависимости от изменения понижения уровня воды во времени и по площади, а наблюдательные скважины должны быть расположены в предполагаемой зоне стационарного режима.

Продолжительность испытаний по определению проницаемости грунтов:

1) при кустовой схеме скважин – не менее 3 сут с обязательной проведением откачки в предполагаемой зоне стационарного режима;

2) для одиночной скважины – не менее 0,5 сут.

В ходе испытаний по определению проницаемости грунтов бурение скважин следует выполнять ударно-канатным или вращательным (колонковым, роторным) способом.

При бурении скважин на участках строительства жилых, общественных, промышленных, гидротехнических и мелиоративных сооружений применение глинистых растворов запрещено. На участках территорий, где предполагается осуществить строительство водозаборов для использования подземных вод, бурение скважин в рыхлых или неустойчивых скальных породах допускается выполнять с применением глинистых растворов с обязательной их тщательной промывкой чистой водой (разглинизацией) перед выполнением изысканий.

Если бурение скважин выполняется для исследования проницаемости горных пород в грунтах, обеспечивающих устойчивость стенок ствола скважины, то установка фильтров не обязательна, и наоборот, при неустойчивости стенок стволов скважин установка фильтров обязательна.

При выполнении работ по опусканию в скважины оборудования (тампона, фильтра, затрубного пьезометра) должна быть обеспечена герметизацией стыков соединений труб и их водонепроницаемость, а башмак колонны обсадных труб должен быть расположен на 1 м выше верха установленного фильтра.

При установке фильтров с гравийной обсыпкой обнажение фильтра следует производить постепенно, медленно поднимая обсадную колонну на 0,5–0,6 м, после засыпки в скважину слоя гравия 0,8–1,0 м. Верхняя граница гравийной засыпки должна быть выше верха водоприемной части фильтра и равняться расчетному радиусу обсыпки или составлять минимум 0,5–0,7 м.

Территория вокруг скважин, в которых производится исследование по определению проницаемости грунтов, должна быть обеспечена надежной изоляцией от поверхностных вод и атмосферных осадков.

Перед началом работ по определению проницаемости грунтов необходимо выполнить цикл прокачки скважины продолжительностью не менее 2 ч, а в некоторых случаях и более – до полного осветления прокачиваемой воды с последующим наблюдением за восстановлением уровня воды до статического. В рыхлых грунтах прокачку скважин следует производить с постепенным увеличением расхода промывочной воды до полного ее осветления.

В соответствии с принятой расчетной схемой испытаний, зависящей от изменений в пространстве фильтрационных свойств исследуемого пласта, определяется количество испытываемых скважин, объединяемых в исследовательский куст скважин.

Аппаратура

Для проведения испытаний на проницаемость грунтов применяется следующая аппаратура:

- водоподъемники различных конструкций;
- приспособления или устройства для измерения уровня расхода воды с погрешностью измерений не более 5 %;

– приспособления или устройства для измерения уровня воды (напора) в скважинах на глубинах до 10 м с точностью до 1 см, на больших глубинах – с погрешностью до 0,1 %;

– уплотнительные устройства для создания герметичности соединений;

– фильтры различных конструкций, причем материал фильтров должен обеспечивать необходимую прочность и коррозионную стойкость в течение периода проведения испытаний.

Диаметр труб верхней части колонны фильтров должен обеспечивать возможность установки водоподъемного оборудования расчетной производительности в течение всего периода испытаний и возможность выполнения замеров динамического уровня воды при испытаниях, а в наблюдательных скважинах – обеспечивать спуск датчика для замера уровня воды в скважине и возможность выполнять работы по чистке фильтра и прокачке воды.

Водоприемная поверхность фильтров, устанавливаемых в центральных скважинах, должна обеспечивать получение ожидаемого расхода воды, а устанавливаемых в наблюдательных скважинах – расход не менее 5 %.

Размеры проходных отверстий фильтров должны определяться в зависимости от гранулометрического состава грунта водоносного пласта, проходные отверстия должны пропускать не более 70–80 % высушенных частиц грунта этого пласта.

В песчаных и гравийных грунтах с содержанием фракций размером до 0,5 мм, не превышающих 10 мас. %, фильтры выполняются без гравийной обсыпки, в остальных рыхлых грунтах гравийная обсыпка должна быть выполнена слоем не менее 50 мм.

Фильтры, устанавливаемые при испытаниях в песчаных и гравелистых грунтах, должны быть оснащены пьезометром с отстойником. При установке пьезометра должно выполняться правило, что длина его перфорированной части должна быть равна рабочей длине фильтра в случае, если длина фильтра ме-

нее 5 м. Если длина фильтра более 5 м, то длина перфорированной части пьезометра должна быть равной 5 м и размещаться эта часть должна напротив средней части фильтра.

***Мероприятия, выполняемые при подготовке
к проведению испытаний по определению
проницаемости грунта методом откачки***

Особое внимание при подготовке к испытаниям по определению проницаемости грунтов следует уделять готовности технологического оборудования скважин к выполнению работ:

- ◆ Следует произвести очистку скважин от разного рода шламов, опытную откачку воды, убедившись в функциональной возможности проведения испытаний.

- ◆ Проверить правильность замеров уровня воды в скважинах и заполнить в журнале испытаний (прил. 1) строку о проведенной проверке.

- ◆ Установить фильтры и выполнить замер глубины их установки. Глубину установки зафиксировать в журнале испытаний.

- ◆ Повторно произвести очистку скважин от шлама после установки фильтров (при необходимости).

- ◆ Если имеются гидравлические связи скважины с близко расположенным поверхностным водоемом (озером, прудом, рекой), то необходимо установить на этом водоеме водомерную рейку для контроля уровня воды при выполнении изысканий на скважинах.

- ◆ Произвести рекогносцировку и нивелирование замерных нулевых точек и выполнить запись об этом в журнале испытаний.

- ◆ Установить в скважине измерительную аппаратуру, проверить ее работу.

- ◆ Выполнить контрольный замер уровня воды в скважине.

◆ Произвести установку на скважине водооткачивающего оборудования и устройства для отвода откачиваемой из скважины воды. Произвести пробную откачку.

◆ Выполнить контрольную проверку работы всего комплекса установленного оборудования и контрольной аппаратуры.

◆ Выполнить прокачку и вести наблюдение за восстановлением уровня воды в скважине до статического уровня.

◆ Установить устройства (лотки, трубы) тракта для отвода из скважины откачиваемой воды, которые должны обеспечивать пропуск расчетного количества воды на расчетное расстояние.

Последовательность работ

Работы по проведению испытаний методом откачки надлежит выполнять в следующей последовательности:

- включение водоподъемника;
- время начала работ по откачке воды зафиксировать в журнале испытаний;
- периодически производить замеры расхода и уровня воды в центральной скважине;
- периодически производить замеры уровней воды в наблюдательных скважинах и по водомерному посту, установленному у поверхностного водоема (реки, озера, водохранилища);
- в период проведения испытаний вести контроль за работой измерительной аппаратуры, установленной на скважинах;
- во время проведения испытаний вести наблюдения за состоянием природной обстановки, влияющей на режим уровня подземных вод, и фиксировать в журнале испытаний все природные изменения, происходящие в данной местности, – дождь, паводок, таяние снега, изменение атмосферного давления, температуры и т.д.;
- время прекращения откачки зафиксировать в журнале испытаний;

– после прекращения откачки вести наблюдения за процессом восстановления уровня воды в скважинах и при необходимости выполнить нивелирование нулевых точек;

– после стабилизации уровня воды в центральной скважине выполнить замер глубины стояния уровня воды.

Испытания необходимо проводить при постоянной величине расхода воды или понижении уровня воды в скважине и осуществлять непрерывный отвод откачиваемой воды на расстояние, исключающее возможность ее влияния на уровень (или напор) в исследуемых скважинах в период откачки и после нее.

В период выполнения работ по определению проницаемости грунта откачку следует производить непрерывно. При проведении откачки допускаются непродолжительные перерывы по техническим и технологическим причинам, которые не должны превышать суммарно 10–15 % от продолжительности испытания и не должны приводить к искажению общего вида (графика) изменения уровня воды в скважине во времени.

Для построения графиков, фиксирующих понижение или повышение уровня воды и расход потока, проектом изыскательских работ определяется частота измерений, одновременно определяется расход потока воды и движение (динамика) уровня водной поверхности в скважине.

Частота измерений зависит от целевого назначения и продолжительности откачки воды и должна быть достаточной для построения графиков движения воды во время проведения испытаний.

Наблюдения за уровнем воды в скважинах производится в одной и той же последовательности с тем, чтобы промежутки времени между замерами в одних и тех же скважинах были по возможности равными.

Не допускается выполнять откачку воды в период паводков из скважин, расположенных на участках прибрежной территории, которая имеет водоносные горизонты, гидравлически связанные с поверхностными водотоками и водоемами, а также

из скважин, расположенных вблизи крупных карстовых родников со значительным колебанием расхода во времени.

После окончания работ по откачке воды из скважины необходимо проводить наблюдения за восстановлением уровня воды в скважинах с частотой наблюдений, обеспечивающей получение данных для составления графиков прослеживания.

После завершения работ по получению и полевой обработке результатов испытаний производится проверка всех полученных данных, после проверки разрешается ликвидация скважин в соответствии с требованиями утвержденного регламента.

Для контроля качества выполненных изысканий по откачке воды из скважин надлежит выполнить построение следующих графиков:

– изменение величин понижения уровня воды S во времени t , в центральной скважине $S = f(t)$, в наблюдательной скважине $S = f(\lg t)$;

– изменение величины расхода воды Q во времени в центральной скважине, где $Q = f(t)$.

Следует также фиксировать данные кустовых откачек (при необходимости), где расстояние между центральной скважиной и наблюдательными скважинами обозначается через r :

– для площадного изыскания $S = f(\lg r)$;

– для комбинированного изыскания $S = f\left(\frac{\lg t}{r_2}\right)$.

1.2. Выполнение исследований и расчетов по определению коэффициента фильтрации методом откачки воды из одиночной скважины

Вводные данные 1. Грунт – насыпной, суглинок серо-буро-коричневый с древесой и щебнем 7–26 %.

Дата бурения 16.06.2010 г. Дата испытаний 16.06.2010 г.
Диаметр скважины 132 мм. Диаметр обсадной трубы 127 мм.

Условия испытаний: стенки скважины непроницаемые, дно открытое. Геологический разрез скважины представлен на рис. 1.1.

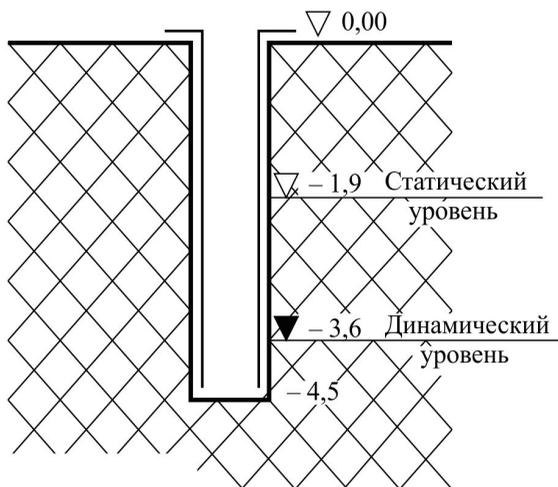


Рис. 1.1. Геологический разрез опытной скважины. Масштаб 1:100

Коэффициент фильтрации рассчитываем по формуле Форхгеймера:

$$K_{\phi} = \frac{r}{4t} \ln \left(\frac{S_1}{S_2} \right),$$

где r – радиус скважины, $r = 0,063$ м; S_1 – положение расчетного динамического уровня грунтовой воды (отмеренное от статического) при восстановлении в момент времени t_1 , $t_1 = 1,36$ м; S_2 – то же в момент времени t_2 , $t_2 = 0,34$ м; t – время, в течение которого динамический уровень восстанавливается из положения S_1 в положение S_2 , сут, $t = (t_1 - t_2)$.

Пример расчета:

$$K_{\phi} = \frac{0,063}{4 \cdot 0,0045} \ln \frac{1,35}{0,34} = 3,5 \cdot 1,38 = 4,8 \text{ м/сут.}$$

По данным наблюдений для обеспечения контроля выполненных исследований по определению K_{ϕ} суглинка, вскрытого исследуемой скважиной, строим график восстановления уровня воды в скважине (рис. 1.2).

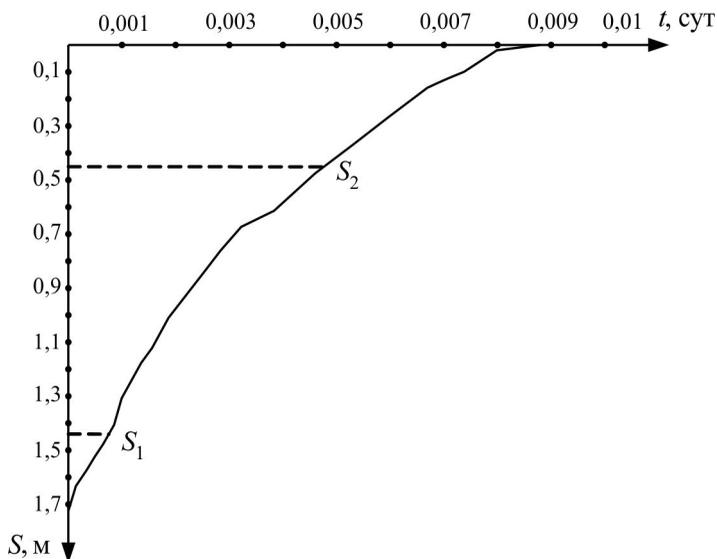


Рис. 1.2. График восстановления уровня воды в исследуемой скважине

Вводные данные 2. Грунт – насыпной, суглинок, глина, гравийный и галька. Геолого-литологический разрез скважины представлен на рис. 1.3.

Расчет K_{ϕ} производим по формуле Форхгеймера.

Пример расчета:

$$K_{\phi} = \frac{0,054}{4 \cdot 0,083} \ln \frac{0,82}{0,2} = 0,23 \text{ м/сут.}$$

Расчет (проверочный) производится по формуле Е.А. Замарина:

Геолитический индекс	Глубина залегания слоя, м		Мощность, м	Отметка подошвы слоя, м	Геолого-литологический разрез	Место отбора проб грунта, пробы воды, литературный номер	Описание грунта	Сведения о воде		Конструкция скважины при откачке
	от	до						появление в воде, м	уровень, м	
	0,00	3,80	3,80	160,17			Насыльный грунт: до глубины 0,1 м асфальт, ниже щебень – 50 %, заполнитель – песок средней крупности, коричневато-серый, малой степени водонасыщения, с прослойками суглинка коричневого, тугопластичного. Грунт отсыпан сухим способом, слежавшийся, возраст более 10 лет	3,50	Установка	108 мм
	3,80	4,00	0,20	159,97		4	Суглинок коричневый, мягкопластичный	13,04.12	13,04.12	112 мм
	4,00	4,90	0,90	159,07		6	Суглинок коричневый, коричневато-серый, мягкопластичный	6,23	6,03	
	4,90			157,07		8 10	Глина коричневая, тугопластичная, с единичными вкраплениями гравия и гальки	13,04.12	7,05	
						12	Суглинок серый, полутвердый, с единичными вкраплениями гравия и гальки	12,60		
							Гравийный грунт: гравий и галька кварцевато-кременистого состава средней окатанности, размером 0,5–4,0 см – 60–70 %, заполнитель – суглинок коричневый, полутвердый, с прослойками песка мелкого, насыщенного водой	13,04.12		13,50

Рис. 1.3. Геолого-литологический разрез исследуемой скважины

$$K_{\phi} = \frac{1,57r(S_1 - S_2)}{t(S_1 + S_2)},$$

где r – радиус скважины, $r = 0,054$ м; S_1 и S_2 – расчетные понижения уровня воды в скважине:

$$S_1 = 0,8S_0,$$

$$S_2 = 0,2S_0,$$

где S_0 – замеренное понижение уровня воды в скважине, $S_0 = 1,02$ м; t – время, в период которого происходит повышение уровня воды от S_2 до S_1 , $t = 0,083$ сут.

Пример расчета:

$$S_1 = 0,8S_0 = 0,8 \cdot 1,02 = 0,82 \text{ м},$$

$$S_2 = 0,2S_0 = 0,2 \cdot 1,02 = 0,2 \text{ м},$$

$$K_{\phi} = \frac{1,57 \cdot 0,054(0,82 - 0,2)}{0,083(0,82 + 0,2)} = 0,6 \text{ м/сут.}$$

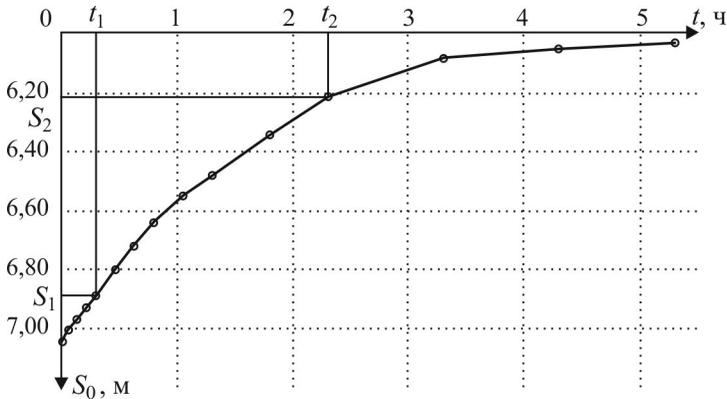


Рис. 1.4. Зависимость восстановления уровня воды в скважине от времени проведения исследований

В процессе исследований составляем график зависимости восстановления уровня воды в скважине от времени $S = f(t)$ (рис. 1.4).

1.3. Расчет коэффициента проницаемости (фильтрации) при кустовом расположении скважин

Вводные данные 3. Скважина № 5 – центральная; скважины № 5а и 5б – наблюдательные.

Технические данные центральной скважины:

Общая длина центральной скважины от поверхности земли, м12
Диаметр бурения в интервале от 0,0 до 10,0, мм151
Диаметр фильтра, мм108
Интервал установки рабочей части фильтра, м 9,00–11,50
Длина отстойника, м0,5
Длина верхней глухой части фильтра, м2,5
Превышение верха фильтровой колонны над устьем, м0,5
Тип фильтра..... щелевой сетчатый
Тип и номер сетки..... 0,5/0,25
Водоподъемное устройство..... насос

Вводные данные:

Мощность водоносного горизонта H , м.....7,5
Радиус фильтра центральной скважины r_0 , м..... 0,045
Длина рабочей части фильтра l , м2,5
Понижение уровня воды в центральной скважине S_0 , м5,1
Понижение воды в скважинах № 5а и 5б (S_1 и S_2), м... 0,6 и 0,35
Приведенный радиус влияния, R_n , м..... 40,67

Результаты кустовой откачки подземных вод, полученные при выполнении исследовательских работ 20.10.2011 г.: продолжительность работ: откачка – 12 ч, восстановление статического уровня воды – 12 ч.

