**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

Казахский национальный технический университет им. К.И.Сатпаева

В.А. Завалей, Д.К. Калитов

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение параметров водоносных горизонтов по результатам опытно-фильтрационных работ

Учебное пособие для студентов специальностей

180440 – «Гидрогеология, инженерная геология и геоэкология»,
050706 – «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»,

451140 и 050805 – «Водные ресурсы и водопользование»

Рекомендовано Республиканским учебно-методическим
объединением в качестве учебного пособия

Алматы 2004

В.А. Завалей, Д.К. Калитов

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рекомендовано Республиканским учебно-методическим
объединением в качестве учебного пособия

ББК 26. 35я 73
УДК 556.3:550.81 (076)

З-13 **Завалей В.А., Калитов Д.К.** Гидрогеологические исследования. Определение параметров водоносных горизонтов по результатам опытно-фильтрационных работ: Учеб. пособие. – Алматы: КазНТУ, 2004. – 81 с.

ISBN 9965 – 736 – 26 – X

Учебное пособие составлено в соответствии с программой дисциплин «Гидрогеологические исследования» и «Поиски и разведка подземных вод» для специальностей:
180440 – «Гидрогеология, инженерная геология и геоэкология»,
050706 – «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»,
451140 и 050805 – «Водные ресурсы и водопользование».

Ил. 15. Табл. 19. Библиогр. – 7 назв.

ББК 26. 35я 73

Печатается по плану издания Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2004 год.

$$3\frac{1804080000}{00(05)-04}$$

ISBN 9965 – 736 – 26 – X

© КазНТУ, 2004 .

В В Е Д Е Н И Е

Определение гидрогеологических параметров водоносных пород является одной из главных задач, без решения которой невозможны количественные оценки, расчеты и прогнозы в связи с хозяйственным освоением подземных вод.

Под *параметром,* в широком смысле, понимается величина, характеризующая то или иное свойство какого-либо явления, устройства, установки и т. п.

Водовмещающие породы, слагающие водоносные горизонты, представляют собой поровые или трещинные пористые среды. Основные свойства этих сред, определяющих условия движения в них воды, являются *пористость* и *проницаемость*. Вполне очевидно, что основные расчетные гидрогеологические параметры должны отражать именно эти емкостные и фильтрационные свойства водовмещающей среды.

Пористость водовмещающей горной породы представляет собой часть ее объема, заполненного водой, что определяется отношением объема пустот к общему объему породы.

Характеристикой же емкостных свойств водовмещающей породы в безнапорных условиях является не полная пористость, а лишь ее часть (активная пористость n_0), характеризующаяся *коэффициентом гравитационной водоотдачи породы (μ)*. Этот коэффициент численно равен количеству воды, которое может быть высвобождено из элементарного объема пласта при его осушении под действием гравитационных сил.

В условиях напорной фильтрации осушения породы не происходит, в связи с чем емкостные свойства водоносного горизонта определяются упругостью водовмещающих пород и заключенных в них подземных вод. Для характеристики емкостных свойств напорного пласта принят *коэффициент упругой водоотдачи (μ^*)*, характеризующий количество воды, которое может быть получено с единицы площади напорного пласта при понижении пьезометрического напора на 1 метр.

Фильтрационные свойства водоносного пласта определяются проницаемостью породы – ее свойством пропускать через себя жидкость под действием приложенного градиента давления. Проницаемость породы по отношению к определенной жидкости характеризуется коэффициентом фильтрации. *Коэффициент фильтрации (K)* представляет собой расход жидкости через единицу площади поперечного сечения пласта при напорном градиенте, равном единице, и численно равен скорости фильтрации при единичном градиенте.

При решении задач плановой фильтрации, что наиболее часто встречается в практической гидрогеологии, коэффициент фильтрации заменяется коэффициентом водопроводимости. *Коэффициент водопроводимости (Кт)* представляет собой расход жидкости через единицу поперечного сечения водоносного горизонта мощностью *т* при единичном напорном градиенте.

При гидрогеологических расчетах широко используется комплексный параметр *(а),* в общем случае характеризующий скорость развития депрессии при возмущении пласта.

В безнапорном потоке это *коэффициент уровнепроводности* ($а_у$), определяемый как отношение значения водопроводимости пласта к коэффициенту его гравитационной водоотдачи.

В напорном потоке этот параметр носит название *коэффициента пьезопроводности (а)* и определяется отношением значения водопроводимости пласта к величине коэффициента упругой водоотдачи.

Для оценки фильтрационных свойств и водообильности горных пород применяются следующие методы:

- полевые опытно-фильтрационные работы;
- по данным режимных наблюдений за подземными водами;
- лабораторные исследования;
- геофизические методы;
- методы моделирования.

Каждый из этих методов характеризуется различной степенью надежности получаемых результатов и применяется зачастую комплексно, дополняя друг друга. Однако преобладающим в практике гидрогеологических исследований являются полевые опытно-фильтрационные работы, к которым относятся откачки из скважин, шурфов, колодцев, горных выработок, наливы и нагнетания в скважины, наливы в шурфы, экспресс-методы.

Откачки подземных вод из скважин – это наиболее часто встречающийся в практической гидрогеологии метод, позволяющий с наибольшей долей достоверности и надежности оценивать параметры как грунтовых, так и артезианских водоносных горизонтов. Наливы и нагнетания в скважины позволяют оценивать главным образом фильтрационные свойства слабообводненных пород, а также глубокозалегающих водоносных горизонтов. Наливы в шурфы дают возможность изучения фильтрационных свойств пород зоны аэрации, что необходимо при оценке условий питания водоносных горизонтов, изучении инфильтрационных процессов в зонах санитарной охраны, при проведении геоэкологических и мелиоративных исследований и др.

В учебном пособии, помимо вопросов теоретического характера, связанных с оценкой параметров водоносных горизонтов по результатам опытно-фильтрационных работ предлагается ряд заданий, выполнение которых позволит выработать у студентов навыки практического применения полученных знаний по дисциплине «Гидрогеологические исследования».

Выполнение этих заданий предусматривается не только в ходе аудиторных занятий, но и при самостоятельной работе студентов.

В вузах, готовящих инженеров и бакалавров по специальности «Водные ресурсы и водопользование», где в рабочих планах не предусмотрена дисциплина по выбору «Гидрогеологические исследования», материалы данного учебного пособия могут быть использованы в курсе обязательного компонента «Поиски и разведка подземных вод».

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОТКАЧЕК

1.1. Методика проведения откачек

Откачки подземных вод из скважин являются преимущественными видами опытных работ при гидрогеологических исследованиях. Откачками опробуются, как правило, наиболее перспективные основные водоносные горизонты и при этом:

- определяют дебит и удельный дебит возмущающей скважины;
- оценивают величину понижения уровня подземных вод в возмущающей и наблюдательных скважинах;
- рассчитывают коэффициент фильтрации, водопроводимость, коэффициенты пьезо- и уровнепроводности ;
- определяют приведенный радиус влияния;
- оценивают показатели и динамику развития депрессионной воронки, возникающей в процессе откачки;
- определяют степень гидравлической взаимосвязи подземных и поверхностных вод;
- оценивают степень взаимосвязи между водоносными горизонтами;
- оценивают степень взаимодействия между собой возмущающих скважин и т. п.

Получение достоверных и представительных результатов возможно лишь при строгом соблюдении установленных норм и правил проведения откачек.

Продолжительность откачки должна обеспечивать стабилизацию уровней во всех наблюдательных скважинах для условий стационарного режима фильтрационного потока (установившийся режим). При неустановившемся режиме фильтрации, продолжительность откачки должна обеспечить получение представительных для интерпретации участков графиков прослеживания уровня. Для соблюдения этих условий в напорных песчано-гравийно-галечных водоносных горизонтах рекомендуется принимать длительность откачки от 5 до 10 сут, иногда – до 15 сут. В безнапорных зернистых и трещиноватых водоносных горизонтах продолжительность кустовой откачки принимается 10–15 сут.

Пробные откачки являются наиболее массовым видом опытных работ, которыми опробуются практически все гидрогеологические скважины.

Пробные откачки на поисково-оценочном этапе работ производятся для предварительной оценки фильтрационных свойств и качества воды отдельных водоносных горизонтов для получения сравнительной характеристики различных участков

распространения основных водоносных горизонтов с целью выбора площади разведочных работ.

При проведении разведки месторождения подземных вод пробные откачки производятся для определения возможной производительности разведочно-эксплуатационных скважин – для уточнения фильтрационных свойств водоносных пластов по площади и в разрезе.

Если пробными откачками оцениваются различные интервалы разреза водоносного горизонта (комплекса), то они называются *интервальными.*

Пробная откачка производится из одиночной скважины с одним максимально возможным понижением уровня продолжительностью 1–2 сут (помимо времени, затраченного на прокачку скважины). Продолжительность пробной откачки для каждой скважины определяется проектом работ.

Опытные откачки проводятся главным образом на этапе поисково-оценочных работ и разведки и являются основным видом гидрогеологических работ.

Цели проведения опытных откачек заключаются в определении основных гидрогеологических параметров водоносных горизонтов (коэффициентов фильтрации, водопроводимости, пьезо- и уровнепроводности, водоотдачи, приведенного радиуса влияния, суммарного сопротивления русловых отложений), изучении граничных условий водоносных горизонтов в плане и разрезе, оценки взаимосвязи подземных и поверхностных вод, взаимодействия смежных водоносных горизонтов, установлении зависимости между дебитом и понижением уровня, определении оптимальной производительности эксплуатационных скважин, определении величин срезок уровня при совместной работе эксплуатационных скважин.

Опытные откачки в зависимости от наличия или отсутствия наблюдательных скважин подразделяются на одиночные и кустовые.

Опытные одиночные откачки из скважины с одним понижением уровня проводятся только на стадии разведки из разведочных и разведочно-эксплуатационных скважин с целью установления максимально возможного, близкого по величине к проектному дебиту скважины, а также для изучения качества подземных вод и ориентировочной оценки коэффициента водопроводимости (фильтрации) водоносного горизонта.

Опытные одиночные откачки из скважин с несколькими понижениями уровня необходимо проводить, когда дебит разведочно-эксплуатационных скважин при откачке существенно меньше проектного и необходимо установить зависимость между дебитом скважины и понижением уровня воды. Для получения кривой дебита в большинстве случаев достаточно двух понижений уровня и лишь в безнапорных трещинно-карстовых горизонтах необходимы три понижения уровня.

Опытную одиночную откачку следует проводить с постоянным расходом или с постоянным понижением уровня. Во время откачки допускается отклонение дебита или понижение уровня от среднего не более чем на 10 %.

Продолжительность опытной одиночной откачки из скважины, количество ступеней расхода, их последовательность в каждом конкретном случае определяются проектом работ, но продолжительность откачки на каждой ступени не должна превышать 2–7 сут в зависимости от типа месторождения.

Величина максимального понижения уровня должна составлять не менее 50–60 % от расчетного проектного понижения уровня в скважине при эксплуатации.

Откачку целесообразно начинать с большего понижения уровня, а переход на меньшее понижение уровня осуществляется после полного восстановления уровня, пониженного при первом понижении уровня. Продолжительность опытной одиночной откачки на наименьшем понижении уровня по сравнению с максимальным может быть несколько сокращена. Если водоносный горизонт представлен песками, то откачку следует начинать с наименьшего уровня.

Второе понижение уровня должно быть в 2–3 раза меньше максимально возможного, но не менее 1 м. Если при увеличении понижения уровня наблюдается увеличение удельного дебита, откачку на наименьшем понижении уровня следует повторить, предварительно добившись восстановления статического уровня.

В процессе откачки замеры расхода и уровня воды проводятся первые 2 ч – через 10 мин и далее до конца откачки – через один час, замеры температуры воды и воздуха через два часа.

После остановки опыта необходимо провести восстановление уровня воды в скважине. Замеры уровня проводить со следующими интервалами: первые 15 мин – через 1 мин, далее в течение 1 ч – через 5 мин, затем – через 1 ч до полного восстановления уровня (последние 5–6 ч уровень подземных вод должен быть неизмененным).

Каждое измерение расхода воды объемным способом производится не менее 3-х раз. Разница в значениях времени, необходимого для наполнения емкости, не должна превышать 2 %. Для расчета расхода принимается среднее время по трем показаниям секундомера**.**

Опытная одиночная откачка должна быть непрерывной, но если в процессе откачки была кратковременная остановка (1–2 ч), то продолжительность откачки после остановки должна быть в 10 раз больше продолжительности остановки.

Опытная кустовая откачка – основной вид опытных работ при разведке месторождения подземных вод. Она проводится для определения расчетных гидрогеологических параметров водоносных горизонтов (коэффициентов фильтрации, водопроводимости, пьезо- и уровнепроводности, водоотдачи, перетекания, приведенного радиуса влияния, суммарного сопротивления русловых отложений, опытного определения величин срезок уровня), изучения граничных условий водоносных горизонтов в плане и в разрезе (взаимосвязи поверхностных и подземных вод, взаимодействия смежных водоносных горизонтов и т. д.).

Разновидность опытной кустовой откачки – *опытная групповая откачка*, которая проводится из 2–3 возмущающих скважин. Этот тип откачки применяется при высокой водопроводимости водоносного горизонта в том случае, когда отбор воды из одной центральной скважины не может обеспечить необходимой точности расчетов в связи с незначительными абсолютными величинами понижений уровня. Опытную кустовую (групповую) откачку осуществляют с одним максимально возможным понижением уровня. При этом опытные кусты скважин необходимо располагать на участках будущего водозабора равномерно, чтобы получить полную характеристику параметров по площади будущего водозабора и ближайших к ней участков водоносного горизонта. В тех случаях, когда кустовая откачка проводится для изучения граничных условий водоносных горизонтов, местоположение куста скважин определяется изучаемой границей.

При выборе *местоположения опытного куста* следует учитывать, что наилучшие результаты при определении гидрогеологических параметров дают откачки, в процессе проведения которых на опытные закономерности понижений уровня не накладывается влияния границ.

Влияние границы, независимо от ее природы, считается малым в течение времени $t > t_k$, если дальняя наблюдательная скважина располагается от возмущающей на расстоянии $r \le 0.5 \cdot l$, (где l –

расстояние до границы). Если конфигурация границы известна детально, допустимо большее удаление наблюдательных скважин: в параллельном луче r = 0,6l во внутреннем луче r ≤ 0,8l. Такое удаление позволяет использовать крайние наблюдательные скважины для определения гидрогеологических параметров способом площадного прослеживания.

Выбор *схемы опытного куста* заключается в обосновании количества возмущающих и наблюдательных скважин и их взаимного расположения в плане и разрезе опробуемого участка. Минимальное количество наблюдательных скважин в опытном кусте должно быть не менее трех. И только в достаточно однородных пластах можно ограничиваться двумя с использованием в дальнейшем для определения водопроводимости формулы Дюпюи. По мере увеличения сложности гидрогеологических условий возрастает количество наблюдательных скважин.

Рекомендуется следующее количество наблюдательных скважин:

- для однородных водоносных пластов 2–3;
- для неоднородных пластов 3–4;
- весьма неоднородных 4–10.

При размещении скважин опытного куста необходимо придерживаться лучевой системы.

Рекомендации по размещению первой и второй наблюдательных скважин в кустах (при продолжительности откачек 3–5 сут для напорных и 5–10 сут для безнапорных вод)

Водоносные горизонты	Гидравлический характер горизонта	Максимальное расстояние, м	
		до первой наблюдательной скважины	до второй наблюдательной скважины
Пески мелко- и средне-зернистые	Напорные воды	80	150
	Грунтовые воды	10	15
Пески крупнозернистые	Напорные воды	200	450
	Грунтовые воды	15	30
Гравийно-галечниковые отложения	Напорные воды	200	450
	Грунтовые воды	25	40
Трещиноватые породы	Напорные воды	80	150
	Грунтовые воды	30	50

При большой глубине залегания водоносного горизонта (более 300 м) число специально разбуриваемых наблюдательных скважин сокращается за счет увеличения продолжительности откачки в вовлечения в сферу развития депрессии более удаленных разведочных скважин.

В зависимости от гидрогеологических условий проектируются одно-, двух- и трехлучевые кусты (рис. 1.1). Однолучевые кусты проектируются в относительно однородных пластах на удалении от границ; двухлучевые кусты – в анизотропных пластах, где один луч ориентируется параллельно границе, другой – нормально к ней.

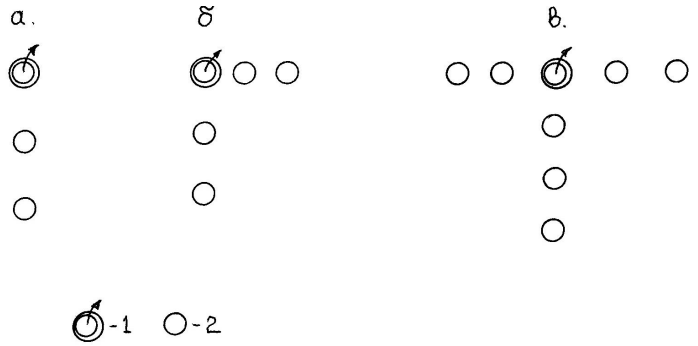


Рис. 1.1. Схемы расположения скважин в кусте:
а – однолучевая; б – двухлучевая, в – трехлучевая;
скважины: 1 – центральная (возмущающая), 2 – наблюдательные

Если влияние границы нежелательно, то нормальный луч задается в направлении от неё (луч внутренний), при необходимости получения информации о границе – в направлении к ней (луч встречный). Трехлучевые кусты задаются в неоднородных пластах со сложными границами.

Положение наблюдательных скважин относительно центральных на разных лучах должно различаться. Расстояние от возмущающей до соответствующей наблюдательной скважины (r_n) определяется по формуле

$$r_n = r_1 \cdot \alpha^{n-1}, \qquad (1.1)$$

где r_1 – расстояние до ближайшей наблюдательной скважины, определяемое из выражения $r_1=(07\div1)m$, где m – мощность водоносного горизонта, м;

α – коэффициент, принимаемый для безнапорных горизонтов, равным 1,5; для напорных – 2,5;

n – порядковый номер наблюдательной скважины (нумерация возрастает в направлении от возмущающей скважины, при двухлучевом кусте по одному лучу присваивают четные номера, по другому – нечетные, при однолучевом кусте – нечетные номера.

По результатам откачки составляется соответствующая документация. В состав документации опытно-фильтрационных работ входит:

1. Разработка расписания для регистрации уровней и дебитов (схема маршрутного обхода скважин, частота замеров);

2. Регистрация уровней и дебитов в полевом журнале, составление необходимой документации (Приложения 1–4);

3. Построение индикаторных графиков $S-t$, $Q-t$, где S– понижение уровня, м; Q – дебит, дм^3/с (рис. 1.2);

4. Построение графиков прослеживания $S-lg\,t$, $S-lg\,r$, $S-lg\dfrac{r^2}{t}$;

5. Составление сводного листа откачки, где приводятся следующие материалы:

- схема расположения скважин опытного куста в масштабе 1:500 – 1:2 000, ситуация местности, направление подземного потока;
- геолого-технический разрез по скважинам опытного куста по каждому лучу (в масштабе 1:500–1:2 000 и по возможности без искажения масштаба). На разрезе показываются отметки поверхности земли, статического и динамического уровней подземных вод, кривых депрессии, интервал установки фильтра;
- сведения о технической характеристике фильтра, откаченного средства, оборудования для наблюдений за уровнями и дебитами;
- графики колебания уровня и дебита в процессе откачки (совмещенные). Наносятся все замеры уровней, включая наблюдения за естественным уровнем воды и за восстановлением уровня после откачки;
- графики временного, площадного и комбинированного прослеживания с указанием основных расчетных параметров (*A* и *C*) для определения фильтрационных свойств водоносных горизонтов и оценки влияния граничных условий на режим откачки;
- таблица основных данных откачки, где приводятся сведения о дате, времени и продолжительности откачки, величины понижения, дебита, результатах расчета коэффициента фильтрации и других параметров;
- таблица результатов определения химического состава и минерализации подземных вод с указание типа воды и формулой Курлова.

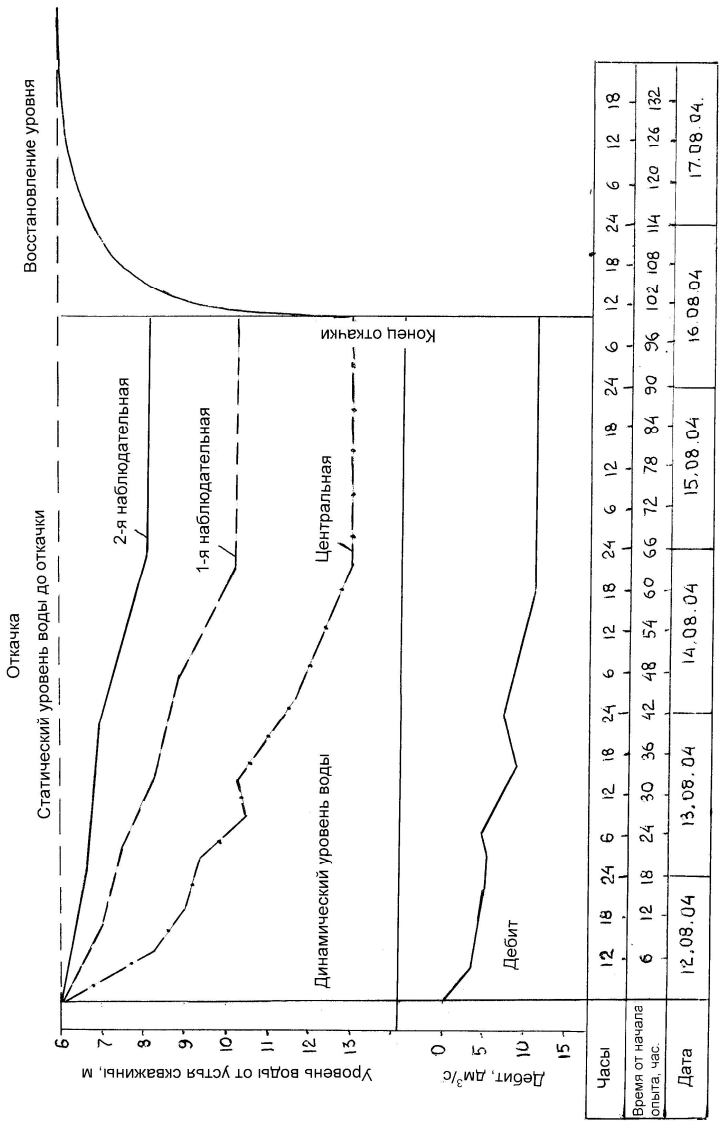


Рис. 1.2. График колебания динамического уровня и дебита при откачке из куста скважин

Перед началом опытной кустовой откачки проводится нивели-

ровка всех скважин с целью приведения их к одной плоскости сравнения и промериваются расстояния от центральной скважины до оси каждой из наблюдательной, составляется план их расположения в масштабе 1:100.

Опытную кустовую откачку следует проводить с постоянным дебитом. Во время откачки допускается отклонение дебита от среднего не более чем на 10 %.

Продолжительность опытной кустовой откачки принимается равной $t = 4t_k$ (t_k – время наступления квазистационарного режима в дальней наблюдательной скважине)

$$t_k = \frac{r^2}{0{,}4 \cdot \alpha}, \qquad (1.2)$$

где α – коэффициент пьезопроводности, м^2/сут;

r – расстояние до дальней наблюдательной скважины, м.

При проведении опытных кустовых откачек в условиях стационарного режима, т. е. при отсутствии изменений расхода и уровня во времени (установившаяся фильтрация), их продолжительность должна быть такой, чтобы время стабилизации уровня при постоянном расходе составляло не менее одной трети от общей продолжительности опыта.

Частота замеров уровня подземных вод в скважинах определяется в зависимости от темпов его снижения и должна обеспечить представительный материал для дальнейших расчетов.

Обычно частота замеров в процессе кустовой откачки выглядит следующим образом:

- в первые 2 ч после начала откачки – через 5–10 мин;
- в последующие 12 часов после начала откачки – через 0,5–1,0 ч;
- далее до конца откачки – через 2–3 ч.

В процессе восстановления уровня после завершения откачки, наблюдения ведутся по следующей схеме:

- первые 15–20 мин после начала восстановления – через 1–2 мин;
- в течение последующих 1–2 ч – через 2–10 мин;
- затем через 1 ч на весь период наблюдений.

Измерения расхода воды, проводимого объемным методом, при каждом замере необходимо дублировать не менее 3-х раз. Разница в

значениях времени, необходимого для наполнения мерной емкости, не должна превышать 2 %. Для расчета расхода принимается среднее время по трем показаниям секундомера.

1.2. Оценка параметров водоносного горизонта по результатам кустовой откачки

Если при работе скважины во время откачки обеспечивается непрерывное восполнение отбираемой воды, то она работает в условиях установившейся фильтрации, которая характеризуется стабилизацией динамического уровня при откачке с постоянным дебитом. Этот режим работы скважины характерен для водозаборов, расположенных вблизи контура питания подземных вод.

Располагая данными о постоянном дебите и установившемся понижении в процессе кустовой откачки с двумя наблюдательными скважинами (см.рис. 1.2), коэффициент фильтрации можно определить для артезианских вод при условии совершенства скважин (рис. 1.3) по следующим зависимостям:

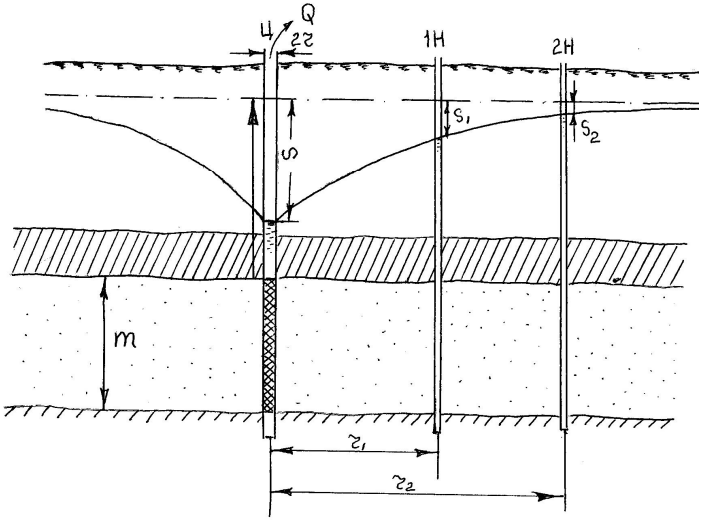


Рис. 1.3. К определению гидрогеологических параметров при откачке из артезианской скважины

для центральной скважины

$$K = 0.366Q\frac{lg\frac{R_n}{r_c}}{mS_0}, \tag{1.3}$$

для центральной и наблюдательной скважин

$$K = 0.366Q\frac{lg\frac{r_1}{r_c}}{m(S_0 - S_1)}, \tag{1.4}$$

для двух наблюдательных скважин

$$K = 0.366Q\frac{lg\frac{r_2}{r_1}}{m(S_1 - S_2)}. \tag{1.5}$$

Для грунтового водоносного горизонта (рис. 1.4) коэффициент фильтрации определяется так:

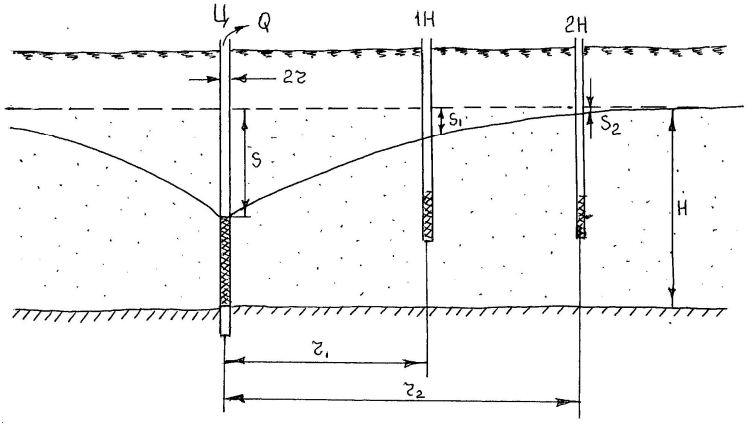


Рис. 1.4. К определению гидрогеологических параметров при откачке из грунтового водоносного горизонта

для центральной скважины

$$K = 0.732Q\frac{lg\frac{R_n}{r_c}}{(2H - S_0)\cdot S_0}; \quad (1.6)$$

для центральной и наблюдательной скважин

$$K = 0.732\cdot Q\frac{lg\frac{r_1}{r_c}}{(2H - S_0 - S_1)(S_0 - S_1)}; \quad (1.7)$$

для двух наблюдательных скважин

$$K = 0.732\cdot Q\frac{lg\frac{r_2}{r_1}}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)}; \quad (1.8)$$

где Q – дебит центральной скважины, м³/сут;
r_c – радиус центральной скважины, м;
r_1, r_2 – расстояния от центральной скважины до первой и второй наблюдательных скважин, м;
H – мощность грунтового водоносного горизонта; м;
m – мощность артезианского пласта, м;
S_o, S_1, S_2 – понижения уровней в центральной, первой и второй наблюдательных скважинах, м;
R_n – приведенный радиус влияния, м.

Приведенный радиус влияния (R_n) определяется по данным кустовой откачки при наличии двух наблюдательных скважин по следующим зависимостям:
для напорных вод

$$lg\ R_n = \frac{S_1\cdot lg\ r_2 - S_2\cdot lg\ r_1}{S_1 - S_2}, \quad (1.9)$$

для грунтовых вод

$$lg\ R_n = \frac{(2H - S_1)S_1\cdot lg\ r_2 - (2H - S_2)S_2\cdot lg\ r_1}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)}. \quad (1.10)$$

Радиус депрессии при откачке может быть также определен графически (методом Коля). Для этого разрез по лучу скважин строится в полулогарифмическом масштабе, где по оси ординат откладываются значения динамических уровней в скважинах при

установившемся режиме откачки, а по оси абсцисс – логарифмы расстояний между скважинами в кусте. В результате депрессионная линия, подчиняющаяся закону Дюпюи, приобретает форму прямой. Абсцисса точки пересечения этой прямой со статическим уровнем представляет логарифм радиуса депрессии (рис. 1.5).

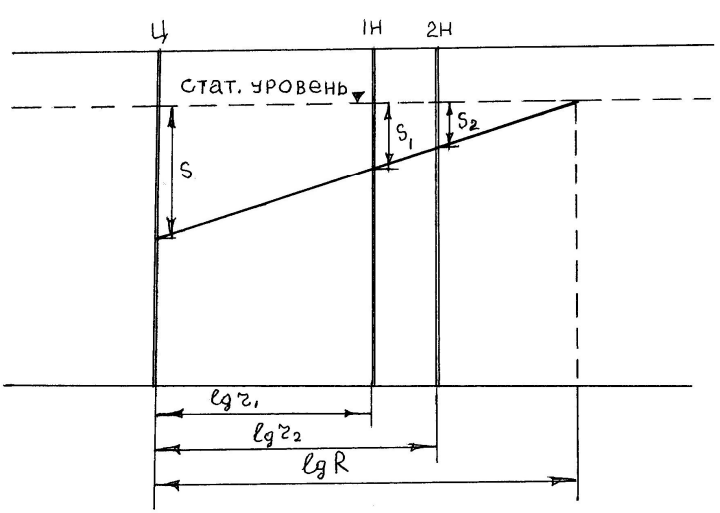


Рис. 1.5. Графический метод определения радиуса депрессии при кустовой откачке

*Коэффициент водоотдачи (*м*)* при известном значении коэффициента фильтрации (*K*) может быть определен по эмпирической формуле Бецинского

$$\mu = 0{,}117 \cdot \sqrt[7]{K} \,. \qquad (1.11)$$

Коэффициент водоотдачи можно определить также анализируя гидрограф опытной откачки, по методу, предложенному доцентом Н.Ф.Фединым:

$$\mu = \frac{A}{V} \,, \qquad (1.12)$$

где A – объем воды, извлеченный из скважины за время откачки, м^3;

V – объем депрессионной воронки, м^3 .

При наличии результатов откачки на две и более ступени понижения уровней строятся графики зависимости дебита от

понижения Q-S и удельного дебита от понижения q-S (рис. 1.6). Наличие таких графиков позволяет делать прогнозы о возможном дебите скважины при заданном проектном понижении или прогнозировать понижение уровня при заданном дебите.

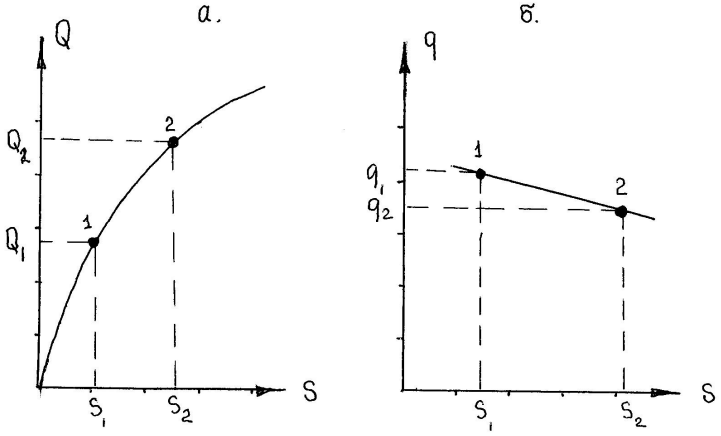


Рис. 1.6. Графики зависимости дебита (а) и удельного дебита (б) от понижения при откачке из грунтового водоносного горизонта

При проведении поисково-разведочных работ на подземные воды, как правило, гидрогеологические скважины по условиям вскрытия пласта являются несовершенными. Это обстоятельство требует внесения определенных поправок на несовершенство в приведенные выше расчетные формулы.