Статический уровень воды для скважин № 5, 5а, 5б, м..... 4,5
 Мощность водоносного горизонта H , м7,5
 Радиус центральной скважины, м 0,054
 Радиус от центральной скважины
 до наблюдательных скважин № 5а и 5б (r_1 и r_2), м... 0,8 и 1,3
 Понижение уровня воды в скважинах
 № 5, 5а, 5б (S_0, S_1, S_2), м5,1; 0,6; 0,35
 Дебит центральной скважины Q , л/с ($\text{м}^3/\text{сут}$) 1,2 (103,7)
 Геолого-литологический разрез скважины № 5 – централь-
 ной – приведен на рис. 1.5.

Расчет коэффициента фильтрации для скважин производим по формуле Дюпюи.

1. Для центральной скважины № 5

$$K_{\phi} = \frac{0,73Q \lg\left(\frac{R_n}{r_0}\right)}{(2H - S_0)S_0}.$$

Пример расчета:

$$K_{\phi} = \frac{0,73 \cdot 103,7 \lg\left(\frac{40,67}{0,054}\right)}{(2 \cdot 7,5 - 5,1) \cdot 5,1} = 4,31 \text{ м/сут.}$$

2. Для центральной скважины № 5 и наблюдательной № 5а:

$$K_{\phi} = \frac{0,73 \cdot Q \lg\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{(2H - S_0 - S_1)(S_0 - S_1)}.$$

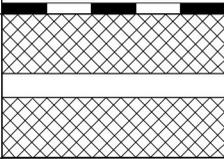
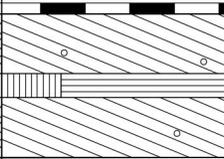
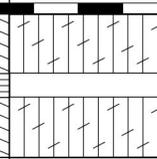
Номер слоя	Геологический индекс	Глубина залегания слоя, м		Мощность, м	Отметка подошвы слоя, м	Геолого-литологический разрез	Описание грунта	Уровень подземных вод	
		от	до					Появление пинксы	Установившаяся
1	1Q	0,00	5,10	5,10	118,77		Насыльный грунт представлен строительным мусором (обломки кирпича, древесины) до 20 %, щебень, гравий и галька – до 30 %. Заполнитель – суглинок коричневого и серый, твердый до тугопластичного. С глубины 4,5 м грунт насыщен водой. 4 2	4,50	4,50
2	oQ	5,10	10,50	5,40	113,37		Суглинок серый, полутвердый, с корнями деревьев. С глубины 6,2 м суглинок серый, тяжелый пылеватый и легкий пылеватый, тугопластичный, с редкими включениями гальки	20:10:11	20:10:11
3	p	10,50	12,00	Вскр. 1,50	111,37		Ариллит буровато-коричневый, слоями серый, сильновыветрелый, сильнотрещиноватый, по трещинам обводнен		

Рис. 1.5. Геолого-литологический разрез скважины № 5 (центральной)

Пример расчета:

$$K_{\phi} = \frac{0,73 \cdot 103,7 \lg\left(\frac{0,8}{0,054}\right)}{(2 \cdot 7,5 - 5,1 - 0,6)(5,1 - 0,6)} = 2,12 \text{ м/сут.}$$

3. Для центральной № 5 и наблюдательной № 5б:

$$K_{\phi} = \frac{0,73 \cdot Q \lg\left(\frac{r_2}{r_0}\right)}{(2H - S_0 - S_2)(S_0 - S_2)}.$$

Пример расчета:

$$K_{\phi} = \frac{0,73 \cdot 103,7 \lg\left(\frac{1,3}{0,054}\right)}{(2 \cdot 7,5 - 5,1 - 0,35)(5,1 - 0,35)} = 2,3 \text{ м/сут.}$$

4. Для наблюдательных № 5а и № 5б:

$$K_{\phi} = \frac{0,73 \cdot Q \lg\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)}.$$

Пример расчета:

$$K_{\phi} = \frac{0,73 \cdot 103,7 \lg\left(\frac{1,3}{0,8}\right)}{(2 \cdot 7,5 - 0,6 - 0,35)(0,6 - 0,35)} = 4,54 \text{ м/сут.}$$

Геолого-литологический разрез наблюдательных скважин № 5а и 5б представлены на рис. 1.6–1.7.

Геологический разрез скважин № 5 (центральной), № 5а и 5б (вспомогательных) представлен на рис. 1.8.

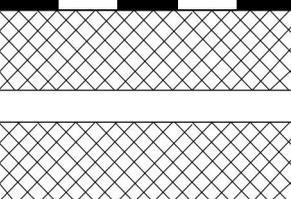
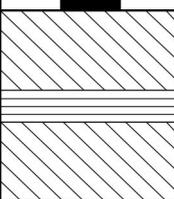
Номер слоя	Геологический индекс	Глубина залегания слоя, м		Мощность, м	Отметка подошвы слоя, м	Геолого-литологический разрез	Описание грунта	Уровень подземных вод, м	
		от	до					Появление	Установившийся
1	tQ	0,00	5,00	5,00	118,87		<p>Насыпной грунт представлен строительным мусором (строительная плитка, кирпич, древесина (25%), щебень, гравий и галька (35%)). Заполнитель – суглинок коричневого, твердый до тугопластичного. Грунт отсыпан сухим способом, слежавшийся, возраст более 10 лет. В интервале 2,8–3,6 м вскрыт бетонный блок. Ниже насыпной грунт представлен суглинком тугопластичным со строительным мусором (20%)</p>	4,50	4,50
2	oQ	5,00	8,00	Вскр. 3,00	115,87		<p>Суглинок серый, тяжелый пылеватый и легкий пылеватый, тугопластичный, с корнями растений</p>	20.10.11	20.10.11

Рис. 1.6. Геолого-литологический разрез наблюдательной скважины № 5а

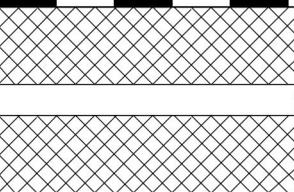
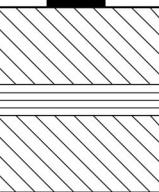
Номер слоя	Геологический индекс	Глубина залегания слоя, м		Мощность, м	Отметка подошвы слоя, м	Геолого-литологический разрез	Описание грунта	Уровень подземных вод, м	
		от	до					Постоянный	Установившийся
1	tQ	0,00	5,20	5,20	118,67		Насыпной грунт представлен строительным мусором (обломки кирпича, древесины 25 %, гравий и галька 35 %). Заполнитель – суглинок и тугопластичный. На глубине 4,5 м суглинок мягкопластичный, с включениями обломков кирпича до 10 % и гравия до 10 %, с прослоями и линзами песка, насыщенного водой. Грунт отсыпан сухим способом, возраст более 10 лет	4,50	4,50
2	юQ	5,20	8,00	Вскр. 2,80	115,87		Суглинок темно-серый, тяжелый пылеватый, тугопластичный	20.10.11	20.10.11

Рис. 1.7. Геолого-литологический разрез скважины № 56

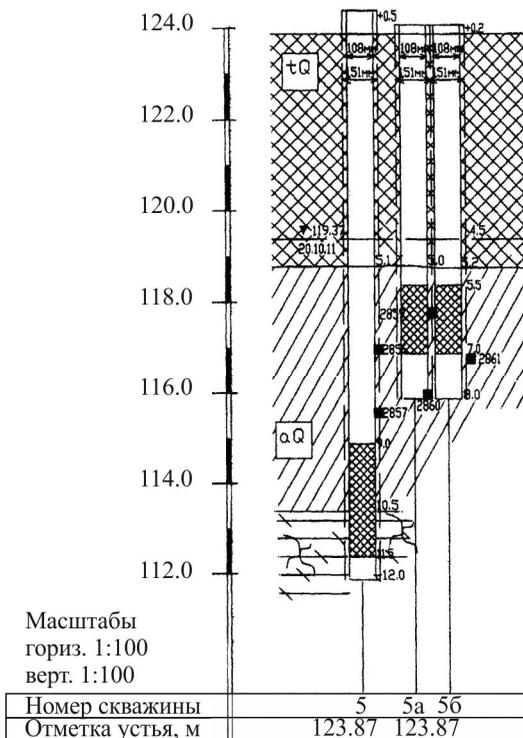


Рис. 1.8. Геологический разрез скважин № 5, 5а, 5б

1.4. Метод налива воды в шурфы

Условия проведения испытаний

Место расположения шурфов или скважин, их параметры, методика проведения испытаний, геологическая документация, отбор проб из каждого выделяемого слоя грунта (но не реже чем через 0,5 м) определяются проектом производства работ.

Лабораторными исследованиями по каждой скважине (шурфу) определяются: объемный вес грунта, пористость, влажность, полная влагоемкость, гранулометрический состав грунта.

Испытания методом налива в шурфы выполняются в однородных по литологическому составу и плотности сложных грунтах. Проводить их следует при постоянном напоре воды, определенном технологическими схемами:

– установившееся движение воды до стабилизации расхода воды (глубина промачивания в период проведения не должна достигать капиллярной каймы грунтовых вод или границы слоя грунта с иной водопроницаемостью);

– неустановившееся движение воды – без необходимости стабилизации расхода воды и ограничения глубины замачивания.

Вода, применяемая для испытания методом налива в шурфы при определении проницаемости грунтов, не должна иметь механических и органических примесей.

Проведение испытаний по схеме методом налива с неустановившимся движением воды допускается при свободном понижении уровня и постоянном расходе воды.

Аппаратура

Комплект оборудования для проведения изысканий методом налива включает в себя инфильтрометр одно- или двухкольцевой, который должен быть при однокольцевом варианте диаметром не менее 35 см, при двухкольцевом варианте – диаметр внешнего кольца не менее 45–50 см, его отношение к внутреннему кольцу 2:1.

Система для подачи воды в инфильтрометр должна обеспечивать непрерывную подачу в расчетном объеме.

Также предусмотрен инструмент для подготовки зумпфа с горизонтальным дном к испытаниям методом налива воды в шурф или скважину.

Мероприятия по подготовке к проведению испытаний по определению проницаемости грунта методом налива воды в шурфы (скважины)

При подготовке шурфа к испытанию работы должны выполняться в следующем порядке:

- устройство в шурфе зумпфа глубиной не менее 20 см с выравниванием дна и удалением кольматирующего материала;
- установка инфильтрометра с вдавливанием его на глубину не менее 2,5 см;
- устройство подушки на дне шурфа из песка, мелкого гравия или другого хорошо проницаемого материала слоем 1–2 см;
- установка питающих и резервных емкостей с водой расчетного объема.

Перед началом проведения испытаний необходимо проверить работу системы питания налива воды в шурф. При выполнении испытаний необходимо проверить оборудование для бурения скважин и средства для отбора проб грунта на влажность.

Зазор между кольцом инфильтрометра и стенками зумпфа необходимо заполнить грунтом, вынутым в процессе проходки зумпфа, – слоями 2–5 см с трамбовкой их до плотности, близкой к плотности грунта в естественном состоянии.

При использовании двухкольцевого инфильтрометра кольца устанавливаются концентрически, а уровни воды в них – одинаковыми.

Также следует заполнить вахтовый журнал проведения испытаний.

Последовательность работ

- заполнение журнала работ, отметка о начале проведения испытаний и состоянии природной обстановки;
- заполнение инфильтрометра водой слоем не менее 10 см с фиксацией начала испытаний в журнале испытаний;

- непрерывная подача воды в систему для поддержания заданного уровня или расхода воды в инфильтрометре;
- непрерывное (согласно расчету) производство замеров уровня или расхода воды, поступающей в инфильтрометр;
- в период выполнения испытаний – ведение контроля за измерительной аппаратурой и ведение журнала испытаний с фиксацией изменений природной обстановки;
- при прекращении испытаний – прекращение налива воды и выполнение записи о прекращении испытаний в журнале испытаний;
- бурение скважин (после окончания налива) для отбора проб грунта на влажность и определения глубины промачивания.

Измерение расхода воды в шурфе необходимо производить с интервалом 10 мин в течение первого часа ведения испытаний, с интервалом 20 мин – в течение второго часа испытаний, с интервалом 30 мин – в течение третьего часа, и далее с интервалом 60 мин – до окончания испытаний.

Погрешность в измерении расхода подающейся воды не должна превышать 5 % фактического расхода подаваемого количества воды, при этом:

- величина колебаний уровня воды в инфильтрометре при постоянном напоре не должна быть для полупроницаемых грунтов более 2 мм, а для хорошо проницаемых грунтов – более 5–10 мм;
- при проведении испытаний наливом с постоянным расходом воды или со свободным понижением уровня воды после налива погрешность измерений уровня воды не должна превышать 3–5 мм.

При проведении испытаний расход воды необходимо считать установившимся, если в течение последних 6 ч испытаний не наблюдается уменьшение или отклонение измеряемого расхода за этот период не превышает 10 % от средней величины этих расходов.

Для определения глубины промачивания во время испытаний допускается применять радиометрические способы измерений.

Для контроля за ходом налива и интерпретации его результатов в процессе испытаний строятся следующие графики:

1. При проведении налива с *постоянным напором* (при $h = \text{const}$) – график функциональной зависимости

$$v = f(t) \text{ и } vw = f(w),$$

где v – текущая скорость впитывания воды,

$$v = Q/F,$$

где Q – расчетный расход, F – площадь инфильтрометра, w – суммарный объем впитываемой воды, учитываемый с момента выполнения первого замера (начала испытаний).

Величины текущей скорости v и суммарный объем w впитываемой воды принимаются на один и тот же момент времени испытаний.

2. При проведении налива с *постоянным расходом* ($Q = \text{const}$) или налива *со свободным понижением уровня воды* в инфильтрометре – график функциональной зависимости

$$h = f(t) \text{ и } u = f(t),$$

где h – высота слоя воды в инфильтрометре; u – скорость подъема или понижения уровня воды в инфильтрометре.

Испытания следует немедленно прекратить, если происходит отклонение графика от линейного построения, выполненного в соответствии с зависимостью $vw = f(t)$, что свидетельствует о нарушении однородности смоченной толщи грунта.

Определение коэффициента фильтрации

Геолого-технический разрез шурфа приведен на рис. 1.9.

Дата проведения исследования – 07.07.2007 г. Отметка устья шурфа 139,64 в Балтийской системе высот, глубина проходки $H = 0,14$ м, дно шурфа – на отметке 138,24.

Данные, полученные в результате откачки из шурфа:
 Статический уровень S_0 , м 0,58
 Понижаемый уровень S , м 0,09
 Дебит Q , м³/сут 0,72
 Приведенный радиус r , м 0,535 ($d = 2r = 1,07$ м)
 Радиус влияния R , м 10
 Столб воды в шурфе l_0 , м 0,14
 Столб воды при динамическом уровне l , м 0,05
 Понижение уровня воды за время $t_1 - S_1$, м 0,087
 Понижение уровня воды за время $t_2 - S_2$, м 0,051
 Время восстановления уровня между S_1 и $S_2 - t$, сут 0,062 5

Дата проходки 03.06.1983

Отметка устья 139,64

Номер слоя	Геологический индекс	Глубина подошвы слоя, м	Мощность, м	Геолого-литологический разрез		Краткое описание пород
1	tQ	0,3	0,3			Насыпной грунт: песок, бетон
2	oQ	1,1	0,8			Песок коричневый, мелкий, влажный, с глубиной 0,85 м – водонасыщенный

Рис. 1.9. Геолого-технический разрез шурфа
 (опыт проходил на глубине 0,5 м, уровень грунтовых вод 0,58)

Коэффициент фильтрации на основании данных пробной откачки из шурфа можно определить следующим образом:

1. По формуле Е.А. Замарина

$$K_{\phi} = \frac{Q}{\frac{1,35(l_0^2 - l^2)}{\lg R - \lg r} + 4rS}$$

Пример расчета:

$$K_{\phi} = \frac{0,72}{\frac{1,35(0,14^2 - 0,05^2)}{\lg 5 - \lg 0,535} + 4 \cdot 0,535 \cdot 0,09} = 3,32 \text{ м/сут.}$$

2. По формуле Форхгеймера с поправкой Лундина

$$K_{\phi} = 4,15 \left[\frac{r^2}{(1,2H + d)t} \lg \left(\frac{S_1}{S_2} \right) \right].$$

Пример расчета:

$$K_{\phi} = 4,15 \left[\frac{0,535^2}{(1,2 \cdot 0,14 + 1,07)0,0625} \lg \left(\frac{0,087}{0,051} \right) \right] = 3,56 \text{ м/сут.}$$

На основании выполненных работ по пробной откачке грунтовых вод из шурфа производим определение коэффициента фильтрации опытным наливом воды в шурф.

Расчет производится по формуле, обоснованной А.А. Желобовым и А.Б. Дьячковым:

$$K_{\phi} = \frac{L}{t} f \left(\frac{S}{h_c} \right) 86,4,$$

где L – путь фильтрационного потока, т.е. расстояние от дна шурфа до уровня грунтовых вод, мм; t – время сработки уровня воды в кольце на величину $S = 20$ мм в момент смыкания инфильтрационного потока с грунтовыми водами, мин; h_c – суммарный напор, мм, равный расстоянию от уровня воды в кольце до уровня грунтовых вод, при малых величинах значение функции $f = S/h_c$ табулировано Н.Н. Биндеманом; S – понижаемый уровень грунтовых вод, мм; 86,4 – коэффициент, табулированный Н.Н. Биндеманом.

Пример расчета:

$$K_{\phi} = \frac{350}{392} \cdot f\left(\frac{20}{450}\right) 86,4 = 3,4 \text{ мм/мин} = \\ = 0,204 \text{ м/ч} = 4,896 \text{ м/сут.}$$

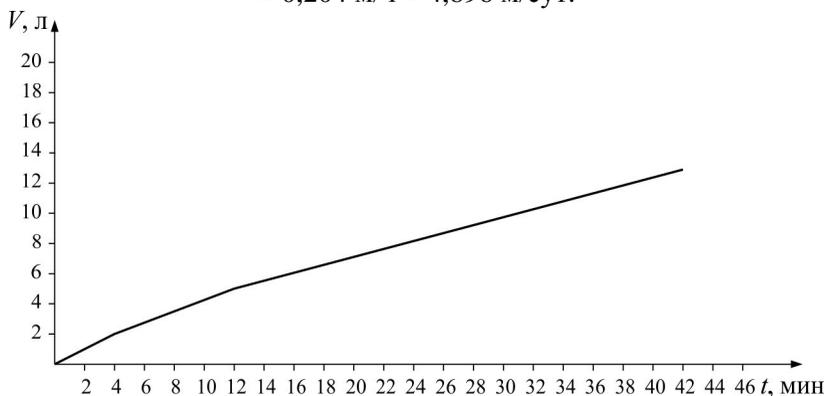


Рис. 1.10. Зависимость объема воды от продолжительности работ

По данным наблюдений строим график зависимости влитого объема воды в шурф от продолжительности работ (рис. 1.10).

1.5. Измерение расхода воды в скважине

Условия, при которых возможно проведение измерения расхода воды в скважине

Скважины, выбранные для проведения испытаний по определению расхода воды в скважине (расходомерии), должны отвечать следующим требованиям:

- диаметр ствола не менее 38 мм;
- проходкой скважины должны быть полностью вскрыты неоднородные водоносные горизонты;
- стенки скважины должны быть устойчивы и очищены от шлама, глинистого раствора.