При значениях $l/m>0,1$ (l – длина рабочей части фильтра, m – мощность водоносного горизонта), что при изысканиях для водоснабжения является наиболее частым случаем, формулы (1.3)–(1.8) могут применяться и для несовершенных скважин, для чего введена *поправка на несовершенство.*

В результате эти формулы принимают следующий вид:

При напорных водах:

для центральной скважины

$$K = \frac{0,366Q\left[lg\frac{R_n}{r_0} + 0,217\xi_0\right]}{mS_0}; \qquad (1.13)$$

для центральной и наблюдательной скважин

$$K = \frac{0{,}366Q\left[lg\frac{r_1}{r_0} + 0{,}217(\xi_0 - \xi_1) \right]}{m(S_0 - S_1)}; \qquad (1.14)$$

для двух наблюдательных скважин

$$K = \frac{0{,}366Q\left[lg\frac{r_2}{r_1} + 0{,}217(\xi_1 - \xi_2) \right]}{m(S_1 - S_2)}. \qquad (1.15)$$

При безнапорных водах:
для центральной скважины

$$K = \frac{0{,}73Q\left[lg\frac{R_n}{r_0} + 0{,}217\xi_0 \right]}{(2H - S_0)S_0}; \qquad (1.16)$$

для центральной и наблюдательной скважин

$$K = \frac{0{,}73Q\left[lg\frac{r_1}{r_0} + 0{,}217(\xi_0 - \xi_1) \right]}{(2H - S_0 - S_1)(S_0 - S_1)}; \qquad (1.17)$$

для двух наблюдательных скважин

$$K = \frac{0{,}73Q\left[lg\frac{r_2}{r_1} + 0{,}217(\xi_1 - \xi_2) \right]}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)}. \qquad (1.18)$$

В формулах (1.13)–(1.18) ξ_0, ξ_1, ξ_2, – величины фильтрационных сопротивлений, соответственно учитывающих несовершенство центральной, первой и второй наблюдательных скважин по степени вскрытия, а в центральной скважине также влияние конструкции фильтровой части и др.

Величина ξ_0 складывается из двух составляющих (ξ_0' и ξ_0'').

ξ_0' – определяет несовершенство скважины по степени вскрытия, а ξ_0'' – влияние конструкции фильтровой части и других технических причин.

Величины ξ_0', ξ_1, ξ_2 находятся по табл. 1.2 в зависимости от отношения длины рабочей части фильтра центральной скважины (l) к мощности водоносного горизонта (m) и мощности водоносного горизонта к величине r.

При определении ξ_0' величиной r следует считать радиус центральной скважины (r_0); при определении ξ_1 и ξ_2 – соответственно расстояния от первой и второй наблюдательной скважин до центральной скважины (r_1 и r_2).

При определении величины ξ для безнапорных водоносных горизонтов мощность водоносного горизонта (H) уменьшается на половину понижения в центральной скважине. В том случае, если фильтр центральной скважины незатопленный, его длина (l) уменьшается на половину длины осушенной части фильтра.

Несовершенство наблюдательных скважин, если они расположены на расстояниях, примерно равных или превышающих мощность водоносного горизонта, очень незначительно и его можно не учитывать.

Таблица 1.2

Значения величин фильтрационных сопротивлений (ξ)

$\frac{l}{m}$	m/r									
	0,5	1	3	10	30	100	200	50	1000	2000
0,1	0,00391	0,122	2,04	10,4	24,3	42,8	53,8	69,5	79,6	90,9
0,3	0,00297	0,0908	1,29	4,79	9,2	14,5	17,7	21,8	24,9	28,2
0,5	0,00165	0,0494	0,656	2,26	4,21	6,5	7,86	9,64	11,0	12,4
0,7	0,000546	0,0167	0,237	0,879	1,69	2,67	3,24	4,01	4,58	5,19
0,9	0,000048	0,0015	0,0251	0,128	0,3	0,528	0,664	0,846	0,983	1,12

Приведенные в табл. 1.2 значения ξ используются при расположении рабочей части фильтра у кровли или подошвы пласта. При расположении фильтра внутри пласта, величины ξ следует уменьшать при l/m = 0,3 на 1,5, а при l/m = 0,5 на 0,7.

Величина ξ_0'' наиболее точно может быть рассчитана по данным кустовых откачек.

Неустановившийся режим фильтрации характеризуется тем, что при откачке с постоянным дебитом наблюдается постоянное снижение депрессионной кривой. Причем в начальный этап откачки неустановившийся режим выражен очень резко. На втором этапе откачки движение подземных вод остается неустановившимся, но характер его значительно меняется – депрессионная кривая

продолжает снижаться, но уровни, снижающиеся во времени, остаются параллельными самим себе (рис. 1.7).

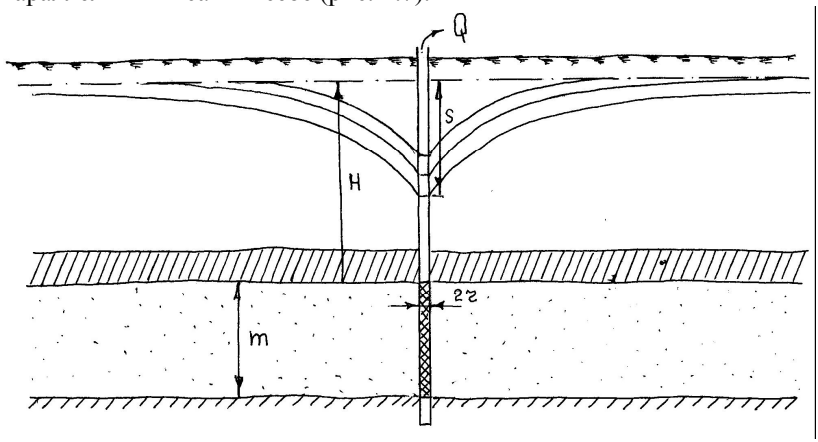


Рис. 1.7. Совершенная артезианская скважина при квазистационарном режиме откачки

Режим подземных вод при опытных откачках из совершенных скважин в неограниченных напорных горизонтах в рыхлых отложениях формируется в результате проявления упругого режима. Зависимость между понижениями уровня и временем откачки описывается уравнением Тейса, имеющим следующий вид:

$$S = -\frac{Q}{4\pi Km} E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right), \qquad (1.19)$$

где S – понижение напора на расстоянии r от скважины, из которой проводится откачка, через время t после начала откачки;

Q – дебит откачки;

Km – водопроводимость водоносного горизонта;

a – коэффициент пьезопроводности;

E_i – интегральная показательная функция.

С возрастанием времени откачки (t) аргумент функции E_i уменьшается. При $\frac{r^2}{4at} \le 0.1$ уравнение (1.19) можно записать в логарифмической форме

$$S = \frac{0.183 \cdot Q}{Km} lg\left(\frac{2.25at}{r^2}\right). \qquad (1.20)$$

Начиная с того момента, когда интегральную показательную функцию можно заменить логарифмом, на опытном участке и наступает, так называемого *квазистационарный режим фильтрации.*

Зона, в которой справедлива логарифмическая зависимость между понижением и временем, называется *зоной (областью) квазистационарного режима.* Радиус зоны квазистационарного режима ($r_к$) определяют по следующей зависимости:

$$r_к = 1{,}58 \cdot \sqrt{at_0}\ . \qquad (1.21)$$

Время наступления квазистационарного режима (t_0) определяется по формуле

$$t_0 \geq \frac{2.5r^2}{a}\ . \qquad (1.22)$$

Расчет оптимального расстояния от центральной до наблюдательной скважины с учетом того, что расстояние между скважинами не должно быть меньше мощности водоносного горизонта, сводится к сопоставлению значений

$$m < r < 0.158 \cdot \sqrt{at}\ . \qquad (1.23)$$

Утверждение, что в напорном изолированном пласте понижение уровня через определенное время после начала откачки связано с логарифмом времени прямолинейной зависимостью, послужило основой графоаналитического метода определения расчетных параметров путем анализа графиков S –lgt .

Действительно, зная, что при применении логарифмов умножение заменяется сложением, получим

$$S = \frac{0.183 \cdot Q}{Km} lg\left(\frac{2.25at}{r^2}\right) = \frac{0.183 \cdot Q}{Km} lg\left(\frac{2.25a}{r^2}t\right) = \frac{0.183 \cdot Q}{Km}\left[lg\left(\frac{2.25a}{r^2}\right) + lgt\right] = \qquad (1.24)$$
$$= \frac{0.183 \cdot Q}{Km} lg\left(\frac{2.25a}{r^2}\right) + \frac{0.183 \cdot Q}{Km} lgt\,.$$

Рассмотрев слагаемые этого уравнения, убедимся, что переменной величиной здесь является лишь время *t*. Если обозначим постоянные значения, входящие в уравнение (1.24) следующим образом

$$\frac{0.183 \cdot Q}{Km} lg\left(\frac{2.25a}{r^2}\right) = A; \qquad \frac{0.183 \cdot Q}{Km} = C, \tag{1.25}$$

то уравнение (1.24) примет вид

$$S = A + C\,lg\,t\,. \tag{1.26}$$

Это уравнение можно представить на графике S–lgt в виде прямой линии, отсекающей от оси ординат отрезок А и наклоненной к оси абсцисс с угловым коэффициентом С = tgα (рис. 1.8).

Угловой коэффициент С определяется по формуле

$$C = \frac{S_1 - S_2}{lg\,t_1 - lg\,t_2}\,. \tag{1.27}$$

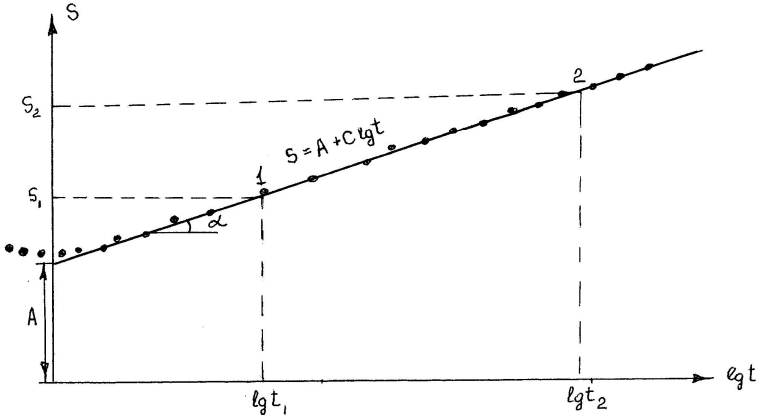


Рис. 1.8. График изменения уровня в процессе откачки
из бесконечного напорного пласта (график временного прослеживания)

Из уравнения (1.25), определив уклон графика (С), можно оценить *водопроводимость*:

$$Km = \frac{0.183 \cdot Q}{C}\,. \tag{1.28}$$

Зная отрезок А, отсекаемый на оси ординат, и уклон С, можно найти *коэффициент пьезопроводности*:

$$lg\, a = 2\, lg\, r - 0.35 + \frac{A}{C}\ . \qquad (1.29)$$

Если определения проводятся по центральной скважине, то в формуле (1.29) величиной *r* следует считать радиус скважины, если же определения проводятся по наблюдательной скважине, то *r* – расстояние от центральной скважины до наблюдательной. При этом надо учитывать, что значение коэффициента пьезопроводности, определенное по центральной скважине, является менее надежным (вследствие возможного влияния призабойной зоны возмущающей скважины).

Построение графика временного прослеживания *S- lgt* возможно как при одиночных, так и при кустовых откачках. При этом для каждой скважины может быть построен график, позволяющий проводить определение расчетных параметров.

Как правило, при построении графиков временного прослеживания используются значения времени, выраженные в часах. При расчете коэффициента водопроводимости по уравнению (1.28) значение его величины выражается в м^2/сут и не требует каких-либо пересчетов. При расчете коэффициента пьезопроводности для получения окончательного результата в м^2/сут необходимо ввести пересчетный коэффициент. При этом уравнение (1.29) приобретет следующий вид:

$$lg\, a = 2\, lg\, r - 0.35 + \frac{A}{C} + lg\, 24 = 2\, lg\, r - 0.35 + \frac{A}{C} + 1.38\ . \qquad (1.30)$$

При откачках из совершенных скважин *в грунтовом водоносном горизонте* подход к определению параметров тот же, однако ось ординат заменяется на *(2H-S)S*. В соответствии с этим графики временного прослеживания строятся с координатами *(2H-S)S–lgt* (рис. 1.9).

Этот график выражается прямой линией, уравнение которой имеет вид

$$S(2H - S) = A + C\, lg\, t\ . \qquad (1.31)$$

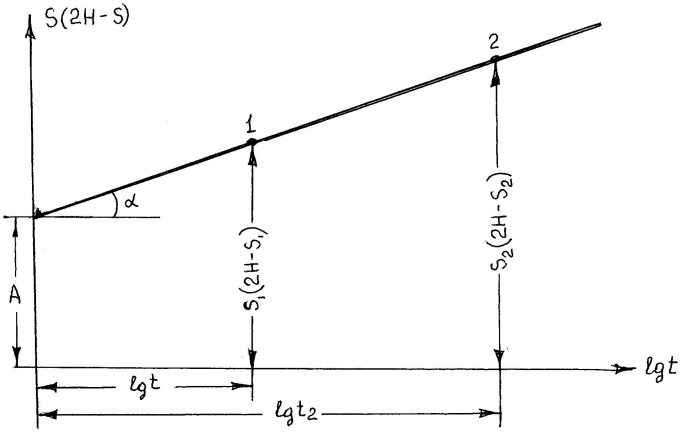


Рис. 1.9. График изменения уровня в процессе откачки из грунтового водоносного горизонта (график временного прослеживания)

Величина А определяется длиной отрезка, отсекаемого на оси ординат (рис. 1.9), а угловой коэффициент С рассчитывается по формуле

$$C = \frac{S_2(2H - S_2) - S_1(2H - S_1)}{lg\,t_2 - lg\,t_1} \quad . \tag{1.32}$$

При известных значениях параметров А и С *коэффициенты фильтрации (К) и уровнепроводности* (a_y) могут быть рассчитаны по формулам

$$K = \frac{0.366 \cdot Q}{C} \quad , \tag{1.33}$$

$$lg\,a_y = 2\,lg\,r - 0.35 + \frac{A}{C} . \tag{1.34}$$

Приведенные выше формулы служат для определения параметров по совершенным скважинам. При обработке результатов опытных работ по *несовершенным скважинам* методика остается прежней, не меняются также формулы (1.28) и (1.32) для определения коэффициента водопроводимости и фильтрации. Несколько изменяются только формулы (1.29) и (1.34) для определения коэффициента пьезопроводности и уровнепроводности, которые принимают следующий вид:

$$lg\, a = 2lg\, r - 0{,}35 + \frac{A}{C} - 0{,}434\xi\,; \tag{1.35}$$

$$lg\, a_y = 2lg\, r - 0{,}35 + \frac{A}{C} - 0{,}434\xi\,, \tag{1.36}$$

где ξ – величина гидравлического сопротивления за счет несовершенства скважины.

Величина ξ определяется так же, как и при расчетах по формулам установившейся фильтрации. Для наблюдательных скважин она очень незначительна, и практически ею можно пренебречь.

Как отмечалось, величина фильтрационного сопротивления центральной скважины (ξ_0) складывается из двух составляющих, определяющих несовершенство по степени вскрытия водоносного пласта и влияние конструкции фильтровой части скважины. Величина $\xi_0{}'$, характеризующая несовершенство по степени вскрытия, определяется по табл. 1.12. Величину $\xi_0{}''$, определяющую влияние конструкции, можно оценить как разность между величинами ξ_0 и $\xi_0{}^1$. Величина ξ_0 может быть определена по данным кустовой откачки с двумя наблюдательными скважинами по формуле

$$\xi_0 = 4{,}6\left(\frac{S_0 - S_1}{S_1 - S_2} lg\frac{r_2}{r_1} - lg\frac{r_1}{r_0}\right). \tag{1.37}$$

Следует иметь в виду, что изложенная выше методика определения показателя несовершенства ξ_0 может быть использована только в относительно однородных пластах.

Как ожидается, ближайшие годы ознаменуются переоценкой ранее утвержденных эксплуатационных запасов подземных вод целого ряда месторождений. При осуществлении переоценки запасов эксплуатируемых месторождений параметры водоносных горизонтов, как правило, должны быть рассчитаны по результатам работы действующих водозаборов. При этом надо учитывать то обстоятельство, что длительная работа нескольких совместных скважин обычно характеризуется изменяющейся во времени величиной водоотбора, когда одновременно включаются или останавливаются одна или несколько скважин.

Такие же условия *разновременного включения нескольких возмущающих скважин* могут возникнуть при проведении групповой откачки, когда, например, работой одной скважины невозможно достичь необходимого для расчетов понижения динамического уровня.

Рассмотрим случай, когда групповая откачка проведена из двух возмущающих скважин с расстоянием r между ними. Вторая скважина была включена в работу через время t_1 после начала откачки из первой скважины. Скважины разнодебитные: дебит первой скважины – Q_1, второй – Q_2. Радиусы обеих скважин r_0. Наблюдения за понижением динамического уровня проводились в первой скважине. С учетом того, что возмущающие скважины являются взаимодействующими, понижение S в первой скважине на момент времени t после начала откачки будет складываться из понижения, вызванного работой самой скважины S_1, и срезкой уровня, обусловленной работой второй скважины ΔS_2:

$$S = S_1 + \Delta S_2 . \tag{1.38}$$

Время работы второй скважины составляет ($t - t_1$), т. к. она была включена в работу через время t_1 после начала откачки из первой скважины.