Проведение испытаний в неустойчивых грунтах с установкой в них фильтра допускается только после предварительного их исследования геофизическими средствами (гаммакаротаж, электрокаротаж, резистивиметрия, кавернометрия).

В скважинах, которые не полностью вскрывают исследуемый пласт, испытания следует проводить только для мест, где выявлены водопритоки или поглощения подземных вод и их дебит.

Аппаратура

В комплект аппаратуры, применяемой для измерения расхода воды в скважине, входит:

- при отсутствии каротажной станции – устройство для спуска в ствол скважины расходомера;
- устройство для откачки или налива воды в скважину;
- скважинный расходомер с наземным пультом управления должен быть с порогом чувствительности не более 0,005 л/с, диапазоном измеряемых расходов (через канал прибора) 0,005–1,00 л/с, допустима погрешность измерения расходов (через канал прибора) не более 2,5 %, а погрешность измерения уровня воды в скважине при глубине измерения до 10 м – не более ± 1 см, при глубине измерения более 10 м погрешность должна быть не более 0,1 % от глубины измерения;
- уровнемер горизонта воды в стволе скважины;
- каверномер-профилемер;
- пакерная насадка.

Мероприятия, выполняемые при подготовке к измерению расхода воды в скважине

Подготовку к выполнению измерений расхода воды в скважине необходимо производить в следующей последовательности:

- проверить комплектность оборудования, необходимого для выполнения измерений расхода воды в скважине, в том числе устройств для налива или откачки воды из скважины;
- произвести предварительную прокачку скважины с последующим наблюдением за восстановлением до статического уровня воды;
- произвести монтаж и проверить работу системы измерения расхода воды;
- произвести измерение кавернометром-профилемером истинного диаметра скважины по всему исследуемому интервалу в масштабе 1:1 с одновременным уточнением фактического забоя скважины;
- установить истинную величину поискового шага (с учетом кавернограммы) после наблюдений и получения данных расходомера;
- заполнить рабочий журнал наблюдений.

Методика проведения испытаний по определению расхода воды в скважине

При выполнении испытаний по определению расхода воды в скважине выполняются следующие операции:

- замер установившегося уровня воды в скважине;
- налив воды в скважину (или откачка);
- спуск расходомера до забоя скважины с последовательной остановкой прибора на заданных точках;
- при спуске расходомера в скважину следует производить замеры расхода воды и уровня воды на заданных точках ствола;
- одновременно с замерами расхода и уровня воды в стволе скважины следует определять направления движения потока воды – вверх или вниз;
- данные наблюдений следует заносить в рабочий журнал испытаний.

Испытания по определению расхода скважины проводятся в два этапа. Первый этап проводится, когда вода (гидравлика) в скважине находится в покое. Второй этап проводится, когда вода (гидравлика) в скважине находится в движении и откачка или налив имеют постоянный расход на устье.

Замеры расхода воды в скважине выполняются с шагом измерений 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 м, для обеспечения получения измерения расхода воды в каждом водоносном горизонте (зоне) не менее чем в трех точках.

Продолжительность одного измерения расхода воды через сечение скважины должна обеспечить точность наблюдений 10 %, при условии, что прибор не должен устанавливаться против глубоких каверн.

Запись показания расхода воды в скважине следует относить к середине прибора, опущенного в скважину.

График расхода воды (расходограмму) следует регистрировать в скважине в момент, когда вода (гидравлика) в скважине находится в движении на стадии квазистационарного режима фильтрации.

Частота замеров уровня воды при движении ее в скважине должна обеспечить надежное выделение прямолинейного участка на графике зависимости повышения или понижения уровня воды от логарифма времени.

В интервалах с резким изменением расхода воды, не связанных с изменением диаметра скважины, следует проводить детальные измерения. Шаг измерений выбирается от 0,1 до 1,0 м, в зависимости от мощности фильтрующих зон, необходимой точности границ отбивки и степени расчленения зоны по фильтрующим свойствам.

В ходе проведения испытаний необходимо проводить контрольные измерения, число которых должно быть не менее 10 % от всех выполненных измерений. Точки контрольных замеров следует выбирать равномерно по стволу скважины (в пределах водоупорных участков), в удалении от мест резкого изменения диаметра скважин.

По результатам контрольных измерений необходимо вычислить погрешность полученных при испытании измерений, которая должна быть не более 2,5 %.

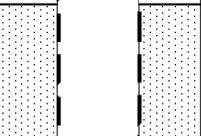
Для своевременного ведения контроля за процессом изысканий и текущей интерпретации результатов исследования следует строить графики зависимости понижения уровня воды в скважине от логарифма времени.

Определение расхода воды из комплекса шурфов (скважин)

По геолого-техническому разрезу грунта (рис. 1.11) песок мелкозернистый, мощностью 2–3 м, водонасыщенный, ниже располагаются тугопластичные глины.

Дата проходки 03.06.1983

Отметка устья 133,62

Номер слоя	Геологический индекс	Глубина подошвы слоя, м	Мощность, м	Литологический разрез и конструкция шурфа при наливе	Краткое описание пород
1	pQ	0,2	0,2		Почвенно-растительный слой
2	oQ	1,5	1,3		Песок коричневый, мелкий, влажный

Глубина 1,0 м

Рис. 1.11. Геолого-технический разрез шурфа

Расчет расхода шурфа (скважины) Q , м³/сут, проводим по формуле Дюпюи:

$$Q = \frac{K_{\phi} H (S_0 - S_1)}{0,366 \cdot \lg \left(\frac{x_2}{x_1} \right)},$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, $K_{\phi} = 0,83$ м/сут; H – мощность водоносного горизонта, $H = 1,74$ м; S_0 – статический уро-

вень воды, $S_0 = 0,37$ м; S_1 – понижения уровня воды, $S_1 = 0,24$ м; x_2 – расстояние от центрального шурфа (скважины), $x_2 = 3,4$ м; x_1 – расстояние от наблюдательного шурфа (скважины), $x_1 = 1,2$ м.

Пример расчета:

$$Q = \frac{0,83 \cdot 1,74(0,37 - 0,24)}{0,366 \cdot \lg\left(\frac{3,4}{1,2}\right)} = 1,14 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

1.6. Определение коэффициента проницаемости и водопроницаемости грунтов

Принятые в Российской Федерации стандарты по определению проницаемости грунтов распространяются на грунты для целей строительства и эксплуатации сооружений и не распространяются на грунты, находящиеся в мерзлом состоянии (ГОСТ 23278–78, переизданный в 1986 г.).

Для оценки проницаемости грунта как свойства грунта пропускать жидкость (или газ) под воздействием перепада давлений или напора следует определить коэффициент проницаемости C (измеряется в дарси, $1 \text{ Д} = 1,02 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2$) по формуле

$$C = \frac{Q\mu\Delta l}{\Delta p F},$$

где Q – объемный расход жидкости, $\text{см}^3/\text{с}$; μ – коэффициент динамической вязкости, сП ($1 \text{ сП} = 1,02 \cdot 10^{-8} \text{ кгс}\cdot\text{с}/\text{см}^2$); Δl – отрезок пути фильтрации, на котором происходит изменение давления, см; Δp – перепад давления, $\text{кгс}/\text{см}^2$; F – площадь поперечного сечения, см^2 .

Пример расчета:

Вводные данные: $Q = 10220 \text{ см}^3/\text{с}$, $\mu = 1,02 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2$, $l = 240 \text{ см}$, $p = 0,14 \text{ кгс}/\text{см}^2$, $F = 124 \text{ см}^2$.

$$C = \frac{10220 \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} \cdot 240}{0,14 \cdot 124} = \frac{0,25}{17,36} = 0,014 \text{ Д.}$$

Переход от коэффициента проницаемости к коэффициенту водопроницаемости (фильтрации) $K_{в(ф)}$, см/с или м/сут, осуществляется по формуле

$$K_{в(ф)} = aC \left(\frac{\gamma}{\mu} \right),$$

где a – коэффициент размерности. Если коэффициент фильтрации $K_{ф}$ исчисляется в см/с, то $a = 1$. Если $K_{ф}$ исчисляется в м/сут, то $a = 864$; μ – коэффициент динамической вязкости, $\mu = 1,02 \cdot 10^{-8}$ кгс·с/см²; C – коэффициент проницаемости, $C = 0,014$ Д, $1 \text{ Д} = 1,02 \cdot 10^{-8}$ см², следовательно, $C = 0,014 \cdot 1,02 \cdot 10^{-8}$ см²; γ – удельный вес воды, или плотность, $\gamma = 1$ кгс/см³.

Пример расчета:

$$K_{в(ф)} = 864 \cdot 0,014 \cdot 1,02 \cdot 10^{-8} \frac{1}{1,02 \cdot 10^{-8}} = 12,1 \text{ см/с.}$$

При испытаниях проницаемости методом откачки воды допускается вместо коэффициента водопроницаемости определять коэффициент водопроводимости T , м²/сут:

$$T = K_{ф} m,$$

где $K_{ф}$ – коэффициент водопроницаемости (фильтрации), $K_{ф} = 12,1$ см/с; m – средняя мощность водоносного пласта, $m = 2,4 \text{ м} = 240 \text{ см}$.

Пример расчета:

$$T = 12,1 \cdot 240 = 2900 \text{ см}^2/\text{с} = 0,29 \text{ м}^2/\text{с.}$$

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ

Раздел гидрогеологии, изучающий закономерности движения подземных вод, определяется как динамика подземных вод и рассматривает основные виды этого движения – гравитационное и негравитационное.

Параметрами движения грунтовых вод являются:

- гидравлический градиент (I или i);
- скорость движения потока грунтовых вод (V или v), м/ч, м/сут и т.д.
- расход потока грунтовой воды (Q или q), м³/ч, м³/сут и т.д.

Гидравлический градиент определяется как перепад давлений в потоке подземных вод на конкретном участке по длине расчетного пути между фиксируемыми точками, другими словами, гидравлический градиент показывает уклон поверхности безнапорных вод или уклон пьезометрического уровня напорных вод.

При этом следует знать, что уклоны поверхности земли, подземных вод, кровли, подошвы водоносных горизонтов и водоупорных слоев чаще всего бывают различны и имеют разные направления, т.е. направлены в разные стороны на рассматриваемом участке между выбранными для расчетов сечениями.

Численное значение гидравлического градиента необходимо определять как частное от деления разности абсолютных отметок уровней подземных вод на расстояние между расчетными сечениями или скважинами.

Гравитационное движение подземных вод происходит вследствие воздействия сил тяжести и возникает в поясе аэрации и насыщения, имеющих уклоны потока в горных породах при разности напоров подземных вод на расчетном расстоянии изучаемой территории и разнообразных породах, образующих эту территорию.

Гравитационное движение может быть:

- ламинарным и турбулентным,
- установившимся и неуставившимся,
- равномерным и неравномерным.

Передвижение подземной воды в зоне насыщения под воздействием сил тяжести и гидростатического давления, когда свободная вода перемещается по порам и трещинам грунта в сторону уклона поверхности водоносного горизонта или в сторону уменьшения напора, называется *фильтрацией*. Фильтрация измеряется мерами длины в единицу времени (м/ч, м/сутки и т.д.).

Движение свободной (гравитационной) воды в мелкозернистых песках имеет ламинарный режим, *скорость фильтрации* записывается в виде закона Дарси как закона фильтрации:

$$v_{\phi} = K_{\phi} I,$$

где I – гидравлический уклон, равный уклону поверхности безнапорных вод либо равный градиенту пьезометрического напора (пропорционального градиенту гидростатического давления) напорных артезианских вод.

Пример расчета скорости фильтрации в зависимости от гидравлического уклона для ламинарного движения:

Вводные данные: грунт – крупнозернистые пески с коэффициентом фильтрации 12 м/сут, гидравлический уклон 1,2.

$$v_{\phi} = 12 \cdot 1,2 = 14,4 \text{ м/сут.}$$

Скорость фильтрации v_{ϕ} , м/сут, мм/мин, см/с – это также отношение расхода фильтрационного потока Q_{ϕ} к площади поперечного сечения в пористой среде w_{ϕ} :

$$v_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{w_{\phi}}.$$

Пример расчета скорости фильтрации по отношению расхода фильтрационного потока к площади поперечного сечения:

Вводные данные: грунты – мелкозернистые пески с расходом фильтрационного потока $Q_{\phi} = 19 \text{ м}^3/\text{сут}$, площадь поперечного сечения потока $w_{\phi} = 12,6 \text{ м}^2$.

$$v_{\phi} = \frac{19}{12,6} = 1,5 \text{ м/сут.}$$

В пористой среде площадь поперечного сечения больше суммарной площади пор, поэтому скорость фильтрации всегда меньше действительной скорости движения воды v в порах грунта.

Таким образом, чем больше пористость грунта, тем меньше разница скоростей v и v_{ϕ} :

$$v = \frac{v_{\phi}}{p_1},$$

где p_1 – коэффициент пористости для мелкозернистых песков, доли единицы, $p_1 = p/100 = 0,7$.

$$v = \frac{1,5}{0,7} = 2,14 \text{ м/сут.}$$

Коэффициент фильтрации (водопроницаемость), как следует из закона Дарси (рис. 2.1), при градиенте напора, равном единице, численно равен скорости фильтрации, при гидравлическом уклоне, равном 1, и имеет размерность скорости: м/сут, см/ч, см/с. Принято обозначать коэффициент фильтрации как K_{ϕ} , а градиент напора – как I . Коэффициент фильтрации – очень важная характеристика горных пород, которая зависит от состава конкретной породы, свойств фильтрующей жидкости по вязкости, величины минерализации, температуры.

Для разных пород имеет значение направление фильтрации: для лёссов и лёссовидных суглинков вектор фильтрации имеет чаще вертикальное направление, а для некоторых слоистых пород водопроницаемость больше в горизонтальном направлении.

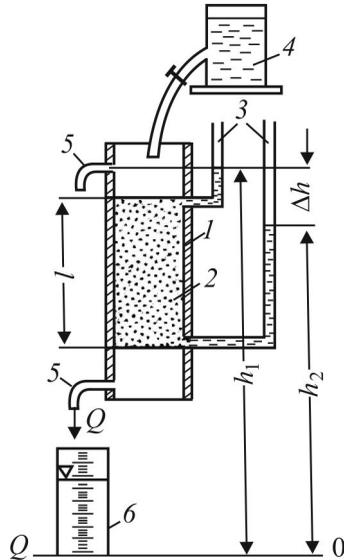


Рис. 2.1. Прибор Дарси (для установившегося движения): 1 – рабочий цилиндр; 2 – испытываемый грунт; 3 – пьезометрические трубки; 4 – напорная емкость для жидкости; 5 – сливные трубки; 6 – мерный сосуд

Характер передвижения потоков подземных вод может осуществляться двумя видами движения:

- 1) ламинарным движением, когда поток движется параллельными струями;
- 2) турбулентным движением, когда поток перемещается с вихреобразной пульсацией скоростей потока в породе и перемешиванием частиц и струй воды струйками без пульсации.

Скорость передвижения потока зависит от коэффициента фильтрации горной породы (табл. 2.1).

При движении воды в горных породах имеет место линейная зависимость скорости фильтрации от напорного градиента. Это очень важная характеристика, используемая для изучения движения подземных вод в разных горных породах.

Таблица 2.1

Среднее значение коэффициента фильтрации
для различных пород

№ п/п	Наименование горной породы	Коэффициент фильтрации, м/сут	Характеристика породы по водопроницаемости
1	Глина	0,001–0,000 03	Водонепроницаемая
2	Тяжелые суглинки	0,001–1–2,5	Полупроницаемая
3	Торфяники различной степени плотности	0,1–1,0–5,0	Водопроницаемая
4	Пески крупнозернистые	10–76	«
5	Пески средне- и мелкозернистые	1,0–5–10,0	«
6	Галечник, галька	50–500	«
7	Известняки трещиноватые, закарстованные породы	50–500–1000	«

При сравнении коэффициентов фильтрации и пористости грунтов большое значение имеет факт уменьшения коэффициента фильтрации в суглинках и глинах. Это объясняется тем, что поры этих грунтов заполнены не свободной гравитационной водой, а пленочной и капиллярной.

Из закона Дарси также следует, что скорость фильтрации при ламинарном движении пропорциональна гидравлическому уклону в первой степени: $v_{\phi} = K_{\phi} I$, и гидравлический уклон, или напорный градиент, I определяется как разность высот падения потока в начальной и конечной точках отсчета, разделенная на величину расстояния между этими точками (измерение производится в единых единицах измерения длины – метрах, сантиметрах и т.д.):

$$I = \frac{(h_1 - h_2)}{L}.$$

Пример расчета гидравлического уклона:

Расстояние между точками наблюдения $L = 16$ м, высота отметок точек наблюдения $h_1 = 12,3$ м, $h_2 = 10,1$ м.

$$I = \frac{(12,3 - 10,1)}{16} = 0,13.$$

Тогда скорость фильтрации при $K_{\phi} = 9$ м/сут

$$v = 9 \cdot 0,13 = 1,17 \text{ м/сут.}$$

На практике разность высотных отметок точек 1 и 2 – это разность отметок падения подземного потока подземных вод.

В конкретном случае коэффициент фильтрации можно определить по формулам

$$K_{\phi} = \frac{Q}{I w} \quad \text{или} \quad K_{\phi} = \frac{v}{I}.$$

Так, при $Q = 1,4 \text{ м}^3$, $I = 0,13$ и $w = 12,2 \text{ м}^2$ (площадь поперечного сечения потока), $v = 0,114 \text{ м/сут}$

$$K_{\phi} = \frac{1,4}{0,13 \cdot 12,2} = \frac{1,4}{1,586} = 0,88 \text{ м/сут}$$

или

$$K_{\phi} = \frac{0,114}{0,13} = 0,88 \text{ м/сут.}$$

Практические многолетние наблюдения за движением подземных вод, многочисленные опыты, проводившиеся во многих регионах не только России, но и за рубежом, подтвердили, что в естественных условиях потоки подземных вод двигаются по закону Дарси, и главным образом это ламинарное, струйчатое движение.

Исключение составляет лишь движение подземных вод вблизи крупных водозаборных и гидротехнических сооружений, когда происходит нарушение линейного закона фильтрации.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ЛАМИНАРНЫХ ПОТОКОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Расчет производится для горных пород различной водопроницаемости и при разных величинах коэффициента фильтрации, которые определяют опытным путем при полевых изыскательских работах.

В примерах расчетов по определению скорости фильтрации потоков подземных вод принимаются:

- гидравлические уклоны для двух определений: при разности отметок 1 или 2 м и расстоянием между точками отсчета 100 м;
- коэффициенты фильтрации в зависимости от структуры конкретного грунта.

Для практических расчетов по определению скорости фильтрации потока подземных вод (см. практическое занятие 2) принимаем горные породы, чаще всего встречающиеся в производственной практике в Пермском крае.

Примеры расчета:

Вводные данные 1: горная порода – глина водонепроницаемая; коэффициент фильтрации равен 0,001 и 0,000 03 м/сут; гидравлический уклон 0,01 и 0,02.

Расчет скорости фильтрации потока v_{ϕ} :

1. При $K_{\phi} = 0,001$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = K_{\phi} I = 0,001 \cdot 0,01 = 0,000 01 \text{ м/сут.}$$

2. При $K_{\phi} = 0,001$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 0,001 \cdot 0,02 = 0,000 02 \text{ м/сут.}$$

3. При $K_{\phi} = 0,000 03$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = 0,000 03 \cdot 0,01 = 0,000 000 3 \text{ м/сут.}$$

4. При $K_{\phi} = 0,000 03$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 0,000 03 \cdot 0,02 = 0,000 000 6 \text{ м/сут.}$$

Вводные данные 2: горная порода – тяжелые суглинистые супеси, полупроницаемые; коэффициент фильтрации 0,001; 1; 2,5 м/сут; гидравлический уклон 0,01 и 0,02.

Расчет скорости фильтрации потока v_{ϕ} :

1. При $K_{\phi} = 0,001$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = K_{\phi} I = 0,001 \cdot 0,01 = 0,000\ 01 \text{ м/сут.}$$

2 При $K_{\phi} = 1$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = 1 \cdot 0,01 = 0,01 \text{ м/сут.}$$

3. При $K_{\phi} = 2,5$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = 2,5 \cdot 0,01 = 0,025 \text{ м/сут.}$$

4. При $K_{\phi} = 0,001$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 0,001 \cdot 0,02 = 0,000\ 02 \text{ м/сут.}$$

5. При $K_{\phi} = 1$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 1 \cdot 0,02 = 0,02 \text{ м/сут.}$$

6. При $K_{\phi} = 2,5$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 2,5 \cdot 0,02 = 0,05 \text{ м/сут.}$$

Вводные данные 3: горная порода – торфяники различной степени разложения, водопроницаемые; коэффициент фильтрации 0,1; 1,0; 5,0 м/сут; гидравлический уклон 0,01 и 0,02.

Расчет скорости фильтрации потока v_{ϕ} :

1. При $K_{\phi} = 0,1$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = K_{\phi} I = 0,1 \cdot 0,01 = 0,001 \text{ м/сут.}$$

2. При $K_{\phi} = 1,0$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = 1,0 \cdot 0,01 = 0,01 \text{ м/сут.}$$

3. При $K_{\phi} = 5,0$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = 5,0 \cdot 0,01 = 0,05 \text{ м/сут.}$$

4. При $K_{\phi} = 0,1$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 0,1 \cdot 0,02 = 0,002 \text{ м/сут.}$$

5. При $K_{\phi} = 1,0$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 1,0 \cdot 0,02 = 0,02 \text{ м/сут.}$$

6. При $K_{\phi} = 5,0$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 5,0 \cdot 0,02 = 0,1 \text{ м/сут.}$$

Вводные данные 4: горная порода – пески крупнозернистые, водопроницаемые; коэффициент фильтрации 10 и 76 м/сут; гидравлический уклон 0,01 и 0,02.

Расчет скорости фильтрации потока v_{ϕ} :

1. При $K_{\phi} = 10$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = K_{\phi} I = 10 \cdot 0,01 = 0,1 \text{ м/сут.}$$

2. При $K_{\phi} = 76$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = 76 \cdot 0,01 = 0,76 \text{ м/сут.}$$

3. При $K_{\phi} = 10$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 10 \cdot 0,02 = 0,2 \text{ м/сут.}$$

4. При $K_{\phi} = 76$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 76 \cdot 0,02 = 1,52 \text{ м/сут.}$$

Вводные данные 5: горная порода – пески средне- и мелкозернистые, водопроницаемые; коэффициент фильтрации 1; 5; 10 м/сут; гидравлический уклон 0,01 и 0,02.

Расчет скорости фильтрации потока v_{ϕ} :

1. При $K_{\phi} = 1,0$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = K_{\phi} I = 1,0 \cdot 0,01 = 0,01 \text{ м/сут.}$$

2. При $K_{\phi} = 5,0$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = 5,0 \cdot 0,01 = 0,05 \text{ м/сут.}$$

3. При $K_{\phi} = 10,0$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = 10,0 \cdot 0,01 = 0,1 \text{ м/сут.}$$

4. При $K_{\phi} = 1,0$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 1,0 \cdot 0,02 = 0,02 \text{ м/сут.}$$

5. При $K_{\phi} = 5,0$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 5,0 \cdot 0,02 = 0,1 \text{ м/сут.}$$

6. При $K_{\phi} = 10,0$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 10,0 \cdot 0,02 = 0,2 \text{ м/сут.}$$

В о д н ы е д а н н ы е 6 : горная порода – галечник, галька водопроницаемые; коэффициент фильтрации 50 и 500 м/сут; гидравлический уклон 0,01 и 0,02.

Расчет скорости фильтрации потока v_{ϕ} :

1. При $K_{\phi} = 50$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = K_{\phi} I = 50 \cdot 0,01 = 0,5 \text{ м/сут.}$$

2. При $K_{\phi} = 500$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = 500 \cdot 0,01 = 5 \text{ м/сут.}$$

3. При $K_{\phi} = 50$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 50 \cdot 0,02 = 1 \text{ м/сут.}$$

4. При $K_{\phi} = 500$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 500 \cdot 0,02 = 10 \text{ м/сут.}$$

В о д н ы е д а н н ы е 7 : горная порода – известняки трещиноватые закарстованные, водопроницаемые; коэффициент фильтрации 50, 500, 1000 м/сут; гидравлический уклон 0,01 и 0,02.

Расчет скорости фильтрации потока v_{ϕ} :

1. При $K_{\phi} = 50$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = 50 \cdot 0,01 = 0,5 \text{ м/сут.}$$

2. При $K_{\phi} = 500$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = 500 \cdot 0,01 = 5 \text{ м/сут.}$$

3. При $K_{\phi} = 1000$ и $I = 0,01$

$$v_{\phi} = 1000 \cdot 0,01 = 10 \text{ м/сут.}$$

4. При $K_{\phi} = 50$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 50 \cdot 0,02 = 1 \text{ м/сут.}$$

5. При $K_{\phi} = 500$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 500 \cdot 0,02 = 10 \text{ м/сут.}$$

6. При $K_{\phi} = 1000$ и $I = 0,02$

$$v_{\phi} = 1000 \cdot 0,02 = 20 \text{ м/сут.}$$

Анализ полученных данных указывает на приоритетное влияние на водопроницаемость зависимости абсолютной величины коэффициента фильтрации от свойств горной породы. Данное представление следует обязательно учитывать при производстве земляных работ, и в особенности при устройстве сооружений, располагаемых ниже дневной поверхности конкретной территории.

Приведем сводную таблицу скорости фильтрации потоков для наших примеров (табл. 3.1).

Т а б л и ц а 3.1

Скорость фильтрации потоков для приведенных примеров

№ п/п	Горная порода	Коэффициент фильтрации K_{ϕ} , м/сут	Скорость фильтрации v_{ϕ} при $I = 0,01$, м/сут	Скорость фильтрации v_{ϕ} при $I = 0,02$, м/сут
1	2	3	4	5
1	Глина	0,001 0,000 03	0,000 01 0,000 000 3	0,000 02 0,000 000 6

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5
2	Тяжелые суглинистые пески	0,001	0,00001	0,000 02
		1,0	0,01	0,02
		2,5	0,025	0,05
3	Торфяники различной степени разложения	0,1	0,001	0,002
		1,0	0,01	0,02
		5,0	0,05	0,01
4	Пески крупно- зернистые	10	0,1	0,2
		76	0,76	1,52
5	Пески средне- и мелкозерни- стые	1,0	0,01	0,02
		5,0	0,05	0,1
		10,0	0,1	0,2
6	Галечник, галька	50	0,5	1,0
		500	5,0	10,0
7	Известняки закарстованные	50	0,5	1,0
		500	5,0	10,0
		1000	10,0	20,0

Примечание. Горные породы водонепроницаемые, за исключением тяжелых суглинистых песков (полупроницаемые).

К этим сооружениям относятся котлованы, выемки, траншеи, тоннели и т.д.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ПОТОКОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ ДВИЖЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПОТОКА

Турбулентное, вихревое движение подземного потока может возникнуть в сильно трещиноватых и грубообломочных горных породах. Скорость турбулентного движения пропорциональна гидравлическому уклону в степени $\frac{1}{2}$ (закон Шези – Краснопольского):

$$v = K_{\phi} \sqrt{I},$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, определяемый опытным путем в полевых или в лабораторных условиях; I – гидравлический уклон, или напорный градиент.

На территории Пермского края имеется значительное количество горных пород, способных к образованию карста и уже имеющих карст.

В 1993 г. К.А. Горбуновой, с дополнениями в 2005 г., составлена схема распространения карста (прил. 2). На значительной части территории края подземные воды могут организовываться в горных породах вихревым движением.

Для определения скорости фильтрации потоков при полевых работах на участках движения подземных вод должны быть определены коэффициенты фильтрации и гидравлический уклон.

Примеры расчета скорости фильтрации потоков подземных вод при турбулентном движении воды в горных грунтах, состоящих из трещиноватых известняков, при наличии карстовых пустот:

Вводные данные 1: горная порода – трещиноватые известняки, водопроницаемые; коэффициент фильтрации 500 м/сут; гидравлический уклон 0,02.

Скорость фильтрации потока при турбулентном движении

$$v = K_{\phi} \sqrt{I} = 500 \sqrt{0,02} = 70,7 \text{ м/сут.}$$

Вводные данные 2: горная порода – трещиноватые известняки, водопроницаемые; коэффициент фильтрации 600 м/сут; гидравлический уклон 0,03.

Скорость фильтрации потока при турбулентном движении

$$v = K_{\phi} \sqrt{I} = 600 \sqrt{0,03} = 103,9 \text{ м/сут.}$$

Вводные данные 3: горная порода – трещиноватые известняки, водопроницаемые; коэффициент фильтрации 1000 м/сут; гидравлический уклон 0,01.

Скорость фильтрации потока при турбулентном движении

$$v = K_{\phi} \sqrt{I} = 1000 \sqrt{0,01} = 100 \text{ м/сут.}$$

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ПОТОКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Определение расхода потока подземных вод необходимо в практике строительства и эксплуатации сооружений, в особенности для обеспечения потребности населения в питьевой и минеральной воде. На базе изысканий и расчетов величины расхода потоков подземных вод проектируются, строятся и эксплуатируются водозаборные сооружения для обеспечения населенных пунктов питьевой водой.

Практически движение подземных вод считается *неустановившимся* – переменным во времени. Это объясняется сезонными колебаниями осадков, значительными зависимостями объема подземных вод от циклов изменения климата планеты.

В случае если условия питания и разгрузки подземных вод изменяются в незначительных объемах, принято считать движение подземных вод *установившимся*, т.е. не изменяющимся во времени.

При рассмотрении движения воды в грунтовых потоках скорость воды мало изменяется по глубине, а при переходе потока из одного сечения к другое может оставаться постоянной, но может и меняться – поэтому вводится понятие равномерного/неравномерного движения.

Равномерным называется движение подземных вод в том случае, когда мощность водоносного пласта, уклон поверхности подземных вод и скорость воды постоянны.

В тех случаях, когда подземные воды ненапорные, а их поверхность параллельна поверхности водоупорного ложа потока, расход потока подземных вод на длину фронта потока

$$q = K_{\phi} h i_0,$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации водоносного слоя горной породы; h – мощность водоносного пласта; i_0 – уклон грунтового водоносного потока.

При определении расхода безнапорных подземных вод исходные данные для расчетов получают по результатам полевых изыска-

ний, в первую очередь это коэффициент фильтрации горной породы, затем уклон водоносного горизонта и его мощность (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Вводные данные для расчета расхода потока подземных вод

Номер участка	Характеристика горных пород	Коэффициент фильтрации водоносного слоя K_{ϕ} , м/сут	Уклон грунтового водоносного потока i_0 , м	Мощность водоносного пласта h , м
1	Пески крупнозернистые, водопроницаемые	10 76	2,0	6 8
2	Пески средне- и мелкозернистые, водопроницаемые	5 12	2,6	18 24
3	Галечник, галька водопроницаемые	50 500	6,0	3,2 3,8
4	Известняки трещиноватые закарстованные, водопроницаемые	500 1000	1,7	2,7 4,2
5	Торфяники разной степени разложения, водопроницаемые	0,1 5,0	3,0	10 18
6	Тяжелые суглинистые супеси, полупроницаемые	0,01 2,5	7,0	6 17
7	Глина водонепроницаемая	0,001 0,000 03	5,0	8 24

Расчет расхода потока подземных вод для участка № 1:

$$q = K_{\phi} h i_0 = 10 \cdot 2,0 \cdot 6 = 120 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 76 \cdot 2,0 \cdot 6 = 912 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 10 \cdot 2,0 \cdot 8 = 160 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 76 \cdot 2,0 \cdot 8 = 1216 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Расчет расхода потока подземных вод для участка № 2:

$$q = K_{\phi} h i_0 = 5 \cdot 2,6 \cdot 18 = 234 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 12 \cdot 2,6 \cdot 18 = 561,6 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 5 \cdot 2,6 \cdot 24 = 312 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 12 \cdot 2,6 \cdot 24 = 748,8 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Расчет расхода потока подземных вод для участка № 3:

$$q = K_{\phi} h i_0 = 50 \cdot 6,0 \cdot 3,2 = 960 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 500 \cdot 6,0 \cdot 3,2 = 9600 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 50 \cdot 6,0 \cdot 3,8 = 1140 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 500 \cdot 6,0 \cdot 3,8 = 11\,400 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Расчет расхода потока подземных вод для участка № 4:

$$q = K_{\phi} h i_0 = 500 \cdot 1,7 \cdot 2,7 = 2295 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 1000 \cdot 1,7 \cdot 2,7 = 4590 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 500 \cdot 1,7 \cdot 4,2 = 3570 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 1000 \cdot 1,7 \cdot 4,2 = 7140 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Расчет расхода потока подземных вод для участка № 5:

$$q = K_{\phi} h i_0 = 0,1 \cdot 3,0 \cdot 10 = 3 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 5 \cdot 3,0 \cdot 10 = 150 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 0,1 \cdot 3,0 \cdot 18 = 5,4 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 5 \cdot 3,0 \cdot 18 = 270 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Расчет расхода потока подземных вод для участка № 6:

$$q = K_{\phi} h i_0 = 0,01 \cdot 7,0 \cdot 6 = 0,42 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 2,5 \cdot 7,0 \cdot 6 = 105 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 0,01 \cdot 7,0 \cdot 17 = 1,19 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 2,5 \cdot 7,0 \cdot 17 = 297,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Расчет расхода потока подземных вод для участка № 7:

$$q = K_{\phi} h i_0 = 0,001 \cdot 5,0 \cdot 8 = 0,04 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 0,000\,03 \cdot 5,0 \cdot 8 = 0,001\,2 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 0,001 \cdot 5,0 \cdot 24 = 0,12 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q = 0,000\,03 \cdot 5,0 \cdot 24 = 0,003\,6 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Практическое значение подземных вод определяется их использованием в хозяйстве. Подземные воды приравниваются к полезным ископаемым наравне с углем, газом нефтью и рудами. Подземные воды используются для промышленного, сельскохозяйственного и бытового водоснабжения.

В сельской местности до настоящего времени подземные воды добываются из колодцев и близрасположенных родников и ключей, в городских условиях широко используется откачка подземных пресных артезианских вод.

Запасы подземных вод подразделяются на естественные, искусственные, привлекаемые и эксплуатационные.

Естественные запасы – объем свободной воды в водоносном горизонте в естественных условиях.

Естественные ресурсы – объем всей воды, поступающей в водоносный горизонт, складывается из поступления в водоносный горизонт или слой всех видов элементов баланса подземных вод: фильтрации осадков, поверхностных водотоков и озер, перетекающих из других подземных водоносных горизонтов.

Искусственные запасы – объем подземных вод, образованный в результате орошения территорий, фильтрации вод из водохранилищ, каналов или искусственного восполнения подземной воды – магазинирования.

Искусственные ресурсы – количество воды, поступающей из искусственных водных сооружений – водохранилищ, каналов, прудов или от орошения территорий.

Привлекаемые ресурсы – количество воды, поступающей в водоносные горизонты при эксплуатации подземных или поверхностных водозаборов.

Эксплуатационные ресурсы (производительность водозаборов) – количество воды, которое возможно получить с конкретного водного горизонта при заданном режиме эксплуатации и соответствующем качестве подземной воды.

Для получения подземной воды используются как одиночные скважины, так и группы скважин.

Для определения целесообразности сооружения одиночной скважины или куста добывающих воду скважин необходимо определить их основной параметр – *расход (дебит)* скважины, это количество воды (м^3), выдаваемое скважиной в единицу времени (ч), измеряемое единицей объема в единицу времени ($\text{м}^3/\text{ч}$).

Скважины могут быть совершенными или несовершенными, напорными и безнапорными (рис. 6.1).

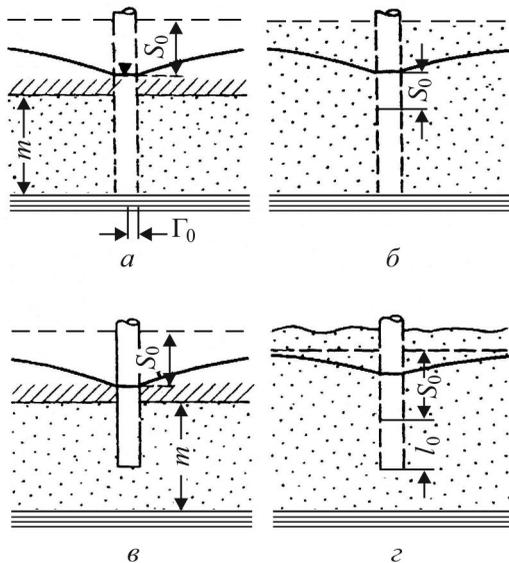


Рис. 6.1. Скважины: *а* – совершенная скважина для напорных вод; *б* – совершенная скважина для ненапорных вод; *в* – несовершенная скважина для напорных вод; *г* – несовершенная скважина для ненапорных вод

Совершенными скважинами называются скважины, которые при проходке водоносного горизонта достигают горизонта водоупорного грунта. *Несовершенные скважины* не достигают горизонта водоупорного грунта, между конечной плоскостью скважины и водоупорным грунтом находится часть водоносного горизонта.

При расчетах вертикальные водозаборы подземных вод делятся на два вида, в зависимости от расположения водоносных горизонтов и водоупорных слоев грунта: *совершенные водозаборы* полностью прорезают водоносные слои и забирают подземную воду по всей мощности водоносного горизонта; *несовершенные водозаборы* не доходят до водоупорного слоя и забирают воду только с части водоносного горизонта.

Кривая депрессии (депресссионная кривая) – линия, обозначающая свободную поверхность потока грунтовых вод.

Запасы (ресурсы) подземных вод могут быть *естественными* (природные – статические и динамические) и *искусственными* (техногенные). *Статические запасы* подземных вод могут быть возобновляемыми – когда объемы гравитационной воды достаточно быстро восстанавливаются благодаря близкому расположению области питания, и практически невозобновляемыми – когда процесс восстановления запасов продолжается длительное время.