Общее уравнение для понижения S может быть составлено исходя из уравнения (1.38)

$$S = \frac{Q_1}{4\pi Km} \cdot ln\frac{2.25at}{r_0} + \frac{Q_2}{4\pi Km} \cdot ln\frac{2.25(t-t_1)}{r}. \tag{1.39}$$

Преобразуем уравнение (1.39) следующим образом:

$$\begin{aligned} S &= \frac{Q_1}{4\pi Km} \cdot ln\frac{2.25at}{r_0} + \frac{Q_2 \cdot Q_1}{4\pi KmQ_1} \cdot ln\frac{2.25(t-t_1)}{r} = \\ &= \frac{Q_1}{4\pi Km}\left[ln\frac{2.25a}{r_0^2} + lnt + \alpha \cdot ln\frac{2.25a}{r^2} + \alpha \cdot ln(t-t_1)\right]. \end{aligned} \tag{1.40}$$

В уравнении (1.40) принято

$$\alpha = \frac{Q_2}{Q_1} . \tag{1.41}$$

Продолжим преобразование уравнения (1.40) и получим

$$S = \frac{Q_1}{4\pi Km}\left[ln\frac{(2.25a)^{\alpha+1}}{r_0^2 \cdot r^{2\alpha}} + ln\, t(t-t_1)^{\alpha} \right]. \qquad (1.42)$$

Заменим в уравнении (1.41) натуральные логарифмы десятичными:

$$S = \frac{0.183 \cdot Q_1}{Km}\left[lg\frac{(2.25a)^{\alpha+1}}{r_0^2 \cdot r^{2\alpha}} + lg\, t(t-t_1)^{\alpha} \right]. \qquad (1.43)$$

Раскроем квадратные скобки и получим

$$S = \frac{0.183 \cdot Q_1}{Km} lg\frac{(2.25a)^{\alpha+1}}{r_0^2 \cdot r^{2\alpha}} + \frac{0.183 \cdot Q_1}{Km} \cdot \left[lg\, t(t-t_1)^{\alpha} \right]. \qquad (1.44)$$

Выразим в уравнении (1.44) выражения, имеющие постоянные значения (Q_1, km, α, r_0, r), следующим образом:

$$\frac{0.183 \cdot Q_1}{Km} lg\frac{(2.25a)^{\alpha+1}}{r_0^2 \cdot r^{2\alpha}} = A_1; \qquad (1.45)$$

$$\frac{0.183 \cdot Q_1}{Km} = C_1. \qquad (1.46)$$

Параметры уравнения (1.44), характеризующие время откачки, отобразим таким образом:

$$lg\, t(t-t_1)^{\alpha} = lg\, t_n. \qquad (1.47)$$

Подставив принятые постоянные A_1, C_1 и lgt_n в уравнение (1.44), получим

$$S = A_1 + C_1 \cdot lg\, t_n. \qquad (1.48)$$

Эта зависимость аналогична зависимости (1.20) при откачке из одиночной скважины, что позволяет, как и для одиночной скважины, осуществлять определение параметров водоносного горизонта графоаналитическим способом, т.е. построением графиков временного прослеживания в координатах S -lgt_n.

При квазистационарном режиме откачки график будет представлять собой прямую линию, наклоненную к оси абсцисс с угловым коэффициентом C_1 и отрезком A_1, отсекаемым на оси ординат (рис. 1.10).

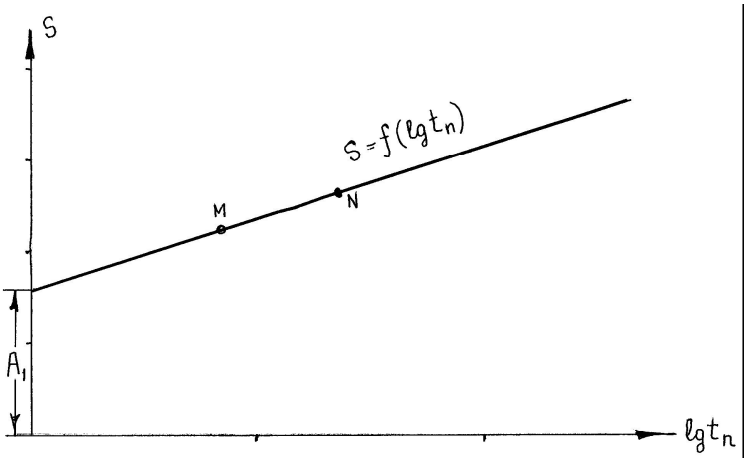


Рис. 1.10. График временного прослеживания, построенный по результатам групповой откачки с разновременным включением скважин

Коэффициент C_1 определяется по формуле

$$C_1 = \frac{S_2 - S_1}{lg\, t_{n2} - lg\, t_{n1}}. \qquad (1.49)$$

Определив с графика временного прослеживания значения параметров A_1 и C_1, можно рассчитать *коэффициенты водопроводимости и пьезопроводности* по формулам, которые получаются из уравнений (1.35) и (1.36)

$$Km = \frac{0.183 \cdot Q_1}{C_1}\ ; \qquad (1.50)$$

$$lg\, a = \frac{2\, lg\, r_0 + 2\alpha\, lg\, r - (\alpha + 1) \cdot 0.35 + \dfrac{A_1}{C_1}}{\alpha + 1}\ . \qquad (1.51)$$

В том случае, если работают несколько разновременно включающихся скважин расчетные формулы будут иметь следующий вид:

$$lg\, t_n = lg\, t(t-t_1)^{\alpha 1} \cdots (t-t_n)^{\alpha n}\ ; \qquad (1.52)$$

$$Km = \frac{0.183 \cdot Q}{C_1}\ ; \qquad (1.53)$$

$$lg\, a = \frac{2lg\, r_0 + 2\alpha_1 lg\, r_1 + 2\alpha_2 lg\, r_2 + \cdots + 2\alpha\, lg\, r_n - (1+\alpha_1+\alpha_2+\cdots\alpha_n)\cdot 0.35 + \frac{A_1}{C_1}}{1+\alpha_1+\alpha_2+\cdots+\alpha_n}\ , \qquad (1.54)$$

где A_1 и C_1 – параметры прямой, определенные по графику временного прослеживания S -lgt_n;

t – время от начала откачки до момента расчета;

$t_1, t_2, ..., t_n$ – время начала работы скважин с номерами 1, 2,…,n;

r_0 – радиус опытной скважины;

$r_1, r_2, ..., r_n$ – расстояние от скважины с номерами 1, 2, …,n до опытной скважины;

$$\alpha_1 = \frac{Q_1}{Q}\ ;\ \ \alpha_2 = \frac{Q_2}{Q}\ ; \ldots Q_n = \frac{Q_n}{Q}\ ,$$

где Q – дебит опытной скважины;

$Q_1, Q_2, ..., Q_n$ – дебиты скважин с номерами 1, 2, …, n.

Расчетные точки для определения lgt_n и построение графика зависимости $S\text{-}lgt_n$ необходимо брать для моментов времени, превышающих время от начала откачки до пуска или остановки последней скважины.

При изменениях дебита по ступенчатому графику для расчетов параметров может быть использована методика, аналогичная методике, применяемой по групповой откачке. Для этого выбирают несколько расчетных периодов t_n и для каждого из них по формуле (1.52) находят $lg\, t_n$; коэффициенты $б_1, б_2, ..., б_n$, входящие в формулу (1.52), определяются по следующим зависимостям:

$$\alpha_1 = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1}\ ;$$

$$\alpha_2 = \frac{Q_3 - Q_2}{Q_1}; \qquad (1.55)$$

$$\alpha_{n-1} = \frac{Q_n - Q_{n-1}}{Q_1},$$

где Q_1 – первоначальный дебит скважины,

$Q_2, Q_3, ...Q_n$ – дебиты скважин соответственно в моменты времени t_1, t_2, t_{n-1} изменения дебита.

После этого строится график зависимости $S - lg\, t_n$ и определяются параметры графика А и В.

Коэффициент водопроводимости рассчитывается по формуле (1.53), а коэффициент пьезопроводимости – по формуле

$$lg\, a = \frac{2\left(1 + \alpha_1 + ...\alpha_{n-1}\right) lg\, r - \left(1 + \alpha_1 + ...\alpha_{n-1}\right) \cdot 0{,}35 + \frac{A}{B}}{1 + \alpha\ ... + \alpha_{n-1}}, \qquad (1.56)$$

где r – радиус водозабора, определяемый по формулам, приведенным выше.

Расчетные периоды при определении параметров при откачке с изменяющимся дебитом должны быть больше времени последнего изменения дебита, т. е. $t \geq t_{n-1}$.

Эта же методика может быть применена и для определения параметров из одиночной скважины, если дебит при откачке в связи с техническими условиями не остается постоянным.

Методика определения *величины приведенного радиуса влияния* (R_n) зависит от режима движения подземных вод при проведении откачек. В случае, если режим установившийся, т. е. динамические уровни в скважинах стабилизировались и понижения уровней не изменяются, расчет R_n осуществляется по вышеприведенным формулам (1.9), (1.10).

Вполне очевидно, что границей радиуса влияния при откачке является зона, где величина понижения уровня равна нулю. Значение приведенного радиуса влияния при неустановившемся режиме фильтрации (R_n) определяется исходя из того, что понижение уровня воды по уравнению (1.20) равно нулю. Это будет соблюдаться в том случае, если выражение $\frac{2{,}25at}{r^2} = 1$ (соответственно логарифм этой величины равен нулю).

Расстояние, на котором это условие соблюдается, обозначается $r = R_n$, а его значение определяется по формуле

$$R_n^2 = 2{,}25at \quad \text{или} \quad R_n = 1{,}5\sqrt{at}\ , \tag{1.57}$$

где a – коэффициент пьезопроводности;

t – время проведения откачки.

Утверждение о том, что откачка осуществляется при установившемся режиме, базируется на данных о стабилизации уровней. Однако представление о стабилизации уровней при откачке может быть мнимым в том случае, когда скорости понижения уровней в конце откачки резко уменьшаются и абсолютные значения понижений (особенно в наблюдательных скважинах) выходят за пределы точности измерительных приборов.

Для установления *достоверности стабилизации* рекомендуется провести контрольный расчет понижения уровня на предполагаемый момент стабилизации. Для этого по первому периоду откачки, выраженному на графике временного прослеживания прямой линией, наклоненной к оси абсцисс с угловым коэффициентом (С), определяются коэффициенты водопроводимости и пьезопроводности (1.28), (1.29). Эти коэффициенты можно также определить по данным восстановления уровня, воспользовавшись для этих целей графиками временного прослеживания. Далее по формуле (1.57) определяется R_n, соответствующий времени проведения откачки, а по уравнению Дюпюи

$$S = \frac{Q}{2\pi km} ln \frac{R_n}{r} \tag{1.58}$$

определяют расчетное понижение уровня к концу времени проведения откачки. Если понижение, наблюденное в конце откачки, будет меньше расчетного, можно делать вывод об истинной стабилизации режима откачки и наличии местного питания, стабилизирующего водоотбор. В этом случае приведенный радиус влияния должен определяться по уравнениям (1.9) или (1.10).

Если наблюденное при откачке понижение будет больше рассчитанного по формулам неустановившегося движения или примерно равно ему, стабилизация является кажущейся, связанной с несовершенством измерительной техники.

Все вышеперечисленные опытные работы характеризуются *постоянным дебитом* при возмущении водоносного горизонта. Однако в определенных условиях опытно-фильтрационные работы могут проводиться с постоянным понижением, а переменной величиной в этом случае является дебит возмущающей скважины.

Постоянное понижение при производстве опытов характерно для выпусков при работе возмущающей скважины в режиме самоизлива или откачек насосами с ограниченной высотой подъема воды. Постоянной величиной при выпуске является значение величины снижения пьезометрического напора, замеренного по показаниям манометра, установленного на устье скважины.

В течение времени проведении опыта значение величины дебита скважины уменьшается, являясь переменным по отношению к времени проведения опыта. Степень изменения дебита зависит от водопроводимости пород водоносного горизонта и от величины понижения уровня. Чем больше водопроводимость, тем меньше изменяется дебит при том же понижении.

Дебит скважины ($Q_{(t)}$), работающей с постоянным понижением, на каждый момент времени после начала опыта (t), может быть определен по уравнению

$$Q_{(t)} = \frac{Km \cdot S_0}{0.183 \cdot lg \frac{2.25at}{r_0^2}} \quad \text{при условии} \quad \frac{at}{r_0^2} > 100, \qquad (1.59)$$

где S_0 – понижение уровня или напора в возмущающей скважине, м;

r_0 – радиус возмущающей скважины, м.

Уравнение (1.59) можно записать в следующем виде:

$$\frac{1}{Q} = A_t + C lg\, t \ . \qquad (1.60)$$

Это уравнение прямой с угловым коэффициентом $C = \frac{0,183}{km \cdot S_0}$.

С учетом того, что понижение в наблюдательных скважинах при выпусках происходит при переменном дебите возмущающей скважины, требуются соответствующие способы обработки опытных данных.

Так, понижение в наблюдательных скважинах куста при условии S=const описывается уравнением, аналогичным уравнению (1.19), с дебитом, изменяющимся по уравнению (1.59).

По истечении контрольного времени $t_k > \frac{500r^2}{a}$, понижение в наблюдательных скважинах описывается уравнением (1.20), что позволяет записать его в виде прямой относительно приведенного понижения $\left(\frac{S}{Q}\right)$ в координатах

$$\frac{S}{Q} = A_t + C_t \lg t, \quad \frac{S}{Q} = A_r - C_r \lg r, \quad \frac{S}{Q} = A_k + C_k \lg \frac{t}{r^2}. \qquad (1.61)$$

Обработку результатов кустовых выпусков можно производить способами временного (рис.1.11), площадного и комбинированного графиков прослеживания, где прослеживается приведенное понижение

$$\frac{S}{Q} - \lg t, \quad \frac{S}{Q} - \lg r, \quad \frac{S}{Q} - \lg \frac{t}{r^2}.$$

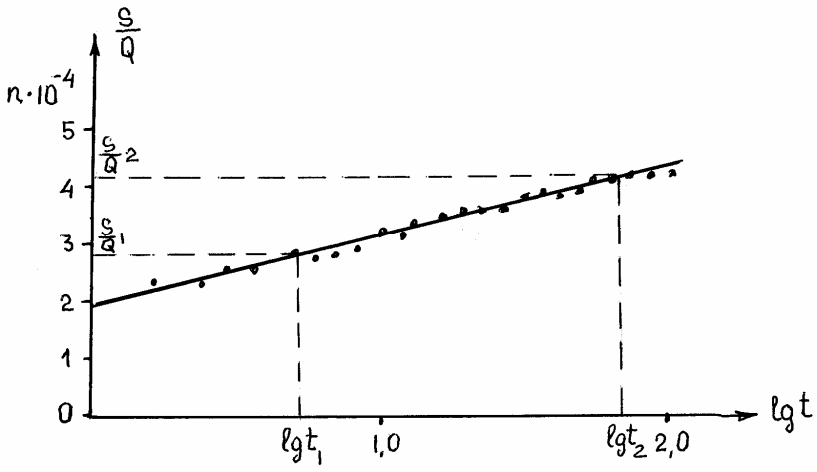


Рис.1.11. График временного прослеживания при опытном выпуске

Коэффициенты водопроводимости и пьезопроводности определяются по угловым коэффициентам (C_t, C_r, C_k) и начальным ординатам (A_t, A_r, A_k) графиков прослеживания приведенного понижения по следующим формулам:

- временное прослеживание

$$Km = \frac{0.183}{C_t} \ , \ \ lg\, a = 2\, lg\, r - 0.35 + \frac{A_t}{C_t}\,; \tag{1.62}$$

- площадное прослеживание

$$Km = \frac{0.366}{C_r} \ , \ \ lg\, a = \frac{2A_r}{C_r} - 0.35 - lg\, t\,; \tag{1.63}$$

- комбинированное прослеживание

$$Km = \frac{0.183}{C_k} \ , \ \ lg\, a = \frac{A_k}{C_k} - 0.35\,. \tag{1.64}$$

Необходимо помнить, что величина понижения пьезометрического напора, замеренного на устье возмущающей скважины (S_0), является завышенной по сравнению с истинным забойным давлением. Это обусловлено *гидравлическими потерями напора (ΔH*) при подъеме воды в скважине. Величина этих потерь может быть определена по следующей эмпирической формуле:

$$\Delta H = 30.9\, \frac{Q^{1.88} L}{D^5} \ , \tag{1.65}$$

где ΔH – потери напора, м;

Q – дебит, дм^3/с;

L – длина колонны труб от водоприемной части до уровня излива, м;

D – внутренний диаметр труб, см.