Вековые (статические) запасы определяются как общее количество гравитационной воды в водоносном горизонте (пласте), измеряются в объемных единицах (м^3) и рассчитываются по формуле

$$Q_{\text{ст}} = \mu v,$$

где μ – водоотдача в долях от объема горной породы, образующей водоносный статический горизонт; v – объем водонасыщенной породы водоносного горизонта.

Пример расчета:

Водоотдача $\mu = 0,45$; объем водонасыщенной породы $v = 120\,000\text{ м}^3$.

$$Q_{\text{ст}} = \mu v = 0,45 \cdot 120\,000 = 54\,000\text{ м}^3.$$

Динамический запас подземных вод может быть *переменным* – меняющимся в зависимости от изменения мощности подземного потока в разные времена года, и относительно *постоянным*, когда подземный поток, обеспечивающий динамический запас, постоянен и его мощность изменяется в течение многих лет. Динамические запасы (ресурсы) подземных вод характеризуются расходом воды, протекающей в единицу времени через поперечное сечение подземного потока или поступающей в водоносный слой из области питания.

Определяются ресурсы подземных вод различными методами:

1) по коэффициенту фильтрации, мощности и уклону подземного потока;

2) по величине инфильтрации атмосферных осадков;

3) по модулю подземного стока;

4) по разности расходов реки (водотока) с подземным питанием (родники, ключи, и т.д.).

Определение динамического ресурса (запаса) бассейна подземных вод по коэффициенту фильтрации, мощности, уклону и ширине потока:

$$Q_{\text{д}} = K_{\text{ф}} I h_{\text{ср}} B,$$

где $K_{\text{ф}}$ – коэффициент фильтрации подземных вод, м/сут; I – гидравлический уклон потока; $h_{\text{ср}}$ – средняя мощность подземного потока, м; B – ширина потока, м.

Примеры расчета:

а) водоносный грунт – галечник обводненный,

$$K_{\text{ф}} = 50\text{ м/сут}, I = 6, h_{\text{ср}} = 1,8\text{ м}, B = 20\text{ м}.$$

Динамический запас подземных вод для обводненного галечника

$$Q_d = 50 \cdot 6 \cdot 1,8 \cdot 20 = 10\,800 \text{ м}^3/\text{сут};$$

б) водоносный грунт – глина водонепроницаемая,

$$K_f = 0,001 \text{ м/сут}, I = 0,01, h_{cp} = 3 \text{ м}, B = 60 \text{ м}.$$

Динамический запас подземных вод для водонепроницаемой глины

$$Q_d = 1,8 \text{ л/сут};$$

в) водоносный грунт – торфяник водопроницаемый,

$$K_f = 1 \text{ м/сут}, I = 0,02, h_{cp} = 3,6 \text{ м}, B = 45 \text{ м}.$$

Динамический запас подземных вод для водопроницаемого торфяника

$$Q_d = 1 \cdot 0,02 \cdot 3,6 \cdot 45 = 3,24 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Определение динамических запасов бассейна подземных вод по модулю подземных стоков конкретной территории Пермского края:

Модуль подземного стока зависит от грунтов, через которые проникают атмосферные осадки, воды водотоков, озер и водохранилищ в водоносные слои.

Для Пермского края с его сложной системой складчатых горных образований, наличием карстовых областей модуль подземного стока может быть в пределах от нескольких десятков литров с секунду с квадратного километра до нескольких тысяч.

В каждом конкретном случае определяется водосборная площадь, область питания подземных вод, которая обычно проходит по линии водораздела, но может и не совпадать с ней.

Динамические запасы

$$Q_d = \mu F,$$

где μ – модуль подземного стока на определяемой территории Пермского края, колеблется от 0,5 до 1,0 л/с с квадратного километра; F – область питания подземных вод (водосборная площадь), км².

Примеры расчета:

а) $\mu = 0,5$ л/с с квадратного километра; $F = 16$ км².

$$Q_d = 0,5 \cdot 16 = 8 \text{ л/с} = 480 \text{ л/мин} = 11\,520 \text{ л/сут};$$

б) $\mu = 0,8$ л/с с квадратного километра; $F = 126$ км².

$$Q_d = 0,8 \cdot 126 = 100,8 \text{ л/с} = 6048 \text{ л/мин} = 145\,152 \text{ л/сут};$$

в) $\mu = 1,0$ л/с с квадратного километра; $F = 320$ км².

$$Q_d = 1,0 \cdot 320 = 320 \text{ л/с} = 19\,200 \text{ л/мин} = 460\,800 \text{ л/сут}.$$

Определение динамических запасов бассейнов подземных вод по разности расходов водотоков (реки) с питанием в основном от подземных вод (родники, ключи и т.д.):

$$Q_d = \frac{(d_1 - d_2)}{L},$$

где d_1 – расход реки в нижнем створе, м³/с; d_2 – расход реки в верхнем створе, м³/с; L – расстояние между створами, где определяется запас подземных вод, м.

Примеры расчета:

а) верховье реки Обвы:

$$d_1 = 4,0 \text{ м}^3/\text{с}, d_2 = 3,2 \text{ м}^3/\text{с}, L = 200 \text{ м}.$$

$$Q_d = \frac{(4,0 - 3,2)}{200} = 0,004 \text{ м}^3/\text{с} = 4 \text{ л/с};$$

б) верховье реки Бабки:

$$d_1 = 3,5 \text{ м}^3/\text{с}, d_2 = 2 \text{ м}^3/\text{с}, L = 350 \text{ м},$$

$$Q_d = \frac{(3,5 - 2,0)}{350} = 0,00428 \text{ м}^3/\text{с} = 4,28 \text{ л/с};$$

в) верховье реки Быстрый Таныб:

$$d_1 = 6 \text{ м}^3/\text{с}, d_2 = 4,5 \text{ м}^3/\text{с}, L = 850 \text{ м},$$

$$Q_d = \frac{(6 - 4,5)}{850} = 0,00176 \text{ м}^3/\text{с} = 1,76 \text{ л/с}.$$

7. СХЕМЫ ДВИЖЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ И НАКЛОННОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ВОДОУПОРНЫХ ГРУНТОВ

В природе, когда водоупорные грунтовые слои располагаются практически горизонтально, возникают условия, при которых скорость движения подземных вод и уклон поверхности воды в водоносном горизонте остаются постоянными, что создает равномерное движение воды.

Наличие равномерного движения водного потока выявляется при изучении родников и ключей подземных вод, их стабильный дебит подтверждается наблюдением во времени при наличии горизонтального или наклонного расположения водоупорных грунтов (рис. 7.1 и 7.2).

Расчет расхода (дебит) потока подземных вод в случае ненапорных вод при параллельности воды поверхности водоупорного ложа определяется по формуле

$$Q_d = K_\phi I h,$$

где K_ϕ – коэффициент фильтрации водоносных пород; I – уклон грунтового потока; h – мощность водоносного пласта.

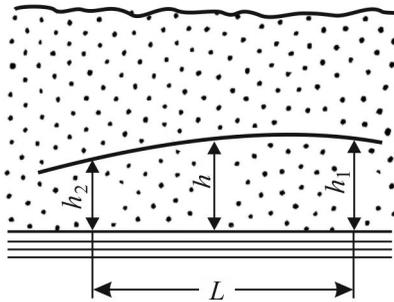


Рис. 7.1. Движение грунтовых вод при горизонтальном расположении водоупорного грунта:
 h, h_1, h_2 – величины мощности водоносного пласта;
 L – расстояние для установления уклона водного потока

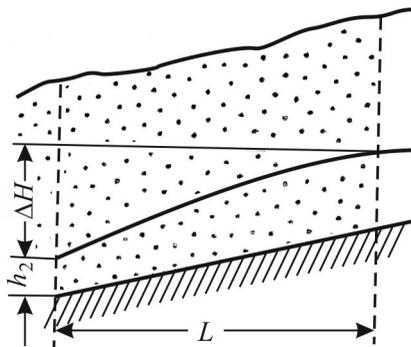


Рис. 7.2. Движение подземных вод при наклонном расположении водоупорного слоя: ΔH – максимальная величина отметки поверхности подземного потока над минимальным горизонтом стояния поверхности потока; h_2 – величина минимальной отметки горизонта поверхности потока над водоупорным слоем грунта; L – расстояние между створами наблюдения

Примеры расчета расхода (дебита) потока подземных вод:

а) грунт – песок крупнозернистый, $K_{\phi} = 10$ м/сут, $I = 0,01$,
 $h = 6$ м.

$$Q_{д} = 10 \cdot 0,01 \cdot 6 = 0,6 \text{ м}^3/\text{сут};$$

б) грунт – галька, $K_{\phi} = 50$ м/сут, $I = 0,1$, $h = 26$ м.

$$Q_{д} = 50 \cdot 0,1 \cdot 26 = 130 \text{ м}^3/\text{сут};$$

в) грунт – торфяник, $K_{\phi} = 5$ м/сут, $I = 0,2$, $h = 8$ м.

$$Q_{д} = 5 \cdot 0,2 \cdot 8 = 8 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

8. РАСЧЕТ ПРИТОКА ГРУНТОВЫХ ВОД К ВОДОЗАБОРНЫМ СООРУЖЕНИЯМ

Водозаборы – это сооружения, с помощью которых происходит забор подземных вод и транспортировка их для потребления населением или промышленными предприятиями. С помощью водозаборов можно произвести понижение грунтовых вод на территории строящегося или эксплуатируемого предприятия. Водозаборы могут быть вертикальными, горизонтальными и лучевыми.

Вертикальные водозаборы сооружаются на базе вертикальных буровых скважин или шахтных колодцев. *Горизонтальные водозаборы* используют траншеи, галереи, штольни. *Лучевые водозаборы* – это специфические сооружения, в составе которых могут быть вертикальные и горизонтальные составляющие с «лучами» со встроенными водоприемными фильтрами.

Водозаборы, состоящие из одной скважины, шахты, колодца, называют *одиночными водозаборами*. Если водозабор состоит из группы скважин или нескольких колодцев, объединенных в комплекс, то эти водозаборы называют *групповыми водозаборами*.

Если водозаборное сооружение вскрывает водоносный горизонт на всю его мощность, то такой водозабор называется *совершенным*, а если водоносный горизонт не полностью вскрыт водозабором, то эти водозаборы называются *несовершенными*.

Сооружения, которые осуществляют отвод грунтовых (подземных) вод на период строительства или эксплуатации, называют *дренажами*.

Депрессионные воронки. При производстве откачки воды из скважины или колодца происходит воронкообразное понижение уровня грунтовой вод вследствие трения частиц грунта. При вертикальном разрезе воронка имеет кривую депрессии, которая возрастает по мере приближения к точке откачки (рис. 8.1).

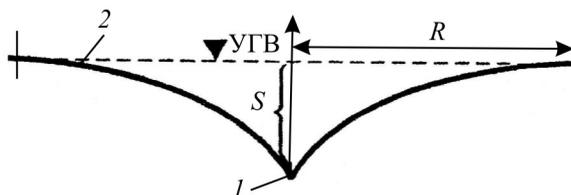


Рис. 8.1. Депрессионная воронка: 1 – точка откачки; 2 – нормальный уровень грунтовых (подземных) вод; S – величина понижения уровня грунтовых (подземных) вод; R – радиус депрессионной воронки

Радиус депрессионной воронки в практике называют *радиусом влияния R* скважины.

Установление границ депрессионной воронки имеет большое практическое значение при оценке фильтрационных свойств грунтов; выявлении зон санитарной охраны скважин, из которых получают питьевую воду; определении площадей, которые окупаются с конкретного водозабора; определении расстояний между отдельными водозаборами.

Радиус депрессионной воронки зависит от проницаемости пород водоносного горизонта. Хорошо проницаемые породы (гравий, песок) имеют меньшее трение воды о частицы грунта

и широкие депрессионные воронки с большим радиусом влияния. В слабопроницаемых грунтах (суглинки) депрессионные воронки имеют небольшой радиус влияния.

При проектировании водозаборов, дренажей величина R входит в расчетные формулы, ее определяют: 1) по формулам, 2) по откачкам из пробуренных скважин, 3) по аналогии с действующими водозаборами, имеющими схожую гидрогеологическую ситуацию.

Радиус влияния определяют по формулам Кусакина.

Определение радиуса влияния R , м, по формуле Кусакина для ненапорных вод:

$$R = 2S \sqrt{HK_{\phi}},$$

где S – понижение уровня грунтовых (подземных) вод по центру воронки, м; H – мощность слоя грунтовых вод, м; K_{ϕ} – коэффициент фильтрации грунта.

Примеры расчета радиуса влияния вертикальной скважины:

Вводные данные 1: грунт – песок крупнозернистый, $K_{\phi} = 4,6$ м/сут, $H = 2,7$ м; $S = 1,8$ м, определено опытным путем.

$$R_1 = 2 \cdot 1,8 \sqrt{2,7 \cdot 4,6} = 12,7 \text{ м.}$$

Вводные данные 2: грунт – галечник, $K_{\phi} = 50$ м/сут, $H = 3,0$ м, $S = 2,0$ м, определено опытным путем.

$$R_2 = 2 \cdot 2,0 \sqrt{3,0 \cdot 50} = 48 \text{ м.}$$

Вводные данные 3: грунт – торфяник, $K_{\phi} = 0,6$ м/сут, $H = 4,0$ м, $S = 3,0$ м, определено опытным путем.

$$R_3 = 2 \cdot 3,0 \sqrt{4,0 \cdot 0,6} = 9,3 \text{ м.}$$

Вводные данные 4: грунт – известняк трещиноватый, $K_{\phi} = 500$ м/сут, $H = 8,0$ м, $S = 3,0$ м, определено опытным путем.

$$R_4 = 2 \cdot 6,0 \sqrt{8,0 \cdot 500} = 759 \text{ м.}$$

Определение радиуса влияния R , м, по данным полевых исследований дебита потока и гидравлического уклона:

$$R = \frac{3Q}{2HK_{\phi}I},$$

где Q – дебит потока грунтовых вод; H – мощность слоя грунтовой воды; K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, определяется опытным путем; I – гидравлический уклон потока грунтовых вод.

Примеры расчета радиуса влияния по дебиту потока:

Вводные данные 1: грунт – песок мелкозернистый, $K_{\phi} = 5$ м/сут, $Q = 2,1$ м³/сут, $H = 10$ м, $I = 0,01$.

$$R = \frac{3 \cdot 2,1}{2 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 0,01} = 6,3 \text{ м.}$$

Вводные данные 2: грунт – песок среднезернистый, $K_{\phi} = 6$ м/сут, $Q = 3,4$ м³/сут, $H = 10$ м, $I = 0,01$.

$$R = \frac{3 \cdot 3,4}{2 \cdot 10 \cdot 6 \cdot 0,01} = 8,5 \text{ м.}$$

Вводные данные 3: грунт – песок крупнозернистый, $K_{\phi} = 9$ м/сут, $Q = 5,5$ м³/сут, $H = 10$ м, $I = 0,01$.

$$R = \frac{3 \cdot 5,5}{2 \cdot 10 \cdot 9 \cdot 0,01} = 9,2 \text{ м.}$$

Вводные данные 4: грунт – галечник, $K_{\phi} = 50$ м/сут, $Q = 168$ м³/сут, $H = 10$ м, $I = 0,01$.

$$R = \frac{3 \cdot 168}{2 \cdot 10 \cdot 50 \cdot 0,01} = 50,4 \text{ м.}$$

В полевых условиях радиус влияния R возможно определить с помощью откачки из скважин, находящихся на расчетном расстоянии от центральной скважины (рис. 8.2).

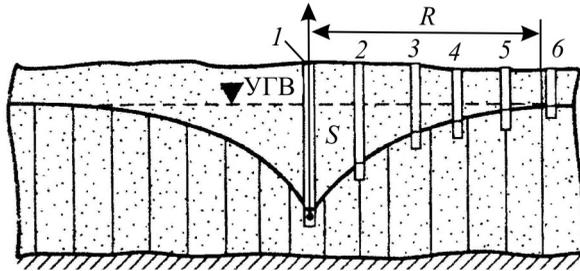


Рис. 8.2. Определение радиуса откачки (влияния) по буровым скважинам: 1 – скважина, из которой производится откачка; 2–6 – скважины, в которых производятся замеры

Формы водозаборных воронок и величины радиусов влияния зависят от пород, которые несут водоносные горизонты (рис. 8.3).

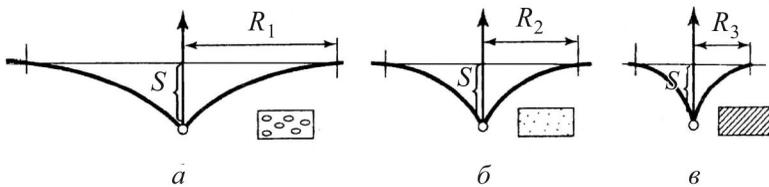


Рис. 8.3. Депрессионные воронки и радиусы влияния в разных водоносных породах: а – гравий; б – песок; в – супесь

9. РАСЧЕТ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГРУНТОВЫХ (ПОДЗЕМНЫХ) ВОД

Для водоснабжения или водопонижения грунтовых или подземных вод чаще всего используются колодцы или буровые скважины. Движение подземных вод при работе на откачку буровых скважин и колодцев происходит по одной схеме, представляемой в форме радиального потока.

Прогноз и расчет возможного притока грунтовых вод имеет большое практическое значение для проектирования и эксплуатации водозаборов и получения фиксированных объемов водных ресурсов или же гарантированного понижения уровня грунтовых вод для строящегося или эксплуатируемого сооружения.

Водозаборные колодцы и буровые скважины могут быть двух видов: совершенные и несовершенные. *Совершенными* колодцами (буровые скважины) называют колодцы, которые достигают водоупорного горизонта, а *несовершенными* – те, у которых дно не достигает водоупорного горизонта.

Уровень грунтовой (подземной) воды до откачки называют *статическим уровнем грунтовых вод* (УГВ), а горизонт, понижаемый в процессе откачки, *динамическим горизонтом*.

Если вода из колодца не откачивается, то ее уровень находится в одном положении с поверхностью грунтового потока. Если производится откачка воды из колодца, то уровень воды в колодце понижается и возникает депрессионная воронка, а уровень воды в колодце понижается.

Производительность колодца (буровой скважины) определяется его дебитом (расходом, м³/сут), который можно получить при сохранении постоянного уровня воды. Если при откачке происходит понижение уровня воды в колодце, то в конечном счете он может остаться без воды (обсохнуть), так как количество воды, поступающей к колодцу (буровой сква-

жине) из водоносного горизонта, меньше количества откачиваемой воды.

Колодец (буровая скважина) может отдавать воду в расчетном количестве при условии, что соседние колодцы, буровые скважины будут располагаться не ближе чем на расстоянии двух радиусов влияния соседних колодцев или скважин.

Приток воды к совершенному колодцу (скважине) (рис. 9.1) определяется по формуле

$$Q_{\text{св}} = \pi K_{\phi} \frac{H^2 - h^2}{\ln R - \ln r},$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации грунта водоносного слоя; H – мощность слоя водоносного горизонта; h – расстояние от дна колодца до водоупорного слоя; R – радиус откачки (влияния); r – радиус колодца (при круглом сечении колодца).