Если (ΔH) имеет заметную величину по сравнению с замеренным понижением (S_0), что имеет место в глубоких высокодебитных скважинах, в качестве расчетного понижения (S_p), используемого в формулах, необходимо принимать

$$S_p = S_0 - \Delta H\,. \tag{1.66}$$

Задание 1. Определение параметров грунтового водоносного горизонта по результатам откачки, проведенной при установившемся режиме фильтрации

Откачка проведена в грунтовом водоносном горизонте из куста, состоящего из центральной (1-Ц) и двух наблюдательных скважин (1-Н, 2-Н). (Табл.1.1.) Скважины совершенные. Расстояния между скважинами, расположенными по одному лучу: центральная – 1-я наблюдательная –

Таблица 1.1

Результаты кустовой откачки (к заданию 1)

Дата	Время замера, ч, мин	Центральная опытная скважина № 1-Ц								Наблюдательные скважины			
		Динамический уровень	Объем мерной емкости, $дм^3$	Время наполнения мерной емкости, секунд	Дебит, $дм^3/с$	Понижение статического уровня, м	Удельный дебит, $дм^3/с$ на 1 м пониж.	Температура, ^0C		№ 1-Н		№ 2-Н	
								Воды	воздуха	Динамический уровень, м	Пони-жение, м	Динамический уровень, м	Пони-жение, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Первое понижение													
22.03. 02	08.30	3,00 ст.	400,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8	10,0	3,00 ст.	0,0	3,00 ст.	0,0
	09.30	4,20	400,0	57,0				11,8	11,0	3,20		3,01	
	11.30	4,45	400,0	60,0				11,9	12,1	3,42		3,12	
	13.30	4,60	400,0	60,0				11,9	14,4	3,57		3,33	
	15.30	4,85	400,0	59,0				12,1	16,1	3,61		3,41	
	19.30	4,90	400,0	64,0				12,0	14,3	3,68		3,54	
	23.30	5,00	400,0	70,0				12,1	10,1	3,71		3,56	
23.03. 02	03.30	5,20	400,0	69,0				12,0	10,2	3,84		3,62	
	05.30	5,20	400,0	72,0				11,9	09,8	3,90		3,69	
	09.30	5,35	400,0	74,0				12,0	13,1	3,94		3,69	
	13.30	5,50	400,0	73,0				12,0	17,4	3,99		3,70	

Продолжение табл. 1.1

	17.30	5,49	400,0	74,0				12,1	12,9	3,98		3,71	
	19.30	5,50	400,0	72,0				12,0	11,2	3,98		3,70	
	23.30	5,51	400,0	73,0				11,9	08,1	3,99		3,71	
24.03.02	01.30	5,50	400,0	74,0				11,9	07,4	3,98		3,70	
	05.30	5,50	400,0	74,0				11,8	07,1	3,98		3,70	
	07.30	5,50	400,0	74,0				11,8	08,2	3,98		3,70	
Восстановление динамического уровня после завершения откачки на первое понижение													
24.03.02	07.32	5,02											
	07.35	4,30											
	07.42	4,15											
	07.55	4,01											
	09.30	3,43											
	11.30	3,20											
	14.30	3,09											
	19,30	3,03											
	24,00	3,00											
Второе понижение													
25.03.02	08.00	3,00 ст.	400,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8	10,0	3,00 ст.	0,0	3,00 ст.	0,0
	08.30	3,70	400,0	85,0				11,8	11,0	3,06		3,01	
	10.00	3,85	400,0	88,0				11,9	12,1	3,10		3,03	
	12.00	3,96	400,0	90,0				11,9	14,4	3,12		3,06	
	14.00	4,10	400,0	91,0				12,1	16,1	3,12		3,10	
	17.00	4,01	400,0	86,0				12,0	14,3	3,20		3,10	
	20.00	4,20	400,0	92,0				12,1	10,1	3,14		3,12	
	24.00	4,25	400,0	90,0				12,0	10,2	3,20		3,16	
26.03.02	04.00	4,25	400,0	87,0				11,9	09,8	3,26		3,19	
	08.00	4,40	400,0	90,0				12,0	13,1	3,31		3,22	

Продолжение табл. 1.1

	12.00	4,50	400,0	96,0				12,0	17,4	3,39		3,26	
	16.00	4,50	400,0	96,0				12,1	12,9	3,39		3,26	
	20.00	4,50	400,0	96,0				12,0	11,2	3,39		3,26	
	24.00	4,50	400,0	96,0				11,9	08,1	3,39		3,26	
27.03.02	04.00	4,50	400,0	96,0				11,9	07,4	3,39		3,26	
	08.00	4,50	400,0	96,0				11,8	07,1	3,39		3,26	
	12.00	4,50	400,0	96,0				11,8	08,2	3,39		3,26	
Восстановление динамического уровня после завершения откачки на второе понижение													
27.03.02	12.02	4,30											
	12.05	4,10											
	12.20	3,88											
	13.00	3,59											
	14.00	3,35											
	16.00	3,12											
	19.00	3,04											
	24.00	3,00											

20,0 м; центральная – 2-я наблюдательная – 30,0 м. Радиус центральной скважины – $r_0 = 0{,}1$ м. Статический уровень зафиксирован на глубине – 3,0 м. Мощность водоносного горизонта – 20,0 м. Объем мерной емкости для определения дебита при откачке – 100,0 дм^3 .

Откачка проведена на две ступени понижения уровня.

Для выработки навыков в оформлении результатов кустовой откачки и определении параметров водоносного горизонта требуется:

1. Построить совмещенные графики изменения дебита и динамического уровня в процессе откачки Q -t, H –t (см. рис.1.1) и установить расчетные данные откачки (заполнить табл. 1.2).
2. Определить радиус влияния при откачке при первом и втором понижениях (аналитически и графически) (см. рис.4).
3. Построить графики зависимости дебита от понижения Q -S_0 и удельного дебита от понижения q -S_0 (см. рис. 1.5).
4. Построить разрез по лучу куста скважин и показать депрессионную воронку в неискаженном масштабе.
5. Определить коэффициент фильтрации, коэффициент водоотдачи, коэффициент уровнепроводности и водопроводимость пород водоносного горизонта.

Таблица 1.2

Расчетные параметры откачки

№ понижения	Величина понижения, м			Дебит скважины , Q		Удельный дебит, q дм^3/с на 1 м понижения
	в центральной скважине, S_0	в 1-й наблюдат. скважине, S_1	во 2-й наблюдат. скважине, S_2	дм^3/с	м^3/сут	
1						
2						

Задание 2. Определение параметров напорного водоносного горизонта по результатам откачки, проведенной при установившемся режиме фильтрации

Откачка проведена из совершенной центральной скважины куста. Куст заложен в напорном водоносном горизонте, который пред-

ставлен среднезернистыми песками. Диаметр центральной скважины – 0,3 м.

Результаты откачки, сведения о кусте скважин и водоносном горизонте приведены в табл. 1.3. Задание выполняется по вариантам.

Требуется:

1. Установить расчетные данные откачки и внести их в табл. 1. 2.
2. Определить радиус влияния при откачке при первом и втором понижениях (аналитически и графически) (см. рис.1.4).
3. Построить графики зависимости дебита от понижения $Q - S_0$ и удельного дебита от понижения $q - S_0$ (см. рис. 1.5).
4. Построить разрез по лучу куста скважин и показать депрессионную воронку в неискаженном масштабе.
5. Определить коэффициент фильтрации, коэффициент водоотдачи, коэффициент уровнепроводности и водопроводимость пород водоносного горизонта.

Задание 3. Определение параметров напорного водоносного горизонта по результатам откачки, проведенной при неустановившемся режиме фильтрации

Опытная кустовая откачка проведена в напорном водоносном горизонте с постоянным дебитом – Q. Расстояние от центральной до наблюдательной скважины – r. Радиус центральной скважины – r_c. Мощность водоносного горизонта – m. Значения параметров по вариантам приведены в табл. 1.4. Результаты хода проведения откачки в табл. 1.5.

Для выработки навыков обработки результатов кустовой откачки, проведенной при неустановившемся режиме фильтрации, необходимо:

1. Определить параметры напорного водоносного горизонта: коэффициент фильтрации, водопроводимость, коэффициент пъезопроводности (расчеты произвести как для центральной, так и для наблюдательной скважин).
2. Определить аналитически время, с которого начинается прямолинейная зависимость на графике S-lg t.
3. Установить правильность выбора расстояния между скважинами в кусте.

Таблица 1.3

Расчетные значения параметров (к заданию 2)

Варианты задания	Мощность водоносного горизонта, м	Глубина залегания статического уровня, м	Расстояние между центр. и 1-й наблюд. скваж., X_1, м	Расстояние между центр. и 2-й наблюд. скваж., X_2, м	Объем мерной емкости, W, $дм^3$	Результаты откачки, проведенной при установившемся режиме фильтрации							
						1-е понижение				2-е понижение			
						Динамический уровень в скважинах, м			Время наполнения мерной емкости, с	Динамический уровень в скважинах, м			Время наполнения мерной емкости, с
						Центральная	1-я наблюдательная	2-я наблюдательная		Центральная	1-я наблюдательная	21-я наблюдательная	
1	22,0	4,0	20,5	31,0	120,0	6,50	4,99	4,69	23,0	5,50	4,40	4,25	29,0
2	22,5	5,5	25,0	37,0	150,0	7,50	6,38	6,23	33,0	7,00	6,08	5,97	36,0
3	25,0	3,0	25,0	38,0	200,0	5,00	3,89	3,74	44,0	4,50	3,58	3,46	48,0
4	30,0	3,8	30,0	45,0	250,0	6,30	4,75	4,47	23,0	5,30	4,18	4,06	28,0
5	32,5	4,0	30,0	43,0	210,0	6,55	4,96	4,65	38,0	5,50	4,39	4,27	47,0
6	21,5	4,5	20,5	31,0	200,0	6,99	5,49	5,19	37,0	6,00	4,88	4,76	48,0
7	23,0	5,0	24,0	36,0	300,0	7,01	5,89	5,74	65,0	6,49	5,57	5,46	72,0
8	26,0	3,5	25,0	35,0	250,0	5,49	3,87	3,72	54,0	5,01	4,08	3,97	60,0
9	28,5	3,0	30,0	46,0	350,0	5,51	3,95	3,66	32,0	4,50	3,38	3,27	39,0
10	29,0	5,5	29,5	43,5	400,0	8,02	6,48	6,18	37,0	6,99	5,88	5,77	45,0

Таблица 1.4

Значения расчетных параметров (к заданию 3)

Варианты задания	Дебит центральной скважины, Q $м^3$/сут	Расстояние между скважинами в кусте, r , м	Мощность водоносного горизонта, m, м	Радиус центральной скважины, r_c, м
1	864,0	50,0	21,0	0,10
2	720,0	45,0	17,5	0,11
3	432,0	40,0	15,0	0,12
4	520,0	60,0	24,5	0,13
5	630,0	55,0	22,5	0,14
6	550,0	70,5	28,5	0,10
7	450,0	65,0	26,0	0,12
8	864,0	90,0	35,0	0,14
9	440,0	75,0	30,0	0,11
10	520,0	80,0	32,0	0,15

Таблица 1.5

Результаты кустовой откачки (к заданию 3)

Дата проведения откачки	Время замеров, час. мин.	Время после начала откачки, t,час	Логарифм времени после начала откачки, lg t	Динамический уровень в скважинах, м		Понижение уровня скважинах, м	
				Центральная	наблюдательная	Центральная	наблюдательная
12.08.02	08.00	0,0	-	4,00 ст.	4,00 ст.	0,0	0,0
	10.00			13,45	7,33		
	12.00			13,95	7,72		
	14.00			14,21	8,06		
	18.00			14,50	8,32		
	22.00			14,73	8,50		
13.08.02	02,00			14,92	8,75		
	06.00			15,08	8,89		
	10.00			15,20	8,97		
	14.00			15,31	9,06		
	18.00			15,40	9,14		
	22.00			15,44	9,21		
14.08.02	04.00			15,54	9,30		
	10.00			15,60	9,35		
	16.00			15,69	9,40		
	22.00			15,73	9,51		
15.08.02	04.00			15,81	9,58		
	10.00			15,86	9,60		
	14.00			15,92	9,62		
	18.00			15,93	9,68		
	24.00			15,98	9,72		

Задание 4. Определение параметров грунтового водоносного горизонта по результатам откачки, проведенной при неустановившемся режиме фильтрации

Кустовая откачка с постоянным дебитом Q проведена из крупнозернистого песчаного водоносного горизонта со свободной поверхностью уровня грунтовых вод. Мощность водоносного горизонта – H. Расстояние между центральной и наблюдательной скважинами в кусте – r. Радиус центральной скважины – r_0 = 0,1 м. Значение перечисленных параметров по вариантам приведены в табл. 1.6.

В табл. 1.7 приводятся значения понижений в центральной и наблюдательной скважинах куста на определенные моменты времени после начала откачки.

Таблица 1.6

Значения расчетных параметров (к заданию 4)

Варианты заданий	Дебит центральной скважины куста, Q, $м^3$/сут	Расстояние между скважинами в кусте, r, м	Мощность водоносного горизонта, H, м
1	864,0	30,0	19,0
2	778,0	35,0	20,0
3	690,0	40,0	21,0
4	820,0	45,0	19,5
5	907,0	50,0	20,5
6	1000,0	55,0	21,5
7	605,0	30,0	19,0
8	778,0	35,0	18,5
9	690,0	40,0	19,0
10	864,0	45,0	20,0

Таблица 1.7

Результаты откачки и расчетные параметры для построения графика (2H-S)S -lg t (к заданию 4)

Результаты откачки			Расчетные параметры для построения графиков прослеживания		
Время после начала откачки, сут, t	Понижение уровня, м		Логарифм времени после начала откачки, lg t	$S_0(2H-S_0)$	$S_1(2H-S_1)$
	в центральной скважине, S_0	В наблюдательной скважине, S_1			
0,5	4,51	0,38			
1,0	5,08	0,59			

2,0	5,41	0,83			
3,0	5,64	1,00			
4,0	5,75	1,10			
5,0	5,86	1,21			
6,0	5,99	1,28			
7,0	6,06	1,35			
8,0	6,12	1,39			
9,0	6,18	1,45			
10,0	6,25	1,50			

Необходимо определить коэффициент фильтрации и коэффициент уровнепроводности водоносного горизонта. Расчеты сделать как по центральной, так и по наблюдательной скважинам.

Задание 5. Определение параметров напорного водоносного горизонта по результатам опытного кустового выпуска

Опытный выпуск произведен из напорного водоносного горизонта из куста скважин. Куст состоит из одной возмущающей (центральной) скважины и одной наблюдательной скважины с расстоянием между ними *r*, м (табл. 1.8). Величина напора подземных вод над оголовком в наблюдательной скважине, определенная по манометру, составила +46,00 м.

В таблице 1.9 приведены результаты наблюдений за ходом кустового выпуска.

Необходимо определить значения коэффициентов водопроводимости и пьезопроводности водоносного горизонта графоаналитическим методом с использованием временного прослеживания понижения в наблюдательной скважине.

Таблица 1.8

Значения величины расстояния между центральной и наблюдательной скважинами в кусте (к заданию 5)

Расстояние между скважинами в кусте	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
r, м	400	500	450	550	425	525	475	575	600	650

Таблица 1.9

Результаты кустового выпуска (к заданию 5)

Время после начала выпуска		lg *t* (*t*, сут)	Величина напора над оголовком наблюдательной скважины (по манометру), Н, м	Понижение пьезометрического напора в наблюдательной скважине, *S*, м	Дебит центральной скважины на самоизливе, *Q*		$\frac{S}{Q}$
					дм^3/с	м^3/сут	
t, час	*t*, сут						
21,7			+46,00		46,3		
44,6			+45,98		39,4		
70,0			+45,79		36,9		
92,6			+45,61		38,2		
115,7			+45,58		33,9		
187,2			+44,94		37,7		
211,2			+44,48		35,3		
237,6			+44,22		36,8		
260,4			+44,00		35,3		
285,6			+43,78		35,2		
307,9			+43,67		35,9		
311,2			+43,65		34,6		
357,6			+43,19		34,8		
379,2			+43,04		34,1		
403,2			+42,90		34,1		
430,8			+42,74		34,4		
451,2			+42,59		34,9		
476,4			+42,45		34,7		
508,8			+42,23		33,8		
525,6			+42,13		34,0		
547,2			+42,07		34,2		
574,8			+41,95		33,6		
595,2			+41,86		33,8		
619,2			+41,84		33,7		
645,6			+41,61		33,3		
667,2			+41,45		32,8		

Контрольные вопросы

1. Цели и задачи проведения откачек из скважин.
2. Назовите, какие результаты можно получить в процессе проведения откачек?
3. Что такое пробная откачка из скважины? Для каких целей проводятся пробные откачки?
4. На каких стадиях гидрогеологических исследований проводятся опытные откачки? Какие гидрогеологические параметры водоносного горизонта определяются по результатам опытных откачек?
5. В чем заключается разница между одиночными опытными и кустовыми опытными откачками?
6. В каких случаях проводятся опытно-эксплуатационные откачки? Цели и задачи опытно-эксплуатационной откачки.
7. В чем заключается выбор схемы опытного куста, и какие имеются рекомендации по размещению наблюдательных скважин в опытных кустах?
8. В каких случаях проектируются однолучевые, двулучевые и трехлучевые схемы размещения скважин в опытных кустах?
9. Что входит в перечень документации опытно фильтрационных работ?
10. Требования к величине дебита скважины и продолжительности откачки при проведении опытной кустовой откачки.
11. Требования к частоте замеров уровня и расхода воды.
12. Методика определения коэффициента фильтрации по результатам опытных кустовых откачек при условии совершенства скважин.
13. Методика определения радиуса депрессионной воронки.
14. Как можно определить коэффициент водоотдачи, если известен коэффициент фильтрации или результаты анализа гидрографа скважины?
15. При наличии каких данных можно построить графики зависимости дебита от понижения Q- S и удельного дебита от понижения q-S и какие результаты можно получить с помощью построения таких графиков?
16. В чем заключается внесение в расчетные формулы для определения коэффициента фильтрации поправок на несовершенство скважин?
17. Условия применения величины фильтрационных сопротивлений (ξ_0, ξ_1, ξ_2), учитывающих несовершенство скважин.
18. Назовите характерные особенности неустановившегося режима фильтрации.