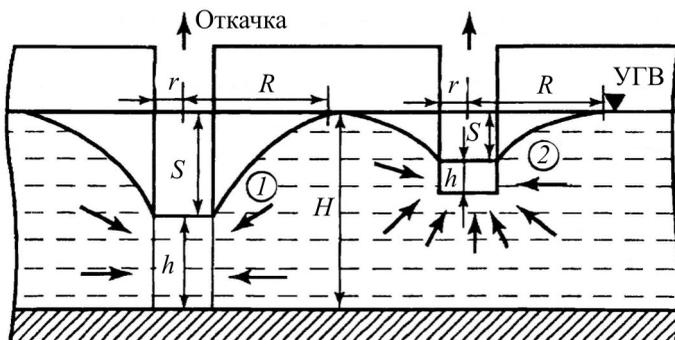


Рис. 9.1. Водозаборные колодцы (скважины):
1 – совершенного вида; 2 – несовершенного вида

Примеры расчета притока воды к совершенному колодцу:

Вводные данные 1: грунт – песок крупнозернистый, $K_{\phi} = 9 \text{ м}^3/\text{сут}$, $H = 6 \text{ м}$, $h = 2 \text{ м}$, $R = 10 \text{ м}$, $r = 0,75 \text{ м}$.

$$Q_{\text{св}} = 3,14 \cdot 9 \frac{6^2 - 2^2}{\ln 10 - \ln 0,75} = 347,8 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Вводные данные 2: грунт – галька, $K_{\text{ф}} = 5 \text{ м}^3/\text{сут}$, $H = 3 \text{ м}$, $h = 1 \text{ м}$, $R = 17 \text{ м}$, $r = 0,5 \text{ м}$.

$$Q_{\text{св}} = 3,14 \cdot 5 \frac{3^2 - 1^2}{\ln 17 - \ln 0,5} = 35,6 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Приток воды к несовершенному колодезю (скважине) определяется по формуле (формула Дююи в интерпретации Паркера)

$$Q_{\text{нсв}} = 1,36 \cdot K_{\text{ф}} \frac{H_0^2 - h_0^2}{\lg R - \lg r},$$

где $K_{\text{ф}}$ – коэффициент фильтрации водоносного слоя; H_0 – величина водоносного слоя, из которого вода поступает в колодез (активная зона), глубину активной зоны принимают равной $4/3$ высоты столба воды в колодезе S до производства откачки; h_0 – величина погружения колодеза в водоносный слой (рис. 9.2); R – радиус влияния; r – радиус колодеза.

Пример расчета притока воды к несовершенному колодезю:

Вводные данные: грунт – песок мелкозернистый, S – величина погружения колодеза в водоносный слой, $S = 3 \text{ м}$, $K_{\text{ф}} = 9 \text{ м}^3/\text{сут}$, $H_0 = 6 \text{ м}$, $R = 50 \text{ м}$, $r = 0,075 \text{ м}$, $h_0 = 4/3 \cdot S = 4/3 \cdot 3 = 4 \text{ м}$.

$$Q_{\text{нсв}} = 1,36 \cdot 9 \frac{6^2 - 4^2}{\lg 50 - \lg 0,075} = 87,4 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Поглощающие колодезы (буровые скважины, шурфы) предназначены для сброса с поверхности сточных вод, понижения уровня грунтовых вод, верховодки, закачки в горизонты подземных вод для пополнения объемов вод, используемых для водоснабжения.

Опытами установлено, что поглощать воду могут не только безводные (сухие) грунты, но и водоносные безнапорные горизонты. При поглощении воды колодцем вокруг него создается воронка поглощения, обращенная выпуклостью вверх.

Дебит поглощающих колодцев определяют по формуле Дюпюи, заменив в них величину понижения уровня воды в колодце (скважине) на величину повышения уровня воды (рис. 9.2).

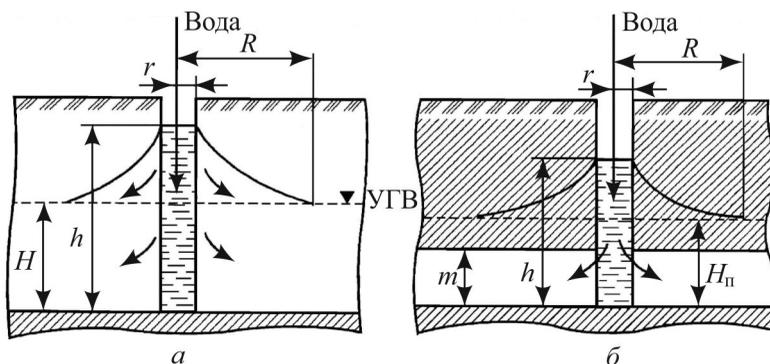


Рис. 9.2. Поглощающие колодцы (скважины) для сброса в глубину грунтовых вод: а – в зону грунтовых вод; б – в межпластовые воды; R – радиус поглощения

Формула Дюпюи для нахождения дебита поглощающих колодцев:

$$Q_{\text{пр}} = \pi K_{\text{ф}} \frac{h_0^2 - H_0^2}{\ln R - \ln r},$$

где $K_{\text{ф}}$ – коэффициент фильтрации грунта водоносного слоя; H_0 – мощность водоносного горизонта. В случаях сухих грунтов H принимается равным нулю, при напорных грунтах H равна величине напора; h_0 – величина, определяемая по опытным данным как уровень наливаемой воды в колодце, скважине; R – радиус влияния; r – радиус колодца.

Пример расчета дебита поглощающих колодцев:

Вводные данные: грунтовые воды ненапорные, водоносный грунт – песок мелкозернистый, $K_{\phi} = 9$ м/сут, $H_0 = 5$ м, $h_0 = 8$ м, $R = 11$ м, $r = 0,55$ м.

$$Q_{\text{пр}} = 3,14 \cdot 9 \frac{8^2 - 5^2}{\ln 11 - \ln 0,55} = 367,4 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Приведенные формулы Дюпюи могут быть использованы для определения потерь сточных вод на полях фильтрации и в других бассейнах.

Траншеи, каналы, используемые для понижения уровня грунтовых вод, называются *дренажными системами* или *дренажами*.

Дренажные системы могут быть совершенными и несовершенными, а приток воды может осуществляться односторонне или же с двух сторон (рис. 9.3).

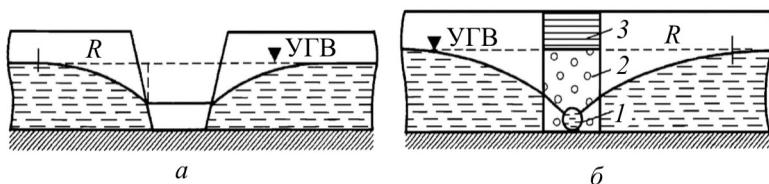


Рис. 9.3. Горизонтальные дренажи: *а* – открытый дренаж; *б* – закрытый дренаж; 1 – дренажная труба; 2 – фильтрующий материал, уложенный обратным фильтром; 3 – герметизирующая обратная засыпка траншеи глинистым грунтом

Для понижения грунтовых вод на строительной площадке или определенной территории возводят систему открытых или закрытых дренажей, которые осушают котлованы для строительства сооружений (закрытый дренаж) или производят осушение территорий (открытый дренаж) (рис. 9.4).

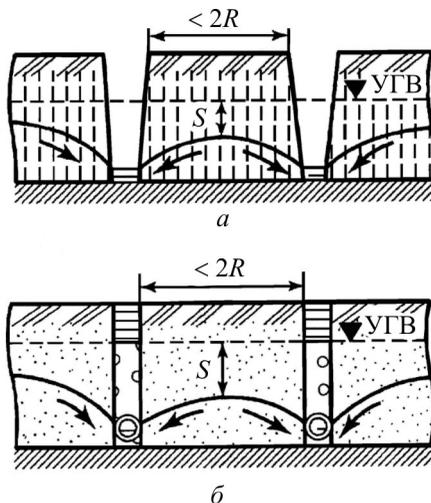


Рис. 9.4. Дренажные системы и депрессионные кривые:
 а – открытый дренаж; б – закрытый дренаж;
 S – расположение депрессионных систем;
 R – радиус влияния

Расход воды совершенной канавы (дренажной трубы) в сутки при притоке с двух сторон определяют по формуле

$$Q = K_{\phi} l \frac{H^2 - h^2}{R},$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации грунтов, в которых проложена канавы (дренаж); l – протяженность (длина) канавы, собирающей воду; H – мощность слоя грунтовой воды; h – столб (глубина) воды в канаве; R – радиус влияния.

Пример расчета расхода совершенной канавы (дренажной трубы) при притоке с двух сторон:

Вводные данные: грунт – песок среднезернистый, $l = 15,0$ м, $H = 7$ м, $h = 0,7$ м, $R = 12$ м, $K_{\phi} = 0,8$ м/сут.

$$Q = 0,8 \cdot 15,0 \frac{7^2 - 0,7^2}{12} = 48,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

При притоке грунтовой воды к дренажной канаве (дренажу) с одной стороны расчет совершенной канавы (дренажа) производится по формуле

$$Q = K_{\phi} l \frac{H^2 - h^2}{2R}.$$

Условные обозначения данной формулы аналогичны обозначениям предыдущей формулы, разница только в том, что радиус влияния увеличен в два раза. Когда приток грунтовой воды поступает в дренаж с одной стороны, он будет в два раза меньше, чем при поступлении с двух сторон.

Дренажные системы со структурой несовершенного вида имеют расход воды значительно меньший, чем дренажные системы со структурой совершенного вида.

Расход воды дренажных систем несовершенного вида рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{нсв}} = \frac{Q_{\text{св}} t}{H},$$

где $Q_{\text{св}}$ – объем стоков канавы (дренажа) совершенного вида; t – расстояние от дна канавы (дренажа) до нормального уровня воды в канаве (дренаже); H – мощность слоя грунтовой воды.

Пример расчета стока дренажа несовершенного вида:

Водные данные: $Q_{\text{св}} = 48 \text{ м}^3/\text{сут}$, $H = 4 \text{ м}$, $t = 1 \text{ м}$.

$$Q_{\text{нсв}} = \frac{48 \cdot 1}{4} = 12 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Дренажи могут быть эффективными в том случае, если расстояние между канавами (дренажами) будет меньше, чем два радиуса влияния, т.е. при пересечении кривых депрессионных воронок.

10. Понижение ГРУНТОВЫХ ВОД НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДКАХ

Гидрогеологические изыскания, которые выполняются до начала проектных работ, устанавливают возможности влияния грунтовых вод на здания и сооружения в период строительства и эксплуатации объектов.

Понижение грунтовых вод на строительных площадках возможно выполнить с помощью различного типа дренажей: самотеком воды из водоносных горизонтов в пониженные водотоки и рельефы местности; принудительной откачкой подземных вод и транспортировкой их самотеком в существующие водотоки; отводом водных грунтовых потоков по горизонтальным штольням и вертикальным колодцам; откачкой воды дренажами с сохранением пониженного уровня воды.

Осушение строительных котлованов возможно осуществить двумя способами:

1. Способ открытого водоотлива используется преимущественно, если котлован при незначительной глубине не имеет большого дебита грунтовых вод (рис. 10.1).

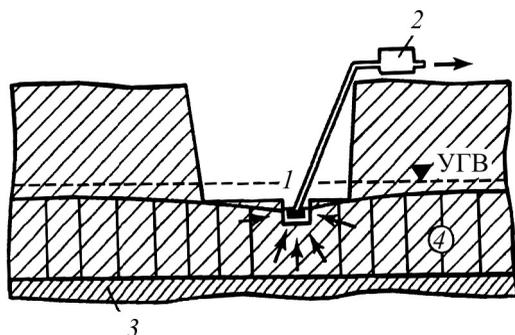


Рис. 10.1. Открытый водоотлив из строительного котлована: 1 – приямок для установки всасывающего устройства откачивающего шланга; 2 – насос с водоводящим лотком; 3 – водопорный грунт; 4 – пониженный уровень грунтовых вод

2. Способ осушения котлована иглофильтрами или инжекторами применяется при значительных глубинах и площадях котлованов (рис. 10.2).

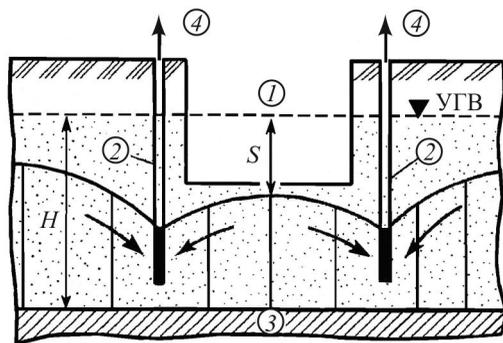


Рис. 10.2. Осушение строительного котлована иглофильтрами: 1 – строительный котлован; 2 – иглофильтры; 3 – водоупорный грунт; 4 – откачка грунтовой воды; S – величина понижения уровня грунтовой воды; H – уровень статического горизонта грунтовой воды

Иглофильтрами называют системы, состоящие из ряда скважин глубиной до 4,5 м, в которые опускаются трубы диаметром до 50 мм, имеющие на концах фильтровальные устройства. На поверхности грунта установленные в скважины трубы соединяются в коллекторы большего диаметра, которые присоединяются к насосным установкам, откачивающим грунтовую воду.

Скважины иглофильтров располагаются по периметру котлована на расстоянии друг от друга менее радиуса влияния каждой скважины с таким расчетом, чтобы при работе системы депрессионная кривая была ниже отметки дна котлована.

Системы дренажей – это плановое расположение дренажных устройств вокруг строящихся или эксплуатируемых зданий, оно зависит от условий рельефа и конкретных геологических и гидрогеологических ситуаций.

Схемы защиты сооружений могут быть различны и зависят от условий движения грунтовых вод и специфики объекта. Дренажи могут быть однолинейными, двухлинейными, многолинейными, кольцевыми и комбинированными.

Линейные дренажи устраиваются в том случае, когда предполагается осушить территорию, расположенную вблизи существующего водотока (реки) и имеющую общую направленность потока грунтовых вод к речной дельте в меженный период, и наоборот – от реки в паводковый период (рис. 10.3).

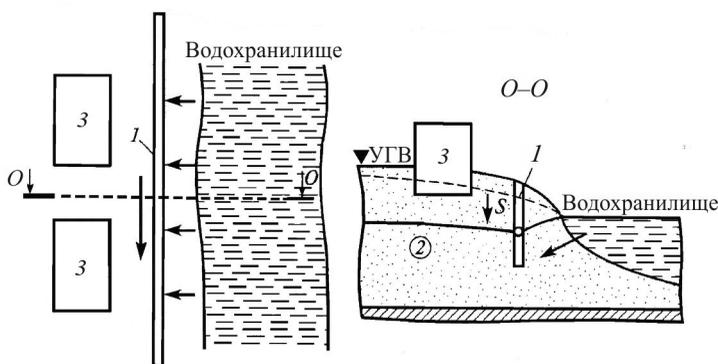


Рис. 10.3. Береговой линейный дренаж (план и разрез):
1 – линейная береговая дрена; 2 – пониженный уровень грунтовых вод; 3 – здание; S – величина понижения статического уровня грунтовых вод

Кольцевые дренажи чаще всего устраиваются вокруг конкретного здания или сооружения для защиты от подтопления подвалов или цокольных этажей, в плановые размеры которых возможно вписать радиусы влияния дренажной системы (рис. 10.4).

Систематический дренаж предполагает осушение значительных территорий, например территории строительства нового микрорайона или отдельного поселения. Такие дренажи устраиваются, когда местность равнинная, грунтовые воды чаще

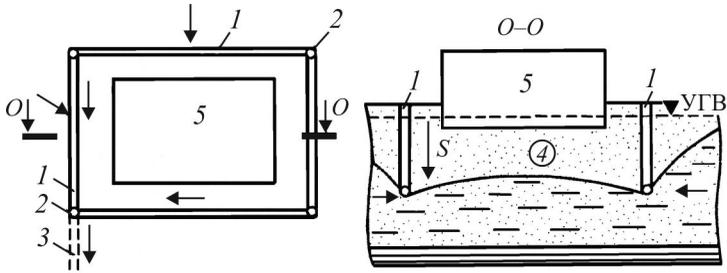


Рис. 10.4. Кольцевой дренаж вокруг здания, сооружения (план и разрез участка): 1 – дрены; 2 – смотровые колодцы (дренажные колодцы); 3 – сбросная часть дренажа; 4 – пониженный уровень грунтовых вод; 5 – здание; S – величина понижения статического уровня грунтовых вод

представляются верховодками (или незначительной мощности на относительно малых глубинах).

В зависимости от геологических и гидрогеологических условий территории систематический дренаж может быть горизонтальным или вертикальным (для поглощения грунтовых вод устраивают вертикальные скважины, способные поглощать сброс грунтовых вод) (рис. 10.5, 10.6).

Пластовые дренажи являются точечными системами, служащими для защиты отдельных зданий и сооружений от грунтовых вод и верховодки, уровень которых поднимается в период полноводья (рис. 10.7). В этом случае под зданием, сооружением укладывается слой из дренирующего материала (песок средне- и крупнозернистый, мелкий гравий), укладываются дренажные трубы с устройством обратного фильтра в виде обсыпки и прокладывается сбросная система труб.

Обратным фильтром называется сооружение в виде послойной отсыпки вокруг дренажной трубы, которая состоит из фракций, диаметр которых уменьшается по мере удаления от дренажной трубы.

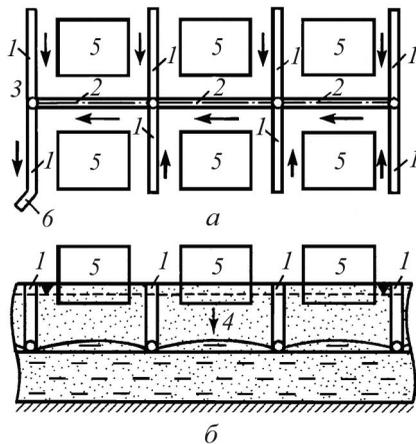


Рис. 10.5. Систематический дренаж горизонтального типа:
a – план участка осушения; *б* – разрез участка; 1 – дрены;
 2 – дренажный коллектор; 3 – смотровые колодцы;
 4 – пониженный уровень грунтовых вод; 5 – кварталы
 населенного пункта; 6 – сбросной коллектор

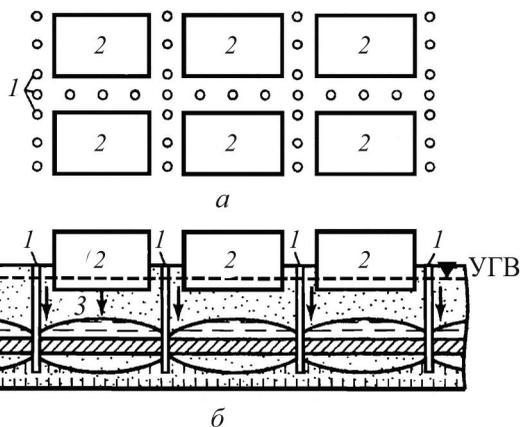


Рис. 10.6. Систематический дренаж вертикального типа:
a – план участка; *б* – схема разреза по участку; 1 – поглощающие
 грунтовые воды буровые скважины; 2 – кварталы населенного
 пункта; 3 – пониженный уровень грунтовых вод

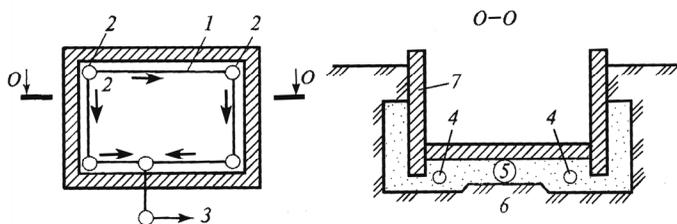


Рис. 10.7. Пластовый дренаж (план и разрез): 1 – дрены; 2 – смотровые колодцы; 3 – сброс воды; 4 – дренажные трубы; 5 – крупнозернистый песок; 6 – грунт основания; 7 – фундамент здания

Первым слоем к дренажной трубе может быть уложен мелкий гравий или сортированный щебень из нерастворимых горных пород (гранит), затем крупнозернистый песок, а далее – среднезернистый песок.