19. Каким уравнением описывается зависимость между понижениями уровня и временем откачки?

20. Начиная с какого момента наступает квазистационарный режим фильтрации и что такое зона квазистационарного режима?

21. Как строятся графики временного, площадного и комбинированного прослеживания и какие параметры можно определить с помощью этих графиков?

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ВОССТАНОВЛЕНИЕМ УРОВНЯ ПОСЛЕ ОТКАЧКИ

Прекращение откачки или выпуска является возмущением, которое может быть рассмотрено как самостоятельный опыт.

По завершении откачки осуществляется наблюдение за *восстановлением динамического уровня*, по результатам которого определяются параметры водоносного горизонта. Наблюдение ведется как по центральной, так и по наблюдательным скважинам. При этом результаты определения параметров получаются более качественными, чем при откачках, т. к. исключаются сложности, связанные с техническими причинами.

Обработка результатов наблюдений за восстановлением уровня осуществляется с учетом продолжительности откачки при обязательном условии постоянства дебита.

Методика обработки результатов принимается та же, что и при откачке. Строится график временного прослеживания в координатах S-lgt с одной лишь разностью – вместо понижения уровня берется его повышение от конечного динамического уровня при откачке. Время при построении графика берется от конца откачки, а за дебит принимается дебит скважины при откачке.

Оценку параметров водоносного горизонта можно также осуществить с учетом того, что уравнение, описывающее восстановление уровня (после преобразования уравнения Тейса), выглядит следующим образом:

$$S = \frac{0.183Q}{Km} lg\left(\frac{T+t}{t}\right). \qquad (2.1)$$

График прослеживания здесь строится в координатах $S - \frac{T-t}{t}$ (рис. 2.1).

Водопроводимость определяется по формуле

$$Km = \frac{0.183Q}{C}. \qquad (2.2)$$

Коэффициент пьезопроводности после несложных преобразований уравнения (1.20), решаемого относительно максимального понижения (S_{max}), определяется по зависимости

$$lg\, a = 2\, lg\, r - 0.35 + \frac{S_{max}}{C} - lg\, T\,, \qquad (2.3)$$

где C – угловой коэффициент;

S_{max} – максимальное понижение или максимальное восстановление уровня;

T – продолжительность откачки или выпуска;

t – продолжительность восстановления.

Для построения графика прослеживания берется интервал времени от t_1 до t_2, где $t_1 \leq 1{,}1t_0$, а $t_2 \leq 1{,}1t_1$. Таким образом, за начальную точку при построении графиков восстановления уровней принимается момент времени $t_1 \leq 1{,}1t_0$, (где t_0 – длительность откачки), а за конечную – момент времени, отвечающий условию $t_2 \leq 1{,}1t_1$. Важно учесть, что величины t_1 и t_2 отсчитываются от начала откачки.

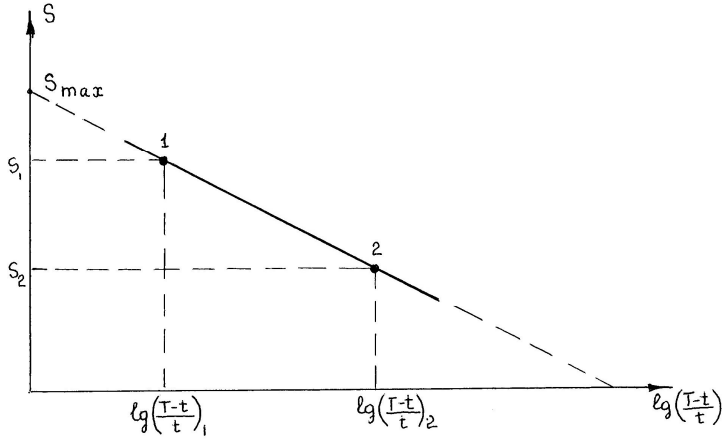


Рис. 2.1. График прослеживания по результатам восстановления динамического уровня в скважине

Задание 6. Определение параметров напорного водоносного горизонта по результатам откачки, проведенной при неустановившемся режиме фильтрации и по результатам наблюдений за восстановлением динамического уровня по окончании откачки

Кустовая откачка проведена из напорного водоносного горизонта, мощностью m = 25.0 м, с постоянным дебитом – Q. Расстояния между скважинами в кусте: центральная – 1-я наблюдательная – X_1, центральная – 2-я наблюдательная – X_2. Радиус центральной скважины – 0,1 м. Статический уровень зафиксирован на глубине 5,0 м. Значения параметров по вариантам приведены в табл.2. 1. Результаты хода кустовой откачки приведены в табл. 2.2. В табл. 2.3 приводятся сведения о восстановлении уровня после откачки в центральной скважине куста.

Необходимо:

1) построить совмещенные графики изменения дебита и динамического уровня в процессе откачки Q –t , H –t (см. рис. 2.1) по всем скважинам куста и установить расчетные данные откачки (заполнить табл. 2.2);

2) построить графики временного прослеживания Q –lgt по данным откачки (по скважинам куста), а также по результатам восстановления уровня в центральной скважине куста и определить расчетные параметры A и C;

3) определить коэффициенты водопроводимости и пьезопроводности по результатам откачки;

4) определить коэффициенты водопроводимости и пьезопроводности по результатам наблюдений за восстановлением динамического уровня по завершении откачки;

6) определить характер стабилизации уровня при откачке, для чего рассчитать по формулам неустановившегося движения приведенный радиус влияния (1.57) и определить расчетное понижение, соответствующее времени проведения откачки (1.58);

7) определить приведенный радиус влияния с учетом выявленного характера стабилизации уровня при откачке.

Таблица 2.1

Значения расчетных параметров (к заданию 5)

Варианты задания	Дебит при откачке, $м^3$/сут	Расстояние до 1-й наблюдательной скважины, X_1, м	Расстояние до 2-й наблюдательной скважины, X_2, м
1	800,0	50,0	105,0
2	790,0	49,5	104,0
3	780,0	51,5	100,0
4	770,0	49,0	102,0
5	810,0	50,0	101,0
6	820,0	48,5	101,5
7	825,0	45,5	100,0
8	795,0	50,0	110,0
9	790,0	46,0	100,0
10	800,0	51,0	102,0

Таблица 2.2

Результаты кустовой откачки (к заданию 5)

Дата проведения откачки	Время замеров, час.,мин.	Время от начала откачки, t, час.	Логарифм времени t, lgt	Центральная скважина		1-я наблюдательная скважина		2-я наблюдатель-ная скважина	
				Динами-ческий уровень, м	Пониже-ние уров-ня, м	Динами-ческий уровень, м	Пониже-ние уров-ня, м	Динами-ческий уровень, м	Пониже-ние уров-ня, м
11.02. 04	08.00			10,16		6,45		6,05	
	10.00			10,33		6,62		6,20	
	12.00			10,41		6,70		6,29	
	14.00			10,45		6,75		6,34	
	16.00			10,48		6,78		6,37	
	18.00			10,50		6,80		6,39	
	20.00			10,52		6,83		6,42	
	22.00			10,54		6,83		6,42	
	24.00			10,55		6,85		6,42	
12.02. 04	02.00			10,56		6,85		6,44	
	04.00			10,56		6,86		6,44	
	06.00			10,56		6,86		6,45	
	08.00			10,56		6,86		6,45	
	12.00			10,57		6,86		6,45	
	16.00			10,57		6,87		6,46	
	20.00			10,57		6,87		6,46	
	24.00			10,57		6,87		6,46	
13.02. 04	04.00			10,57		6,87		6,46	
	08.00			10,57		6,87		6,46	

Таблица 2.3

Результаты наблюдений за восстановлением динамического уровня после откачки (к заданию 5)

Дата опыта	Время замеров, час. мин.	Время от начала восстановления, t, мин	Логарифм времени от начала восстановления, lgt	Динамический уровень в центральной скважине, м	Понижение статического уровня с начала откачки, м	Повышение уровня с начала восстановления, м
13.02.04	08.01	1,0	0	6,78	1,78	3,79
	08.02	2,0	0,301	6,57	1,57	4,00
	08.03			6,45		
	08.04			6,36		
	08.05			6,30		
	08.06			6,24		
	08.07			6,19		
	08.08			6,16		
	08.09			6,12		
	08.10			6,09		
	08.11			6,06		
	08.12			6,03		
	08.13			6,01		
	08.14			5,99		
	08.15			5,97		
	08.20			5,88		
	08.25			5,81		
	08.30			5,76		
	08.35			5,71		
	08.40			5,67		
	08.45			5,64		
	08.50			5,61		
	08.55			5,58		
	08.60			5,55		

Задание 7. Определение параметров водоносного горизонта по результатам наблюдений за восстановлением уровня после завершения опытной кустовой откачки.

По завершении кустовой откачки, продолжительностью T=240,65 часов, проведены наблюдения за восстановлением уровня в наблюдательной скважине, отстоящей от центральной на расстоянии *r* м (таблица 2.4). Статический уровень в наблюдательной скважине, замеренный перед откачкой, составил 4,50 м. Максимальное понижение уровня в наблюдательной скважине по завершении откачки - S_{max}=1,04 м.

Результаты наблюдений за восстановлением уровня приведены в таблице 2.5.

Необходимо определить коэффициенты водопроводимости и пьезопроводности водоносного горизонта по наблюдательной скважине с применением графика прослеживания $S - lg\left(\frac{T-t}{t}\right)$.

Таблица 2.4

Расстояние между центральной и наблюдательной скважинами в кусте (к заданию 7)

Расстояние между скважинами в кусте	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
r, м	200	300	250	350	225	325	275	375	400	450

Таблица 2.5

Результаты наблюдений за восстановлением уровня в наблюдательной скважине куста (к заданию 7)

Время после завершения откачки, *t*, час	*T*+*t*	$\frac{T+t}{t}$	$lg\left(\frac{T+t}{t}\right)$	Глубина залегания уровня в наблюдательной скважине, м	Величина восстановления уровня, S*, м
0,0				5,54	0,0
1,33				5,53	
1,85				5,51	
2,67				5,47	
3,67				5,44	
6,17				5,36	
7,17				5,30	
12,17				5,18	
16,17				5,11	
20,17				5,05	
24,17				4,99	
28,17				4,96	
32,17				4,94	
36,17				4,88	
40,17				4,86	
44,17				4,83	
48,17				4,79	
54,17				4,78	
70,17				4,71	
96,17				4,65	
120,17				4,59	
170,17				4,56	
238,17				4,49	
310,17				4,49	
383,17				4,50	

Контрольные вопросы

1. Когда проводится наблюдение за восстановлением динамического уровня и какие особенности определения параметров по их результатам?

2. В чем заключается разница в определении гидрогеологических параметров по результатам откачек и по результатам наблюдений за восстановлением динамического уровня?

3. Как строится график временного прослеживания и по результатам наблюдений за восстановлением динамического уровня?

4. В чем заключается преобразование уравнения Тейса для описания восстановления уровня?

5. Какие гидрогеологические параметры определяются по результатам наблюдений за восстановлением динамического уровня?

3. ОЦЕНКА ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПЛАСТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОПЫТНЫХ НАЛИВОВ И НАГНЕТАНИЙ В СКВАЖИНЫ

Для оценки фильтрационных свойств пород, имеющих слабую водоотдачу, при нецелесообразности проведения откачки в силу глубокого залегания водоносного горизонта или невозможности создания необходимого понижения, а также для оценки параметров необводненных или слабообводненных пород применяется метод наливов или нагнетаний в скважины.

Под *нагнетанием в скважину* понимается опыт, когда осуществляется принудительная фильтрация воды под напором, превышающим уровень верхней границы опробуемого интервала.

Наливом называется опыт, при котором уровень воды находится в пределах толщи, опробуемых горных пород.

При гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях нагнетания и наливы в скважины применяются для определения водопроницаемости и удельного водопоглощения горных пород, определения необходимости цементации скального основания гидротехнических сооружений, проверки качества цементации затрубного пространства и пр.

В неводоносных скальных и полускальных породах, где хорошо сохраняются стенки скважин, обычно проводятся опытные нагнетания. Это обусловлено тем, что в скважинах, пробуренных в таких породах, просто и надежно изолируются интервалы опробования, что является одним из обязательных условий проведения опыта.

В рыхлосвязанных породах и породах зоны выветривания организуются опытные наливы, т. к. в этих условиях трудно организовать изоляцию скважины и создать избыточный напор (при высоком удельном водопоглощении).

Опыты могут проводиться при *установившемся и неустановившемся режиме*. В первом случае работы ведутся с постоянным напором до стабилизации расхода, во втором – только при постоянном расходе (реже – постоянном напоре).

Опытные нагнетания в скальные и полускальные породы позволяют оценивать не только водопроводимость этих пород, но и определять их трещиноватость (по величине удельного водопоглощения).

Если нагнетания осуществляются в водоносные породы, то расчет параметров определяется по тем же формулам, что и при откачках, с одной лишь только разницей – вместо понижения уровня учитывается соответствующее повышение уровня в центральной и наблюдательных скважинах.

Опытные нагнетания осуществляют поинтервально (обычно через 5 м) при нескольких ступенях напора. По результатам опыта строят графики зависимости расхода и напора от времени, вычисляют величины приведенных расходов, строят графики приведенных расходов $q_0 - H$.

Наливы и нагнетания в необводненные породы – единственный метод определения водопроницаемости интервалов пород. Однако этот метод дает весьма приближенные результаты, так как “сухие” скважины обычно закольматированы продуктами разрушения при бурении и их очень сложно прочистить. Для осуществления опыта по нагнетанию в скважинах обычно создаются напоры, в 10–12 раз превышающие длину испытуемого интервала.

Имея данные по центральной скважине по двум замерам уровня h_1 и h_2 над кровлей горизонта на момент времени t_1 и t_2 после начала опыта, при постоянном дебите Q можем определить коэффициент фильтрации пород

$$K = \frac{0.183Q}{m(h_2 - h_1)} lg\left(\frac{t_2}{t_1}\right) . \tag{3.1}$$

Активная пористость η определяется по формуле

$$lg\,\eta = lg\left(\frac{Qt_1}{\pi m r_c^2}\right) - \alpha\, lg\left(\frac{t_2}{t_1}\right) , \tag{3.2}$$

$$\alpha = \frac{h_1 - 0.5m}{h_2 - h_1} . \tag{3.3}$$

По наблюдательной скважине

$$K = \frac{0.366}{(h_n + 0.5m)m} lg\left(\frac{r}{r_c}\right) , \tag{3.4}$$

$$\eta = \frac{Qt_n}{\pi m\left(r^2 - r_c^2\right)} \quad , \tag{3.5}$$

где t_n – время появления воды в наблюдательной скважине от начала опыта;

h_n – столб воды в центральной скважине в момент появления воды в наблюдательной;

r_c – радиус скважины;

r – расстояние между скважинами.

Опытные наливы в скважины проводятся для оценки водопроницаемости обводненных пород в тех случаях, когда откачки затруднены (глубокое залегание подземных вод, слабая водоотдача, невозможность обеспечить ощутимые понижения и т. д.), для изучения фильтрационных свойств слабо обводненных и необводненных пород зоны аэрации, для определения водопроницаемости и удельного водопоглощения трещиноватых скальных пород, выявления необходимости цементации скальных оснований под инженерными сооружениями, выбора противофильтрационных мероприятий, проверки качества цементационных работ.

Опытные наливы целесообразно применять в рыхло-связных и трещиноватых породах коры выветривания, относительная проницаемость которых характеризуется высоким водопоглощением, и где в связи с этим трудно обеспечить надежную изоляцию опробуемого интервала.

Выбор способа налива обосновывается проектом работ и определяется геологическим строением, степенью водопроницаемости, трещиноватости или закарстованности пород и техническими возможностями.

Каждый интервал пород, подлежащих испытаниям, должен быть однородным по литологическому составу и строению, по степени трещиноватости или закарстованности. Испытание двух контактирующих разностей пород, резко различающихся по водопроницаемости в одном интервале, допускается производить только в том случае, если необходимо изучить зону контакта этих пород.

Наливы воды в скважину следует производить при соблюдении условия

$S \geq 10\, l$,

где S – столб воды в скважине, а l – длина фильтра.

Для определения гидрогеологических параметров по результатам наливов воды в скважины так же, как и при нагнетаниях, используются расчетные формулы, применяемые при откачках, заменяя лишь в них понижение уровня его повышением.

По данным наливов воды в скважины определяют условную характеристику водопроницаемости скальных пород – *удельное водопоглощение q,* под которым понимают количество воды (в $дм^3$), поглощенное породой в 1 мин на 1 м длины опробуемого участка скважины при напоре, равном 1 м.

Достоверность результатов опытных работ зависит от промывки скважины водой до полного ее осветления. В обводненных породах производят прокачку, а в необводненных – промывку и наблюдают за восстановлением уровня.

Налив воды в каждый опытный интервал начинают с максимального напора. При этом величину напора при опытах в необводненных трещиноватых породах условно отсчитывают от середины испытуемого интервала опробования.

Заданный напор и соответствующие им расходы устанавливаются по истечении некоторого времени, в течение которого регулируют подачу воды в скважину и добиваются равновесия между ее расходом и поглощением пород.

В процессе опыта в журнале регистрируют значения расхода, напора, температуры и другие показатели, строят график зависимости приведенного расхода Q от напора H, который служит для контроля правильности опыта и является основой для определения величины удельного водопоглощения, а также строят график изменения расхода воды и ее напора во времени.

Приведенный расход определяют делением установившегося расхода Q на длину испытуемого интервала *l*:

$Q_0 = Q / l$.

Получение криволинейного графика Q_0-H, обращенного выпуклостью вниз (к оси напоров), свидетельствует о том, что опыт проведен неправильно и его надо повторить.

Если расход воды на 1 м испытуемого участка не превышает в течение первых двух часов 0,02 $дм^3$/мин, то опыт прекращают и считают породы интервала практически водонепроницаемыми.

Продолжительность наливов воды в скважину составляет 1 бригадосмену. При установившемся режиме напор воды продолжают

до тех пор, пока в течение 2–3 ч не будет наблюдаться установившийся расход.

Частота измерений при наливах производится так же, как и при наливах воды в шурфы.

Экспресс-наливы в скважину, как и экспресс-откачки из скважины, применяются для оперативного предварительного изучения фильтрационных свойств пластов водоносных горизонтов.

Экспресс-наливом называется опыт по единовременному быстрому заливу воды в скважину с целью создания избыточного напора. Последующие наблюдения за снижением уровня дают возможность оперативно и без значительных затрат определить фильтрационные свойства водоносного горизонта (рис. 3.1).

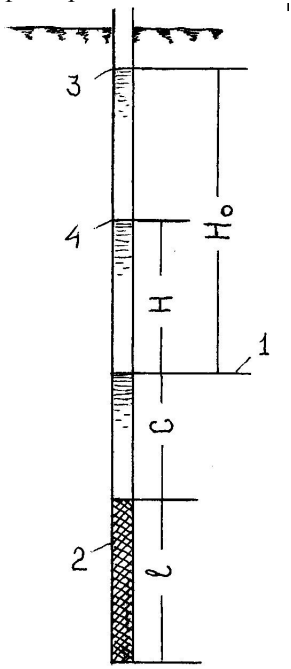


Рис. 3.1. Схема экспресс–налива в несовершенную скважину:
1 – статический уровень; 2 – фильтр-скважины; 3 – положение уровня на начало опыта после залива воды; 4 – положение уровня в расчетный момент времени t

Расход потока (Q), выходящего из скважины в водоносный горизонт с коэффициентом фильтрации (k) через фильтр или открытое дно скважины, связывается с избыточным напором (H) в скважине следующим выражением:

$$Q = kl^0 \cdot H\,, \tag{3.6}$$

где l^0 – расчетный размер рабочей части скважины, который для скважины с фильтром длиной l и радиусом r_c имеет выражение

$$l^0 = \frac{2.73 \cdot l}{lg\dfrac{0.7l}{r_c}}, \tag{3.7}$$

а для скважины диаметром d_k, работающей только дном,

$$l^0 = 5d_k\,. \tag{3.8}$$

Баланс воды в скважине определяется из условия, что расход (Q) компенсируется снижением уровня в ней, т. е.

$$-\mathrm{w_т dH} = \mathrm{Qdt}\,, \tag{3.9}$$

где w_T – площадь горизонтального сечения скважины над статическим уровнем воды.

Совместное решение уравнений (3.6) и (3.9) дает дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными, которое после интегрирования приводится к виду

$$\ln\frac{\mathrm{H}_0}{\mathrm{H}} = \frac{\mathrm{kl}^0}{\mathrm{w_т}}\mathrm{t}\,, \tag{3.10}$$

где $\mathrm{H}_0 = \dfrac{\mathrm{V}}{\mathrm{w_т}}$ – высота начального столба воды при наливе, м;

V – объем воды, залитый в скважину, м^3.

По результатам опыта строится график зависимости величины $\lg\dfrac{\mathrm{H}_0}{\mathrm{H}}$ от времени t (рис. 3.2). На этом графике опытные точки должны ложиться на прямую линию, приходящую в начало координат. Беря на этой прямой любую точку с координатами $\lg\dfrac{\mathrm{H}_0}{\mathrm{H}}$ и t, можно определить коэффициент фильтрации по формуле

$$\mathrm{k} = 2.3 \cdot \frac{\mathrm{w_T}}{\mathrm{l}^0\mathrm{t}}\lg\frac{\mathrm{H}_0}{\mathrm{H}}\,. \tag{3.11}$$

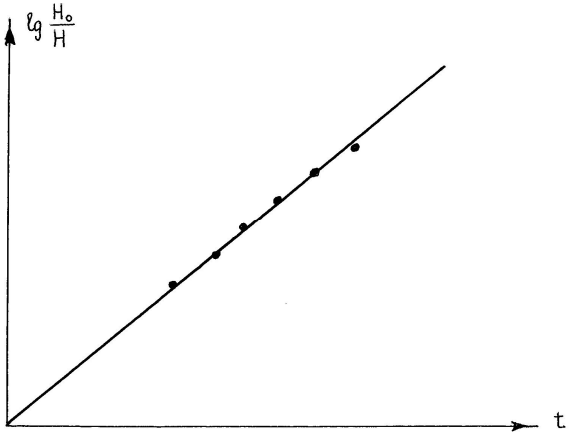


Рис. 3.2. Расчетный полулогарифмический график
по результатам экспресс-налива

Экспресс-откачка заключается в быстром отборе определенного объема воды из скважины (при котором в скважине происходит резкое снижение уровня воды) и наблюдении затем за динамикой восстановления этого уровня. Приведенные выше зависимости, применяемые для экспресс-наливов, могут быть использованы и при экспресс-откачках. Разница между ними состоит лишь в том, что в приведенных расчетных формулах повышения уровня (H) заменяется на их соответствующие понижения (S).

Задание 8. Оценка фильтрационных параметров пласта по результатам опытных нагнетаний воды в скважину

В водоносный пласт, представленный плотными трещиноватыми эффузивами, мощностью 15,0 м, проведены поинтервальные (через 5 м) опытные нагнетания воды в скважину. Радиус скважины r_0 = 0.15 м. Результаты опыта приведены в табл. 3.1.

Таблица 3. 1

Результаты опыта по нагнетанию воды в скважину (к заданию 8)

Номер интервала, м	Глубина подошвы и кровли интервала, м	Результаты опыта		Величина приведенного расхода, q_0	Значение удельного водопоглащения интервала, $дм^3/мин$
		Напор над кровлей интервала, м	Установившийся расход, $дм^3/мин$		
1	45,0-50,0	24,0	4,2		
		36,0	6,4		
2	50,0-55,0	24,0	3,9		
		42,0	6,5		
3	55,0-60,0	36,0	5,1		
		45,0	6,1		

Требуется:

1) определить значения приведенных расходов и величины удельного водопоглащения каждого опробуемого интервала;

2) построить графики зависимости расхода при нагнетании от величины создаваемого при этом напора;

3) построить графики приведенных расходов в опробуемом интервале;

4) определить коэффициенты фильтрации пород и сделать выводы об изменении фильтрационных свойств пласта с глубиной.

Задание 9. Определение коэффициента фильтрации водоносного горизонта по результатам экспресса-налива в скважину

Экспресс-налив произведен в несовершенную скважину, вскрывшую безнапорный водоносный горизонт.

Скважина одноколонная, диаметр обсадной колонны 168 мм (толщина стенок 8 мм). Фильтр – перфорированная труба, обмотанная сеткой. Длина фильтра 8 метров, установлен в интервале 26,0–34,0 м. Статический уровень подземных вод в скважине, замеренный перед проведением налива, составил 14,0 м от поверхности земли. Высота начального столба воды, залитой в скважину, соответствует уровню поверхности земли.

Ход проведения экспресс-налива приведен в табл. 3.2

Таблица 3.2

Результаты экспресс-налива (к заданию 9)

Номер замера	Время замера, час. мин	Интервал времени после начала опыта, сут	Глубина до воды, м	Избыточный напор в скважине, (Н), м	$\frac{H_0}{H}$	$\lg\frac{H_0}{H}$	Расход потока, выходящего из скважины, м^3/сут
1	2	3	4	5	6	7	8
1	7. 00	Начало опыта	0,0	14,0	-	-	-
2	7. 30		1,50				
3	8. 00		4,54				
4	8. 30		6,31				
5	9.00		7,43				
6	9. 30		8,68				
7	10. 00		9,87				
8	10. 30		10,56				
9	11. 00		10,71				
10	11. 30		11,62				
11	12. 00		11,93				
12	12. 30		12,32				
13	13. 00		12,47				
14	13. 30		12,81				
15	14. 00		13,01				

Ход выполнения работы:

1. Заполнить 3-,6- и 7-й столбцы табл. 3.2, рассчитав таким образом параметры для построения расчетного полулогарифмического графика.

2. Построить расчетный полулогарифмический график $\lg\frac{H_0}{H} - t$.

3. Определить расчетный размер рабочей части фильтра скважины, а также внутреннюю площадь горизонтального сечения скважины над статическим уровнем воды.

4. Рассчитать коэффициент фильтрации по трем точкам расчетного полулогарифмического графика и определить среднее его значение.

5. С учетом полученного значения коэффициента фильтрации определить для каждого момента времени расход потока, выходящего из скважины и занести данные в таблицу (8 столбец).

6. Построить график изменения расхода потока, выходящего из скважины за период проведения экспресс-налива (Q÷t).

Контрольные вопросы

1. Для каких целей и в каких условиях применяется метод наливов или нагнетаний в скважины?
2. В чем разница между наливом в скважины и нагнетанием в скважины?
3. Какие параметры определятся по результатам наливов или нагнетаний в скважины?
4. Какие изменения вносятся в расчетные формулы для определения гидрогеологических параметров при применении метода наливов или нагнетаний в скважины?
5. Какой характерный параметр определяется по результатам нагнетаний в скважины?
6. В каких условиях целесообразно применять опытные наливы в скважины?
7. Что такое удельное водопоглощение и приведенный расход, определяемые по результатам наливов скважины?

4. ОЦЕНКА ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОРОД ЗОНЫ АЭРАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОПЫТНЫХ НАЛИВОВ В ШУРФЫ

Опыт по инфильтрации воды в шурф является одним из распространенных и хорошо разработанных методом оценки фильтрационных свойств пород зоны аэрации. Опробование обычно осуществляется до глубины 5 м.

Во время опыта ведется наблюдение за ходом инфильтрации воды из шурфа в условиях постоянного уровня воды в процессе опыта. Эти опыты проводятся при съемочных работах, мелиоративных исследованиях, оценке фильтрационных свойств пород в области питания водоносных горизонтов, геоэкологических исследованиях для оценки возможной миграции загрязняющих компонентов и др.

Поступающая из шурфа в породу вода, благодаря действию капиллярных сил, движется не только вниз, но и в стороны, образуя увлажненную зону. Эта зона со временем увеличивается, а динамика ее развития и размеры зависят главным образом от структуры породы и ее проницаемости. Наибольшее растекание у тонкопористых грунтов (суглинки, глины), наименьшее – у хорошо проницаемых крупнозернистых пород (крупнозернистые пески, галечник, щебень). Очевидно, что такое растекание искажает результаты опыта, а полученные значения коэффициента фильтрации могут быть далекими от реальных. Для устранения влияния растекания на результаты опыта используют специальную схему опытной установки или учитывают в расчетных формулах.

При проведении опыта в лёссах, суглинках, глинах вследствие намокания изменяется структурная прочность этих пород, инфильтрация будет проходить неравномерно, а продолжительность периода до стабилизации расхода воды будет больше.

Скорость инфильтрации также в большей степени зависит от состояния поверхности породы, в которую проникает вода. Заиливание поверхности резко уменьшает скорость инфильтрации и искажает результаты.

При наливах в шурфы необходимо следить за тем, чтобы не была нарушена структура поверхностного слоя породы в дне шурфа как при подготовке к опыту, так и в процессе его проведения. Для этого, в частности, рекомендуется дно шурфа засыпать небольшим слоем (2–3 см) хорошо промытого щебня или гравия, что препятствует размыванию фильтрующей поверхности.

Документация опытного налива в шурф включает следующие разделы:

- технические данные;
- схема проведения опыта;
- наблюдение за наливом;

- графики изменения расхода и общего объема воды во времени (рис. 4.1);
- таблица результатов налива в шурф;
- вычисление коэффициента фильтрации.

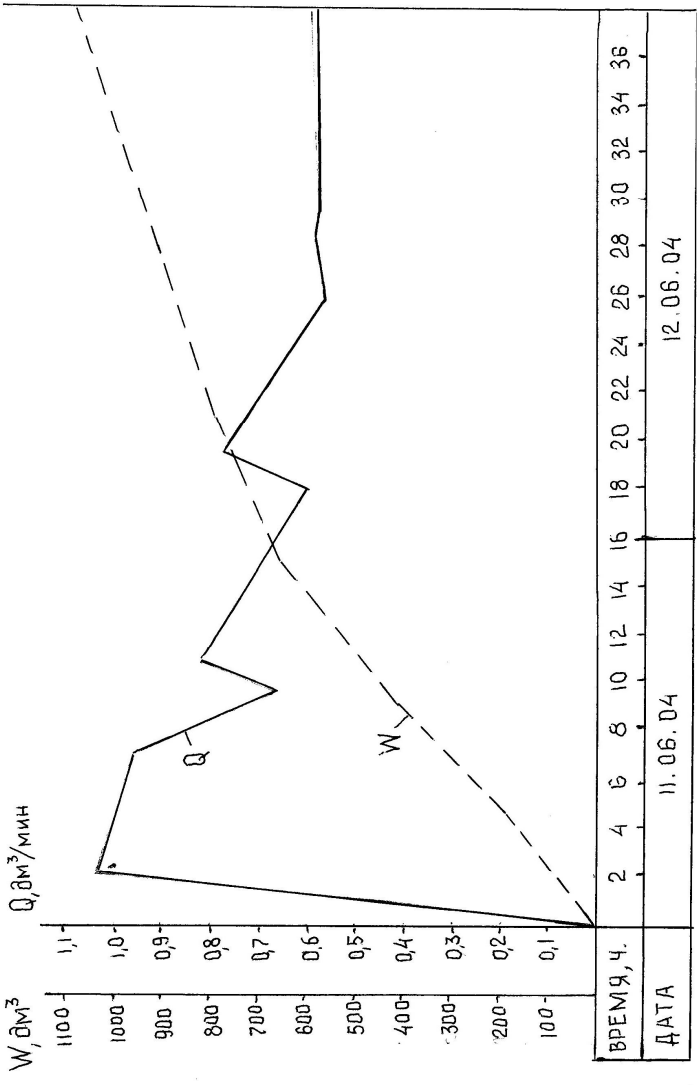


Рис. 4.1. График изменения расхода и общего объема воды при опытном наливе в шур

По окончании налива сведения заносятся в сводный лист налива в шурф, в котором помещают схему участка, геологический разрез участка, графики изменения влажности грунта с глубиной, таблицу технических данных, графики изменения расхода и общего объема воды во времени, расчетные таблицы.

Существует несколько методов производства наливов в шурфы, из которых рассмотрим наиболее распространенные методы Болдырева и Нестерова.

Метод Болдырева А.К. применим в сильно водопроницаемых породах (крупнозернистых песках, гравийно-галечниках, породах зоны выветривания), т. к. основан на предположении, что, во-первых, горизонтальное сечение инфильтрирующего потока не изменяется с глубиной (нет растекания) и, во-вторых, напорный градиент потока, инфильтрирующегося из шурфа, близок к единице, что позволяет численно приравнять скорость инфильтрации к коэффициенту фильтрации.

При проведении опыта по методу Болдырева (рис. 4.2) выдерживается следующая последовательность операций:

- в дне шурфа (1,0×1,5 м) устраивают опытный зумпф диаметром 0,3–0,5 м и глубиной около 0,2 м;
- детально описывают геологический разрез шурфа;
- стенки зумпфа закрепляют металлическим цилиндром, дно зачищают, закрывают слоем гравия и устанавливают мерную линейку;
- устанавливают тарированную емкость с приспособлением для подачи воды в зумпф;
- медленно заполняют зумпф водой до отметки 0,1 м, а затем подачей воды (автоматически или вручную) поддерживают этот уровень в течение всего опыта;
- расход воды замеряют с интервалами 10–20 мин, опыт продолжается до стабилизации расхода, когда в течение двух часов он не отклоняется от среднего более чем на 10 %.

В журнал налива в виде таблицы заполняются следующие сведения:

- номер отсчета;
- время замера (ч, мин.);
- промежуток между замерами (мин);
- поглощенный объем воды ($дм^3$);
- расход ($дм^3$/мин).