В задачу обратного фильтра входит решение проблемы погашения скорости движения и энергии подземного потока и, тем самым, очистки воды от взвешенных частиц и недопущения заиливания труб дренажа на расчетный срок эксплуатации системы.

Все сбросные системы дренажных устройств проектируются с уклонами, не допускающими возникновения такой скорости потока, при которой могут выпадать взвешенные частицы.

Для предотвращения накопления в грунтах основания влаги, отрицательно влияющей на конструкции фундаментов зданий и сооружений, устраивают *вентиляционный дренаж*, который обеспечивает вентиляцию подвально-цокольных помещений и удаление влаги от грунтового влажного основания.

Фильтрационные расчеты дренирующих систем базируются на решении задач фильтрации жидкостей в пористой среде с использованием уравнений механики жидкостей (уравнения и закон Дарси), при этом вода принимается несжимаемым телом, а ее движение – непрерывным и ламинарным.

11. ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Главная цель инженерной геологии – изучение природной геологической обстановки местности до начала строительства и прогноз тех изменений, которые произойдут в геологической среде, в первую очередь в породах, в процессе строительства зданий, сооружений и в процессе их эксплуатации.

В настоящее время ни одно здание или сооружение не может быть построено без достоверных и полных инженерно-геологических изысканий.

До начала проектирования объекта должны быть выполнены изыскательские работы специализированными организациями, имеющими соответствующую аккредитацию на выполнение этих работ. Подготовленные материалы должны содержать информацию:

- об оптимальности (благоприятности) в геологическом отношении выбора места строительства конкретного объекта;
- об инженерно-геологических условиях в целях определения применения наиболее рациональных конструкций фундаментов и объекта в целом, а также применения современных технологий производства строительных работ.

Также необходима выработка рекомендаций и мероприятий по сооружениям инженерной защиты территории и охране геологической среды как при строительстве, так и при эксплуатации здания.

Инженерно-геологические работы при строительстве зданий и сооружений

Для выполнения инженерно-геологических изысканий заказчик-инвестор выдает техническое задание изыскательской организации, специализирующейся на определенном виде изысканий для строительства объектов промышленно-гражданского, дорожного, гидротехнического назначения.

Инженерно-геологические работы выполняются в следующем порядке: подготовительный этап, полевой этап, камеральный этап.

1. *Подготовительный этап* – изучается район изысканий по архивным, фондовым и литературным материалам. Комплектуется коллектив для выполнения полевых работ, готовится техника для ведения буровых работ, производится оформление запасов топлива и т.д.

2. *Полевой этап* – выполняются все инженерно-геологические работы, предусмотренные техническим заданием, которые необходимо произвести на территории будущего строительства:

- инженерно-геологическая съемка;
- разведочные (буровые и горно-проходческие) работы и геофизические исследования;
- опытные исследования грунтов;
- изучение состояния и динамики подземных вод;
- анализ имеющихся объектов строительства и т.д.

3. *Камеральный этап* – обработка полевых данных и лабораторных анализов, составление инженерно-геологического отчета с приложением карт, разрезов, характеристик подземных вод (агрессивность и т.д.) и других данных, необходимых для составления проекта здания или сооружения.

В специальных главах описываются особенности грунтового основания будущих зданий и сооружений, так как грунты являются основным объектом исследования, а их характеристики и свойства необходимы для последующих расчетов и определения пригодности строительства на данной территории запланированного объекта.

Подземные воды исследуются в двух направлениях – как источник водоснабжения и как фактор, влияющий на строительство и эксплуатацию сооружений.

В отчет должны входить:

- оценка общих условий территории;
- обоснование выбора типа и конструкции фундаментов геологическими данными;
- определение характера воздействия на грунты динамических нагрузок;
- описание возможного влияния на устойчивость объекта инженерно-геологических процессов;
- описание влияния на объект подземных вод;
- описание состава и свойств грунтов как несущего грунтового основания и особенностей производства земляных работ при возведении объекта;
- прогноз влияния эксплуатации объекта на природную среду (загрязнение атмосферы, подземных вод).

Результаты выполненных изысканий – инженерно-геологический отчет – передаются проектной организации, которая ведет проектирование конкретного строительного объекта.

В процессе эксплуатации по различным причинам могут возникать деформации зданий, оценить которые может только инженер-геолог, проведя гидрогеологические и инженерно-геологические исследования причин возникновения нештатных ситуаций (деформации, осадки, обрушения).

В настоящее время значительное место в строительной практике занимает вопрос реконструкции, перепрофилирования, реставрации зданий и сооружений, расположенных в существующей городской или поселковой застройке, что накладывает особую ответственность на исполнителей инженерно-геологических изысканий по дальнейшим проектным решениям в связи с возможными изменениями геологической и гидрогеологической обстановки на конкретной территории.

Объем выполняемых инженерно-геологических и гидрогеологических работ может быть: 1) разведочным – на стадии предпроектных работ; 2) исследовательским – на стадии проектирования; 3) контрольным – в случае возникновения нештатных

ситуаций, как в период строительства, так и при эксплуатации зданий и сооружений.

На стадии изысканий определяется характеристика грунтов основания и делаются выводы о возможностях грунтов нести нагрузки от проектируемых фундаментов зданий и сооружений и рекомендации по возможному осуществлению осушения конкретной территории при ее обводнении.

При строительстве зданий и сооружений и проходке (вскрытии) котлованов или устройстве инженерных коммуникаций ведутся наблюдения за фактическими данными геологических, гидрогеологических особенностей грунтов и производится их сравнение с данными отчета по геологическим и гидрогеологическим изысканиям, что учитывается при проектировании зданий и сооружений.

Инженерно-геологическая съемка, отчеты и экспертиза

Инженерно-геологическая съемка представляет собой комплексное изучение геологии, гидрогеологии, геоморфологии и других естественно-исторических условий района строительства объекта и дает возможность оценить территорию со строительной точки зрения.

Масштаб инженерно-геологической съемки может быть от 1:200 000 и крупнее, основой для проведения съемки служит геологическая карта данной территории.

Геоморфологические исследования уточняют характер рельефа, его возраст и происхождение. При геологических работах определяют условия залегания горных пород, их мощность, возраст, тектонические особенности и т.д.

В ходе инженерно-геологических съемок изучают гидрогеологические особенности пород, обводненность территорий, глубину залегания подземных вод (их режим и химический со-

став), выявляют геологические процессы (обвалы, осыпи, карсты, оползни).

Параллельно производят поиски месторождений полезных ископаемых, в основном естественных строительных материалов. На основе полученных данных составляют инженерно-геологическую карту района строительства, что позволяет произвести инженерно-геологическое районирование территории и выделить наиболее пригодные участки для строительства крупных промышленных предприятий, жилых микрорайонов и т.д.

Инженерно-геологический отчет. Во введении отчета указывается место проведения работ, время года, исполнители, цель работы; в отдельных главах дается описание рельефа, климата, растительности, населения, геологической обстановки с приложением геологических карт и разрезов, карт нахождения строительных материалов, необходимых для производства работ.

В практике инженерно-геологических исследований часто вместо отчетов приходится составлять *инженерно-геологические заключения*, которые могут быть следующих видов: 1) заключения по условиям строительства, 2) заключения о причинах деформаций зданий и сооружений, 3) экспертиза ранее выполненных исследований или работ.

Основой для экспертного заключения является наличие спорных вопросов, возникающих при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Инженерно-геологическая экспертиза выполняется силами квалифицированных специалистов и устанавливает правильность проведения приемов исследований; достаточность выполненных объемов работ при проведении инженерно-геологических исследований; правомерность выводов и рекомендаций, данных в инженерно-геологических отчетах; причины аварий и т.д.

По объему экспертизы могут быть кратковременными и длительными. Кратковременная экспертиза практически решает поставленные вопросы сразу после изучения представленных исследовательских материалов. Для длительной экспертизы тре-

буется выполнение дополнительных исследовательских работ, после чего возможно выдать экспертное заключение и дать конкретные рекомендации, обоснования, доказательства целесообразности выполнения предлагаемых инженерно-геологических мероприятий.

Для ускорения сроков выполнения съемочных работ при инженерно-геологических изысканиях применяют также аэрокосмические методы ведения работ, например при изучении заболоченных участков района исследования. В настоящее время имеются методы космической съемки, для которых разработана специальная аппаратура, методики дешифрирования снимков, позволяющие получать высокоточную и достоверную геологическую информацию.

Буровые и горнопроходческие работы

Буровые и горнопроходческие работы – существенная часть инженерно-геологических и гидрогеологических полевых исследований. С помощью буровых скважин, горных выработок – шурфов, штолен и др., выясняют геологическое строение и гидрогеологические условия строительной площадки на необходимую глубину, отбирают пробы грунта и подземных вод, проводят опытные работы и стационарные наблюдения.

К горизонтальным выработкам относятся штольни, расчистки, канавы, их целесообразно применять при исследованиях на участках с крутопадающими слоями горных пород (рис. 11.1, *а*).

К вертикальным выработкам относятся скважины, шурфы. Их применяют, когда необходимо пройти горные породы, расположенные горизонтально или имеющие слабые уклоны (рис. 11.1, *б*).

Расчистка – выработка, применяемая для снятия рыхлого слоя делювия или элювия с наклонных поверхностей естественных обнажений горных пород.

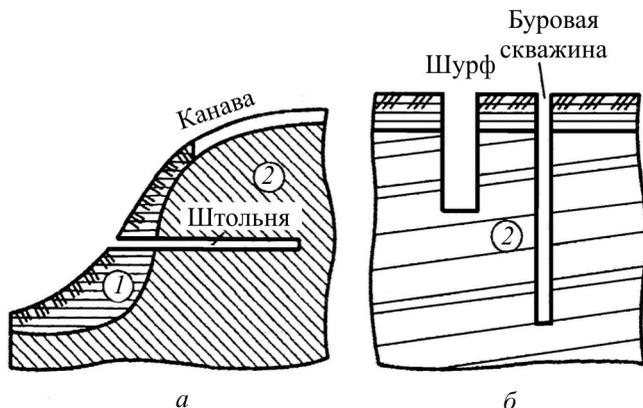


Рис. 11.1. Разведочные выработки: *а* – штольня, канава; *б* – буровая скважина, шурф; 1 – делювиальные отложения; 2 – коренные породы

Канавы (траншеи) – узкие (до 0,8 м) и неглубокие (до 2 м) выработки, выполняемые вручную или с помощью техники с целью обнажения коренных пород, залегающих под наносами.

Штольни – подземные горизонтальные выработки, закладываемые на склонах рельефа и вскрывающие толщи горных пород в глубине массива. Стенки штольни крепятся, если штольня проходит в горных нескальных породах, для предохранения проходки от обрушения стенок и кровли.

Шурфы – вертикальные выработки круглого или квадратного сечения глубиной от 2 до 5 м, круглые – диаметром до 1 м (называются *дудки*), квадратные – со сторонами от 1 до 1,5 м.

По мере проходки шурфа ведут геологическую документацию, записывают в журнал работ данные о вскрываемых породах грунтов, условия их залегания, моменты появления грунтовых вод. По мере вскрытия шурфа выполняют зарисовки и составляют развертку шурфа, что позволяет более точно определить мощность вскрытых слоев и элементы их залегания в пространстве (рис. 11.2).

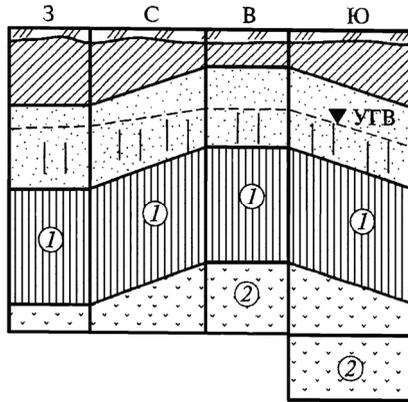


Рис. 11.2. Развертка шурфа: 1 – стенки; 2 – дно;
3 – запад; С – север; В – восток; Ю – юг

Буровые скважины – наклонные или вертикальные выработки, выполняемые специальным буровым инструментом, в их конструкциях различают устье, стенки и забой (рис. 11.3).

Бурение скважин – главный вид инженерно-геологических и гидрогеологических разведочных работ, с помощью которых

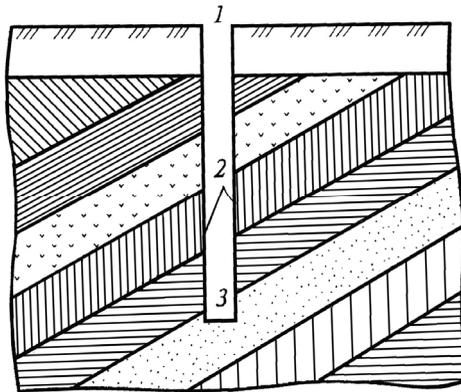


Рис. 11.3. Буровая скважина:
1 – устье; 2 – стенки; 3 – забой

выясняют состав, свойства, состояние грунтов, условия их залегания, гидрогеологические характеристики подземных вод, дебит скважин, определяют минерализацию водоносных горизонтов.

В зависимости от способов бурения и состава горных пород образцы, извлекаемые из скважины, могут быть ненарушенными или с нарушенной структурой. Образцы с ненарушенной структурой называются *кернами*.

Диаметр скважин при выполнении инженерно-геологических работ принимают обычно 150–200 мм, а глубину – от нескольких десятков метров для промышленного или гражданского строительства до 100 м и до нескольких сотен метров для гидротехнического строительства. При поиске полезных ископаемых – газа, нефти – глубина разведочных буровых скважин может достигать нескольких километров.

При проходке скважин через слабые и водонасыщенные породы применяют стальные обсадные трубы, для исключения обрушения (оплывания) стенок и обваливания ствола.

По мере проходки скважины оформляется геологическая документация, называемая геолого-литологической колонкой буровой скважины (рис. 11.4).

После завершения всех полевых работ по исследованию геологических и гидрогеологических особенностей участка изысканий выполняются работы по тампонажу скважин, рекультивации участков, где производились земляные работы, с предварительной засыпкой и уплотнением засыпаемых штолен, шурфов, канав.

Отбор образцов и проб воды из буровых разведочных скважин производится из обнажений грунтов, получаемых при разработке изыскательских выработок – шурфов, штолен буровых скважин и т.д. Пробы отбирают послойно на всю глубину выработок, но не реже, чем указано в техническом задании (0,5–1,0 м).

Наиболее детально исследуются слои грунта, которые будут непосредственно воспринимать нагрузки от фундаментов и формировать грунтовое основание будущих сооружений.

Абс. отметка устья – 80,0 м

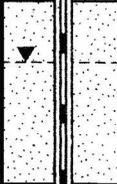
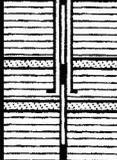
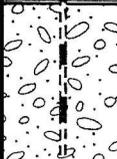
Номер слоя	Геологический индекс	Глубина залегания слоя, м		Мощность слоя, м	Разрез и конструкция скважины I	Уровень подземных вод		Литологическое, описание пород
		от	до			появившийся	установившийся	
1	aQ_{IV}	0,0	2,0	2,0				Суглинок серый, легкий, средней плотности
2	aQ_{IV}	2,0	8,0	6,0		4,0	4,0	Песок мелкозернистый, светло-серый, влажный, рыхлый, с глубины 4,0 м – водоносный
								Глина темно-серая, тугопластичная с тонкими прослойками песка
3	aQ_{III}	8,0	13,0	5,0			9,5	Глина темно-серая, тугопластичная с тонкими прослойками песка
4	aQ_{II}	13,0	18,0	5,0				Гравийно-галечниковые отложения с включением песка, водонасыщенные, плотные

Рис. 11.4. Геолого-литологическая колонка буровой скважины

Из всех образцов, получаемых при исследовании, 5–10 % отбирают и консервируют для лабораторных анализов и исследований: при работе с шурфами и обнаженных горизонтах отбирают монолиты в виде куба с размерами стороны от 10 до 30 см, а при работах с буровыми скважинами – монолиты высотой 20–30 мм. Изъятые образцы (монолиты) немедленно парафинируют и обматывают марлей для сохранения их естественной влажности. Отобранные образцы пород предохраняют от сотрясений, промерзаний, высыханий и хранят не более 1,5 мес.

При отборе образцов разрушенной или рыхлой породы вес каждой пробы (образца) должен быть не менее 0,5 кг и храниться (желательно) в герметичной упаковке.

Пробы подземной (грунтовой) воды берут из каждого водоносного горизонта в количестве от 0,5 до 1 л, ее количество зависит от вида химического анализа и степени ее минерализации. Взятую пробу заливают в чистые специальные емкости и тщательно закупоривают. Каждой емкости с пробой воды, предназначенной для анализов, присваивают порядковый номер и дают характеристику водоносного слоя, из которого взята конкретная проба.

12. РАСЧЕТЫ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

На практике применяется два геофизических метода исследования инженерно-геологических свойств грунтов: сейсмометрия и электрометрия.

Применение геофизических методов в ряде случаев позволяет значительно сократить объем буровых работ. С их помощью можно получить данные высокой степени точности для изучения физических и химических свойств конкретных горных пород и подземных вод.

Сейсмометрические методы исследования инженерно-геологических процессов и явлений основаны на различии скоростей распространения упругих колебания в разных горных породах, возникающих от естественных или техногенных условий.

В настоящее время в инженерно-геологической практике используются одноканальные микросейсмические установки, с их помощью можно установить глубину залегания скальных горных пород под наносами мягких грунтов, выявить дно речных долин, карстовые полости, мощность талых пород в зонах вечной мерзлоты. В сложных сейсмически опасных и городских районах этот метод недостаточно точен и поэтому его применение не всегда рентабельно.

Метод электроразведки основан на исследовании массива горных пород искусственно созданным электрическим полем, так как каждая порода (сухая или мокрая) характеризуется своим удельным электрическим сопротивлением. Чем больше разница в удельных сопротивлениях пород, тем точнее будут результаты электроразведки для данной строительной площадки.

Наиболее широкое применение при инженерно-геологическом исследовании нашли методы электропрофилирования и вертикального зондирования.

При *электропрофилировании* на исследуемом участке погружают в грунт по намеченным створам серию электродов, и на каждом из них измеряют сопротивление пород путем перемещения прибора с фиксированным положением электродов. При этом получают сведения об изменении на конкретном участке удельного сопротивления, что может быть связано с наличием другого вида грунта и даже пустот (рис. 12.1).

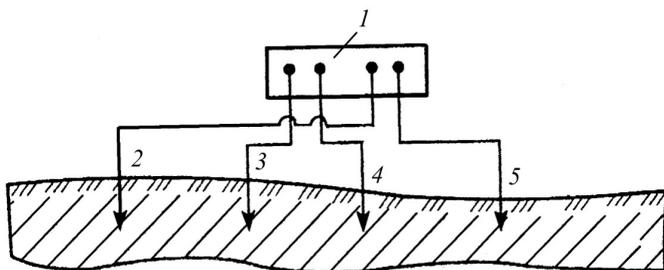


Рис. 12.1. Метод электропрофилирования толщи пород:
1 – измерительный прибор; 2–5 – электроды

Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) позволяет выделить литографические слои горных пород, отметки дна речных долин, глубину залегания коренных пород, уровень подземных вод и т.д. Сущность метода заключается в том, что по мере увеличения расстояния между питающими электродами А и Б линии токов перемещаются в глубину породы, а глубина электрического зондирования зависит от расстояния между точками А и Б и составляет в среднем 1/3 или 1/4 этого расстояния (рис. 12.2).

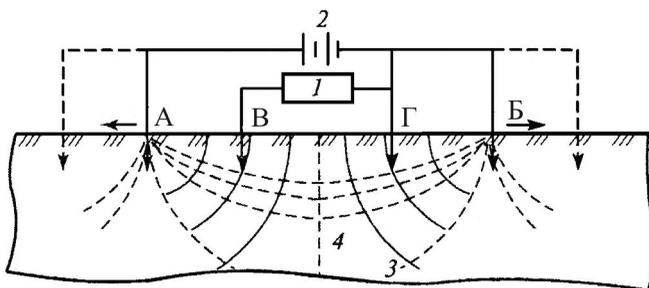


Рис. 12.2. Вертикальное электрическое зондирование толщи пород; 1 – потенциометр; 2 – источник электропитания; 3 – эквипотенциальные линии; 4 – линии электротока; А-Г – электроды

Измеряя силу тока между питающими электродами А и Б и разность потенциалов между приемными электродами В и Г, можно найти электрическое сопротивление исследуемых пород. По полученным данным возможно построить геологический разрез и сопоставить данные ВЭЗ с данными, полученными при выполнении буровых работ (рис. 12.3).

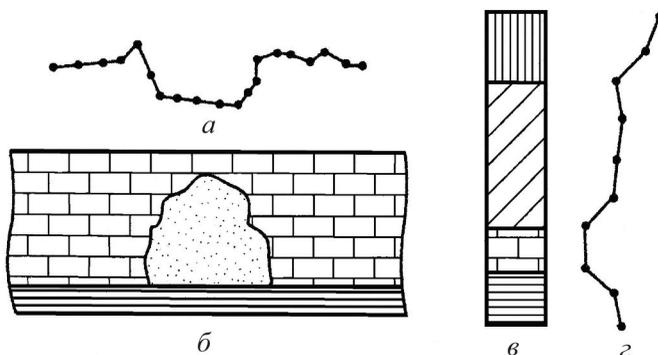


Рис. 12.3. Электроразведка толщи пород: а – электропрофиль через карстовую полость, заполненную песком; б – карстовая полость с песком в известняках; в – буровая колонна; г – кривая ВЭЗ

13. КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Геологические карты и разрезы создаются после окончания полевых работ по инженерно-геологической съемке, проходке буровых скважин и горнопроходческих выработок. Геологические карты и разрезы являются обязательной и важнейшей геологической, инженерно-геологической и гидрогеологической документацией при решении вопросов строительства и последующей эксплуатации сооружений. Карты составляются при возведении крупных объектов, разрезы – обязательная документация во всех случаях строительства.

Геологические карты – это проекция геологических структур на горизонтальную проекцию, по ним можно судить о площади распространения тех или иных пород на территории строительства, об условиях их залегания, дисклокации и распространении подземных вод. Для построения геологических карт в качестве базовой документации используют топографические карты в установленных масштабах (рис. 13.1).

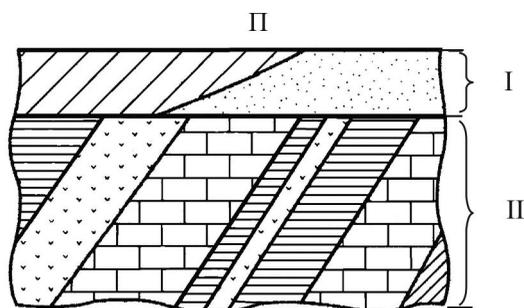


Рис. 13.1. Геологические карты: I – зона четвертичных отложений; II – зона коренных пород; П – поверхность земли

Все геологические карты подразделяются на карты коренных пород и карты четвертичных отложений.

Четвертичные отложения покрывают поверхность земли почти сплошным чехлом, скрывая от глаз человека породы до четвертичного периода. На *картах четвертичных отложений* принято показывать расположение в плане пород различного происхождения – речные, ледниковые отложения и т.п. и литологический состав пород, расположенных на поверхности земли.

Карты коренных пород описывают горные породы, которые располагаются под четвертичными отложениями, характер их залегания, литологический состав и т.д., и могут быть нескольких видов: стратиграфические, литологические, литолого-стратиграфические и специального назначения – инженерно-геологические и гидрогеологические, карты строительных материалов.

Стратиграфическая карта показывает распространение границ пород разного возраста, породы одного возраста обозначаются одним буквенным индексом и раскрашиваются одним цветом на всех картах, издаваемых в РФ. Так, породы юрского периода окрашиваются синим цветом, породы мелового периода – зеленым и т.д. Стратиграфическая карта обычно сопровождается стратиграфической колонкой, в которой отражают порядок напластований пород по возрасту.

Литографические карты отражают состав пород. Каждой породе присвоен определенный типовой условный знак (рис. 13.2).

Литолого-стратиграфические карты составляются для обеспечения строительства как отдельных зданий, так и для целых комплексов. Они содержат информацию о возрасте и составе горных и осадочных пород.

Инженерно-геологические карты представляют сведения об инженерно-геологических факторах в пределах изучаемой территории. Как правило, на этих картах показывают геологические разрезы, к ним прикладывается пояснительная записка.

Карты этого типа бывают трех видов:

1) *карты инженерно-геологических и гидрогеологических условий*, обеспечивающие необходимой информацией все виды строительства на конкретной территории;

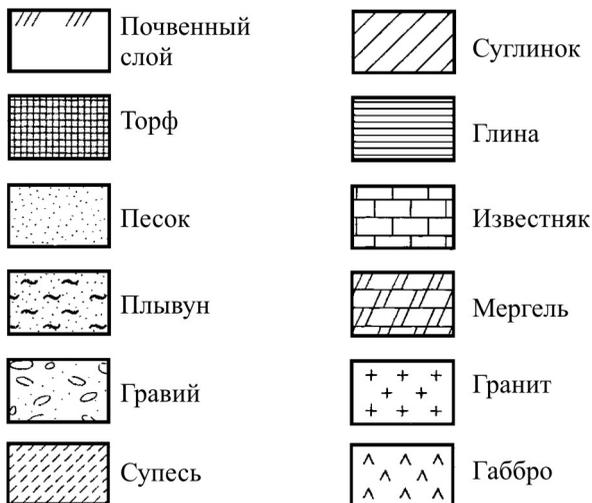


Рис. 13.2. Условные обозначения горных пород на литологических и других видах карт и разрезов

2) карты инженерно-геологического и гидрогеологического районирования, отражающие разделение территории на части (регионы, области, районы и т.д.) в зависимости от общности их инженерно-геологических и гидрогеологических условий;

3) карты специального назначения составляются конкретно для определенного вида строительства специальных сооружений и кроме инженерно-геологических и гидрогеологических условий территории отражают прогнозные варианты изменения инженерно-геологической и гидрогеологической ситуации.

Масштабы инженерно-геологических и гидрогеологических карт принимаются в зависимости от их назначения и детального содержания и могут быть от 1:500 000 и мельче – до 1:10 000 и крупнее.

Геологические разрезы являются дополнением геологических карт и представляют собой проекцию геологических структур на вертикальную плоскость, выявляют геологическое строе-

ние на глубину. На геологическом разрезе показывается возраст, состав, мощность залегания пород, гидрогеологические условия.

Инженерно-геологическим разрезом называют разрез, отражающий физико-геологические явления и свойства пород.

Разрезы строятся по геологической карте или по данным разведочных выработок (шурфов, буровых скважин), масштаб разреза принимают крупнее в 10 или более раз горизонтального.

Линия разреза может быть прямой или ломаной, выбор направления линии зависит от учета размещения на территории будущего сооружения или от возможности прохождения между существующими зданиями и сооружениями.

По выбранной линии строят топографический разрез поверхности земли с указанием точек мест заложения буровых скважин, шурфов (рис. 13.3).

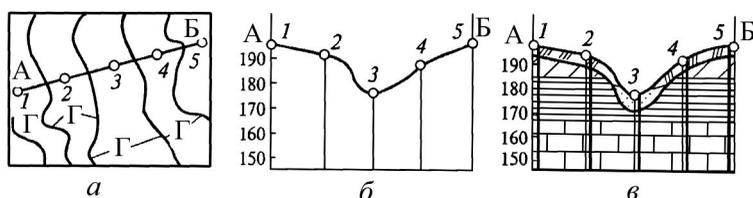


Рис. 13.3. Составление геологического разреза: *а* – заложение на карте местности линии разреза А–Б; *б* – профиль местности по линии А–Б; *в* – геолого-литологический разрез; 1–5 – номера буровых скважин; Γ – горизонтали местности

Дальнейшее построение разреза осуществляется переносом на профиль всех геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических данных, полученных при выполнении полевых работ.

На каждом разрезе указывается его масштаб, наносятся стратиграфические индексы, делаются принятые условные обозначения пород, подземных вод, физико-геологических и гидрогеологических явлений и т.д.

Любая инженерно-геологическая, гидрогеологическая полевая работа должна заканчиваться составлением геологического, инженерно-геологического разреза. Геологические разрезы имеют важное значение при общей инженерно-геологической и гидрогеологической оценке районов строительства и эксплуатации зданий и сооружений, выборе грунтовых слоев в качестве грунтовых оснований сооружений, изучении режимов грунтовых и подземных вод и принятии решения об их локализации на период строительства и эксплуатации возведенных строений.

Инженерно-геологические элементы на территории строительных площадок определяются как части массива пород (слой, часть слоя), однородные по возрасту, литологическому составу, показателям состояния и физико-механическим свойствам, последнее является определяющим фактором для выделения элемента.

Объем инженерно-геологического элемента зависит от того, какой показатель физико-механического свойства положен в основу его выделения по техническому заданию в процессе выполнения инженерно-геологических исследований (работ). Выбор определяющего показателя тесно связан с инженерно-геологическими и гидрогеологическими особенностями строительного участка, видом строительства и характеристикой объекта.

Выделение инженерно-геологических элементов позволяет целенаправленно размещать на строительной площадке здания и сооружения, максимально эффективно использовать территорию, выделенную под строительство, и дает возможность решать вопрос выбора работы грунтового основания и принятия оптимальной конструкции фундаментов, при необходимости – конструкций дренажных сооружений.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Рабочий журнал испытаний при методе откачки из одиночной скважины, при определении проницаемости грунтов (образец заполнения)

Обложка журнала

Журнал работ

Организация	_____	Объект	_____
Экспедиция	_____	Участок (створ)	_____
Партия (отряд)	_____	Стадия работ	_____
Адрес организации	_____		

1-я страница журнала

Журнал № Испытания методом откачки воды из одиночной скважины № ... (или кустовой откачки скважин № ...)

Местоположение скважины (или скважин) _____

Элемент рельефа _____

Абсолютная отметка устья скважины _____ глубина _____

Расстояние до уреза воды ближайшего водоема _____

Интервал испытания от м до м _____

Испытание *начато* _____ *окончено* _____

Наблюдатели: 1. _____

 2. _____

 3. _____

Начальник партии (отряда) _____

Инженер-геолог (гидрогеолог) _____

Старший техник _____

Адрес организации, выполняющей испытания _____

**Задание
на проведение испытаний**

Инженер-геолог (гидрогеолог)
Дата

1. План-схема расположения скважины (или расположения куста скважин) и план-схема расположения скважин в кусте

2. Общие сведения о водоносном горизонте
 - 2.1. Стратиграфический индекс пород.....
 - 2.2. Гидравлическая характеристика пород.....
 - 2.3. Глубина кровли.....
 - 2.4. Глубина подошвы.....
 - 2.5. Мощность водоносного горизонта.....

3. Сведения о применяемом оборудовании и измерительных приборах
 - 3.1. Тип и марка насоса, производительность.....
 - 3.2. Тип и марка двигателя, производительность.....
 - 3.3. Марка прибора для измерения расхода воды.....
 - объем емкости для воды.....
 - цена деления измерительной рейки.....
 - тип водомера.....
 - калибр водомера.....
 - цена деления водомера.....
 - дата тарировки водомера.....
 - 3.4. Тип прибора для измерения уровня воды.....

- 3.5. Марка и номер манометра.....
 – предел измерений манометра, кгс/см²
 – цена деления манометра, кгс/см²
 – превышение над устьем
- 3.6. Марка прибора для измерения времени
- 3.7. Марка и тип прибора для отвода воды
 при откачке из скважины
- 3.8. Расстояние от скважины, куда откачивается вода, м

4. Сведения о нулевых точках скважины (или скважинах в кусте)

№ п/п	Перечень сведений	Центральная скважина	Прифильтрованный пьезометр	Наблюдательные скважины
1	2	3	4	5
1	Общие сведения:			
	– абсолютная отметка устья, м			
	– глубина, м			
	– затампонирована до глубины, м			
	– диаметр в интервале установки фильтра, мм			
2	Фильтр:			
	– тип			
	– диаметр наружной части фильтра, мм			
	наружный			
	внутренний			
	– глубина установки рабочей части фильтра, м:			
	верх			
	низ			
	– длина отстойника, м			
	– длина верхней глухой части, м			
	– общая длина фильтрованной колонны, м			
	– превышение фильтрованной колонны над устьем, м			
	– форма отверстий каркаса			

1	2	3	4	5
	– скважность каркаса, %			
	– диаметр проволоки обмотки, мм			
	– расстояние между витками обмотки, мм			
	– размеры зерен обмотки, мм			
	– объем обсыпки, м ³			
	– глубина до верха обсыпки, м			
3	Тампон:			
	– тип тампона			
	– диаметр труб, мм			
	– диаметр уплотнителя, мм			
	– длина колонны тампона, м			
	– глубина установки уплотнителя, м:			
	верх			
	низ			
– превышение верха колонны тампона над устьем скважины, м				
4	Сведения о нулевых точках одиночной скважины (или куста скважин):			
	– наименование			
	– превышение над устьем скважины, м:			
	до испытаний			
	после испытаний			
	– абсолютная отметка, м:			
	до испытаний			
после испытаний				

Инженер-геолог (гидрогеолог)

Дата

5. Схематический геологический разрез и конструкция скважины (или центральной скважины при кустовом методе откачки воды)

№ п/п	Статиграфический индекс	Гидрологический разрез, уровень подземных вод	Конструкция скважин	Глубина и отметка подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Краткое литологическое описание грунтов
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						

Инженер-геолог (гидрогеолог)

Дата

6. Данные наблюдения за выполнением откачки воды
(таблица)

7. Построение графика откачиваемой воды (Q) во времени (t)
(место графика)

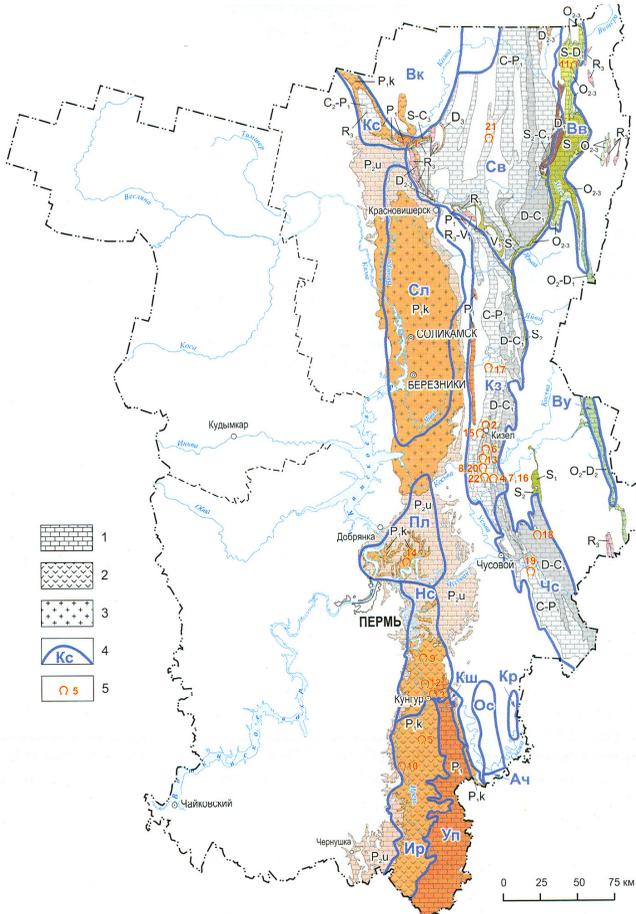
8. Построение графика понижения уровня воды (Q) во времени (t и lgt).
(место графика)

9. Заключение о результатах проведенного испытания грунта.

Инженер-геолог (гидрогеолог)

Дата

ПРИЛОЖЕНИЕ 2



Карта распространения карстуемых пород на территории Пермского края

1 — карбонатные породы; 2 — сульфатные породы; 3 — соли; 4 — карстовые районы (по К. А. Горбуновой, 1992): Ач — Ачитский, ВВ — Верхневишерский, Вк — Вишерский, Ву — Верхнеустьвинский, Ир — Иренский, Кз — Кизеловский, Кр — Кордонский, Кс — Ксенофонтовский, Кш — Кишертский, Нс — Нижнесылвенский, Ос — Осинцевский, Пл — Полазненский, Св — Средневишерский, Сл — Соликамский, Ул — Уфимского плато, Чс — Чусовской; 5 — карстовые пещеры: 1 — Дивья, 2 — Кизеловская (Вишерская), 3 — Кунгурская Ледяная, 4 — Геологов 2, 5 — Ординская, 6 — Темная, 7 — Геологов 3, 8 — Российская, 9 — Зуятская, 10 — Нижнемихайловская, 11 — Вишерская, 12 — Новая Подкаменная (Скаутов), 13 — Марининская, 14 — Малая Дивья, 15 — Кизеловская Медвежья, 16 — Ребристая, 17 — Большая Махневская, 18 — Большая Пашийская, 19 — Чудесница, 20 — Максимовича (Обвальная), 21 — Еранка, 22 — Два Уступа

Учебное издание

Плеханов Михаил Сергеевич

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ПЕРМСКОГО КРАЯ**

Практикум

Редактор и корректор *Н.А. Панова*

Подписано в печать 25.10.2013. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 7,0. Тираж 100 экз. Заказ № 230/2013.

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.