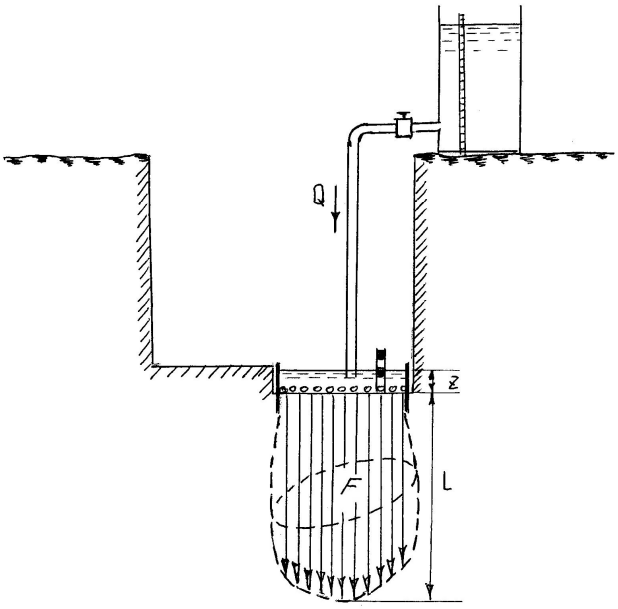


Рис. 4.2 Установка опытного налива по методу Болдырева

Одновременно строится график изменения расхода воды в течение опыта.

Расход воды Q через площадь поперечного сечения фильтрующейся толщи ω определяется по формуле

$$Q = \omega \cdot K \frac{(h_K + z + l)}{l}, \qquad (4.1)$$

где h_K – капиллярное давление, развивающееся при инфильтрации;

z – толщина слоя воды в шурфе;

l – глубина просачивания воды.

Если принять напорный градиент близким к единице, пренебречь капиллярным давлением, то коэффициент фильтрации определяется по формуле

$$K = \upsilon = \frac{Q}{\omega}, \qquad (4.2)$$

где Q – стабилизировавшийся в процессе налива расход воды.

Метод Нестерова Н.С. основан на том предположении, что при инфильтрации воды из двух цилиндров, расположенных концентрически, на растекание расходуется вода из внешнего цилиндра, а поток воды из внутреннего цилиндра направлен прямо вниз (рис. 4.3).

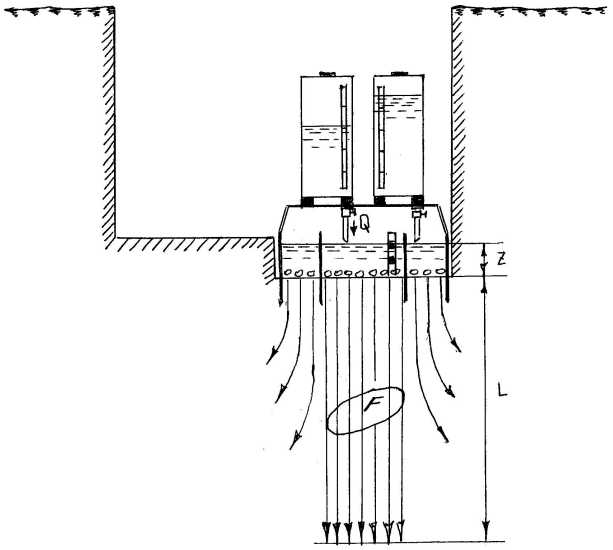


Рис. 4.3. Установка для опытного налива в шурф
по методу Нестерова

В данном случае при установившемся расходе воды градиент инфильтруемого потока из внутреннего цилиндра приравнивается к единице, а скорость фильтрации – к коэффициенту фильтрации. Этот метод применяется главным образом в мелкозернистых и глинистых породах и предусматривает последовательное проведение следующих операций:

- проходится и документируется шурф;
- в тщательно зачищенное дно шурфа аккуратно вдавливаются концентрические кольца (на 5–6 см) и покрывают дно мелким гравием;
- одновременно заполняют оба цилиндра водой на 0,1 м от дна;
- в течение опыта уровень воды в обоих цилиндрах поддерживается строго одинаковым, для чего используются автономные для каждого цилиндра сосуды Мариотта или другие баки с автоматическими регуляторами;
- замеряют и записывают с интервалом 10–20 мин в журнал расход воды во внутренний цилиндр и строят график изменения расхода во времени;
- для определения глубины промачивания по окончании опыта проходят в центр шурфа скважину (3–4 м) и через 0,2 м отбирают образцы пород на влажность;
- для контроля естественной влажности проходят, документируют и опробывают скважину в 3–4 м от шурфа.

Вычисляется *коэффициент фильтрации* по формуле

$$K = \frac{Q \cdot l}{\omega(h_K + z + l)}, \qquad (4.3)$$

где Q – установившийся фильтрационный расход через внутреннее кольцо;

l – глубина просачивания воды;

z – слой воды в кольце;

ω – площадь поперечного сечения фильтрующейся воды.

По результатам опыта составляют сводный лист опытного налива в шурф.

Задание 10. Определение коэффициента фильтрации пород зоны аэрации по результатам налива воды в шурф

Опытный налив по методу Нестерова Н.С. произведен в шурфе, глубиной 1 м. Разрез представлен плотными супесями с тонкими прослоями мелкозернистого песка. Диаметр внутреннего рабочего кольца – 250 мм. Столб воды в кольце поддерживался на уровне 0,1 м. Результаты опыта приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты опытного налива воды в шурф (к заданию 10)

Дата проведения опыта	№ отсчета	Время замера, ч, мин	Промежуток между замерами, мин	Поглощенный объем воды, $дм^3$	Расход, $дм^3$/мин
18.07.02	1	07.30	-	-	-
	2	07.35		0,56	
	3	07.45		0,52	
	4	08.00		0,53	
	5	08.25		0,45	
	6	09.00		0,42	
	7	09.30		0,35	
	8	10.00		0,30	
	9	10.30		0.27	
	10	11.00		0,24	
	11	11.30		0,24	
	12	12.00		0,21	
	13	12.30		0,19	
	14	13.00		0,19	
	15	13.30		0,17	
	16	14.30		0,29	
	17	15.30		0,29	
	18	16.30		0,29	
	19	17.30		0,29	

После завершения налива в дне шурфа пробурена скважина ручного бурения и определена глубина промачивания – 1,35 м.

Необходимо:

1) определить величину расхода воды при производстве налива;
2) построить график изменения расхода и общего объема воды во времени;
3) определить коэффициент фильтрации пород зоны аэрации.

Контрольные вопросы

1. Для каких целей проводятся наливы в шурфы?
2. В чем заключается физическая сущность опыта «наливы в шурфы»?
3. Требования к проведению наливов в шурфы.
4. Назовите перечень документации, оформляемой при проведении наливов в шурфы?

5. Какой график строится по результатам наливов в шурфы и зависимость между какими параметрами он отражает?

6. Наливы в шурфы по способу Болдырева А.К.

7. Последовательность операций при проведении наливов в шурфы по способу Болдырева А.К.

8. Наливы в шурфы по методу Нестерова Н.С.

9. Последовательность операций при проведении наливов в шурфы по методу Нестерова Н.С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный в учебном пособии материал охватывает очень важные и наиболее часто встречающиеся в практической гидрогеологии вопросы. В первую очередь это методика проведения и оценка параметров водоносных горизонтов по результатам откачек воды из скважин и других горных выработок. В книге приводятся расчетные формулы для оценки параметров при условиях установившейся и неустановившейся фильтрации, дается подробное описание графоаналитического метода для оценки водопроводимости, коэффициентов пьезопроводности и уровнепроводности водоносных пластов.

Нагнетания и наливы в скважины, как метод используются при оценке фильтрационных свойств слабообводненных пород, при невозможности создать необходимые понижения при откачке, при весьма глубоком залегании уровня подземных вод.

Без проведения опытов по наливам воды в шурфы невозможно оценить фильтрационные свойства пород зоны аэрации, изучить гидрогеолого-мелиоративные характеристики массива орошения, понять механизмы миграции загрязняющих элементов и пр.

Для закрепления теоретического материала в книге приведены практические задачи, моделирующие полевые опытно-фильтрационные исследования.

Учебное пособие будет полезно не только при изучении курса «Гидрогеологические исследования», но также при курсовом и дипломном проектировании студентов – гидрогеологов и водников.

Для студентов специальности «Водные ресурсы и водопользование», в вузах которых нет отдельного курса «Гидрогеологические исследования», рассмотренный материал может быть использован при изучении курса «Поиски и разведка подземных вод». В этом курсе гидрогеологические исследования рассматриваются отдельным крупным разделом.

Авторы с благодарностью примут замечания и пожелания, как по структуре пособия, так и по его содержанию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боревский Б.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С.* Оценка запасов подземных вод. 2-е изд. Киев: Высшая школа, 1989.

2. *Боревский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С.* Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М.: Недра, 1983.

3. *Завалей В.А.* Поиски и разведка подземных вод: Учеб. пособие. Алматы: КазНТУ, 2001. С. 165.

4. *Завалей В.А.* Поиски и разведка подземных вод: Учебник. Алматы: КазНТУ, 2002. С. 260.

5. Классификация эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод. Алматы: ГКЗ, 1997. С. 7.

6. *Климентов П.П., Кононов В.М.* Методика гидрогеологических исследований. М.: Высшая школа, 1989.

7. Опытно-фильтрационные работы /Под ред. *В.М. Шестакова и Д.Н. Башкатова.* М.: Недра, 1974. 204 с.

Приложение 1

(наименование организации)

(месторождение, район работ)

Ж У Р Н А Л

Откачка из центральной скважины № _____ опытного куста
1. Местоположение скважины _____
_____
2. Отметка устья скважины: абсолютная ___м, относительная _____ м
3. Глубина скважины _____ м
4. Водовмещающие породы опробуемого водоносного горизонта и их возраст _____
_____
5. Глубина кровли водоносного горизонта _____ м
6. Глубина подошвы водоносного горизонта _____м
7. Мощность водоносного горизонта_____ м
8. Высота напора водоносного горизонта _____м
9. Интервал опробования: от _____м, до _____ м
10. Угол наклона скважины _____

Откачка начата "___"_____ 200____г.
Окончена "___"_____200____г.

Откачку провел наблюдатель (ст. техник) _____

Откачку проверил гидрогеолог _____

Приложение 2

Технические данные
Скважина
1. общая глубина _____м
2. конструкция скважины после установки фильтра

Пробурена			Обсадные трубы			Примечание
диаметр	от	до	диаметр, мм	глубина башмака	Превышение над устьем скважины, м	
	мм	мм				

Фильтр
1. Тип _____
2. Диаметр:
наружный __ мм, внутренний _____мм
3. Рабочая часть от ___ м, до __ м
в абс. отметках от _____ м, до _____ м
4. Длина глухой части _____м
отстойника _____м
5. Форма отверстий на каркасе и размеры
_____
6. Площадь отверстий___м^2, _____%
7. Сетка ___ плетения, № _____
8. Расстояние между витками ___см
9. Обсыпка: размер зерен____ см
Объем _____ м^3, высота слоя ____м
Толщина слоя _____см
10. Способ установки фильтра
_____

Насос
1. Тип _____
2. Диаметр цилиндра _____
3. Длина хода поршня _____
4. Число качаний _____
в минуту _____
5. Диаметр водоподъемной трубы ____
Наружный _____мм,
внутренний _____ мм
6. Диаметр воздухоподающей трубы:
Наружный _____ мм,
внутренний _____мм
7. Глубина загрузки водоподъемной трубы
_____ м
8. Глубина загрузки приемного клапана (форсунки)
_____ м
9. Диаметр шлангов:
Всасывающего _____мм,
нагнетательного_____ мм
10. Высота напора _____ м
11. Производительность _____ дм^3 / с
12. Водоотвод _____
13. Прочие данные _____
Двигатель
1. Тип _____
2. Мощность _____
3. Количество оборотов в минуту ____
Прибор для измерения расхода воды
1. Сосуд и его емкость _____ дм^3
2. Цена деления рейки _____
3. Дата тарировки _____
Измерение уровня воды
1. Наименование прибора _____
2. Цена деления_____
3. Наименование нулевой точки, от которой производится измерение уровня _____
4. Превышение нулевой точки над устьем
_____
5. Абс. отметка нулевой точки _____м

Продолжительность откачки:
I понижение _____ч II понижение _____ час. III понижение _____ч
В том числе при установившемся режиме:
I понижение _____ч. II понижение _____ час. III понижение _____ч
Статический уровень воды _____ м
Величина понижения:
I понижение _____ м . II понижение _____ м . III понижение _____м
Дебит:
при I понижении ___дм^3/с, при II понижении____дм^3/с при III понижении _____дм^3/с
Удельный дебит:
при I понижении ____дм^3/с, при II понижении _____дм^3/с, при III понижении ____дм^3/с

Схема расположения куста с указанием расстояний между скважинами

Приложение 3

Ход откачки

Дата	Время замера, час.мин.	Центральная опытная скважина										Наблюдательные скважины								
		Динамисекий уровень	Объем мерной емкости, дм^3	Время наполнения мерной емкости, секунд	Дебит, дм^3/с	Понижение статического уровня, м	Удельный дебит, дм^3/сек на 1 м пониж.	Температура, ^{0}С		Давление на манометре, атм.	Число оборотов двигателя, мин	№		№		№		№		Примечание
								воды	Воздуха			Дин. уровень, м	Понижением	Дин. уровень, м	Понижением	Дин. уровень, м	Понижением	Дин. уровень, м	Понижением	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

Восстановление динамического уровня после откачки

Дата	Центральная скважина №		Наблюдательные скважины																	
			№			№			№			№			№					
	Время, час.мин	Глубина уровня, м	Дата	время	глубина уровня	Дата	Время	Глубина уровня	Дата	время	глубина уровня	Дата	время	глубина уровня	Дата	время	глубина уровня	Дата	время	глубина уровня

Приложение 4

Результаты откачки

№№ понижения	Уровень			Дебит $дм^3/с$	Удельный дебит, $дм^3/с$ на 1 м понижения	Столб воды в скважине, м	Продолжительность откачки, ч		Время откачки, дата, ч, мин	
	Статический (абс.,отм.), м	Динамический, м	Понижение от статического, м				Общая	Принята в расчет	Начало	Конец
I1										
I2										
I3										

Сведения о пробах воды

Дата взятия пробы	Время взятия пробы	Скважина №	Способ отбора пробы и глубина	Физические свойства воды	Объем, количество бутылок	Вид анализа	Отметка о взятии спец. пробы	Должность и фамилия отобравшего пробу	Примечание

Заключение по опыту: _____

_____

Подписи: Ст. гидрогеолог (гидрогеолог) _____

Ст. техник (техник) _____

СОДЕРЖАНИЕ

Введение……....3
1. Определение параметров водоносных горизонтов по результатам откачек ……6
1.1. Методика проведения откачек…….6
1.2. Оценка параметров водоносного горизонта по результатам кустовой откачки……15
Задание 1. Определение параметров грунтового водоносного горизонта по результатам откачки, проведенной при установившемся режиме фильтрации……36
Задание 2. Определение параметров напорного водоносного горизонта по результатам откачки, проведенной при установившемся режиме фильтрации……40
Задание 3. Определение параметров напорного водоносного горизонта по результатам откачки, проведенной при неустановившемся режиме фильтрации……41
Задание 4. Определение параметров грунтового водоносного горизонта по результатам откачки, проведенной при неустановившемся режиме фильтрации……44
Задание 5. Определение параметров напорного водоносного горизонта по результатам опытного кустового выпуска……45
Контрольные вопросы……47
2. Определение параметров водоносного горизонта по результатам наблюдений за восстановлением уровня после откачки……49
Задание 6. Определение параметров напорного водоносного горизонта по результатам откачки, проведенной при неустановившемся режиме фильтрации и по результатам наблюдений за восстановлением динамического уровня по окончании откачки……51
Задание 7. Определение параметров водоносного горизонта по результатам наблюдений за восстановлением уровня после завершения опытной кустовой откачки……53
Контрольные вопросы……55
3. Оценка фильтрационных свойств пласта по результатам опытных наливов и нагнетаний в скважины ……56
Задание 8. Оценка фильтрационных параметров пласта по результатам опытных нагнетаний воды в скважину……62

Задание 9. Определение коэффициента фильтрации водоносного горизонта по результатам экспресс-налива в скважину……63
Контрольные вопросы……65

4. Оценка фильтрационных свойств пород зоны аэрации по результатам опытных наливов в шурфы……...66
Задание 10. Определение коэффициента фильтрации пород зоны аэрации по результатам налива воды в шурф……...71
Контрольные вопросы……..72
Заключение……..74
Список литературы……75
Приложения……76

Учебное издание
Вячеслав Алексеевич Завалей
Дулат Кажкенович Калитов

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
Определение параметров водоносных горизонтов
по результатам опытно-фильтрационных работ

Учебное пособие для студентов специальностей
180440 – «Гидрогеология, инженерная геология и геоэкологиия»,
050706 – «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»,
451140 и 050805 – «Водные ресурсы и водопользование».

Зав РО *З.А. Губайдуллина*
Редактор *Л.С. Смаилханова*
Техн. редактор *К.Ж. Кушербаева*
Компьютерный
набор и верстка *Л.Т. Касжанова*

Подписано в печать 24.08.05 г.

Тираж 100 экз. Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 1.
Объем 6,0 уч.- изд. л. Заказ № …… Цена договорная

Издание Казахского национального технического университета
имени К.И. СатпаеваИздательский центр
КазНТУ, Алматы, Ладыгина, 32