ПНИИИС Госстроя СССР

Рекомендации

по выбору гидрогеологических параметров для обоснования способа дренирования подтопленных городских территорий

Москва 1986

gost.e-ecolog.ru

Производственный и научно-исследовательский институт
по инженерным изысканиям в строительстве
(ПНИИИС) Госстроя СССР

Рекомендации

по выбору гидрогеологических параметров для обоснования способа дренирования подтопленных городских территорий

Москва Стройиздат 1986

УДК 556.3

Рекомендовано к изданию решением секции инженерной защиты территорий и вычислительных методов в изысканиях Научно-технического совета ПНИИИС Госстроя СССР.

Рекомендации по выбору гидрогеологических параметров для обоснования способа дренирования подтопленных городских территорий /ПНИИИС Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1986. – 56 с.

Приводятся результаты научных исследований по обоснованию расчетных гидрогеологических схем защитного дренажа территорий, подтопленных подземными водами. Даются рекомендации по выбору оптимальной глубины расчетной мощности дренируемого водоносного пласта и оценке его плановой фильтрационной неоднородности.

Приведена сводка основных гидрогеологических параметров, применяемых при фильтрационных расчетах защитного дренажа, а также методов их полевого определения, в частности экспресс-методов.

Для работников проектно-изыскательских и изыскательских организаций различных ведомств.

Табл. 10 ил. 14.

Замечания и предложения по их содержанию следует направлять по адресу: 105058, Москва, Окружной проезд, 18, ПНИИИС Госстроя СССР.

3202000000 – 476
Р ———————— Инструкт.-нормат., 1 вып.–33–85
047 (01) – 86

©Стройиздат, 1986

ПРЕДИСЛОВИЕ

Подтопление застроенных территорий подземными водами связано с фильтрацией из водоемов и водотоков, утечками из водонесущих коммуникаций, переформированием рельефа и другими факторами. Только выборочное обследование, проведенное Госстроем РСФСР, показало, что подтоплением затронуты многие территории Российской Федерации.

В связи с этим важное значение приобретает устройство дренажных сооружений, которые входят в систему инженерной защиты застроенных территорий. Перехватные, линейные, кольцевые, систематические и другие дренажи служат эффективным средством борьбы с подтоплением территорий подземными водами.

Инженерно-гидрогеологическое обоснование защитных дренажных мероприятий при комплексном проектировании инженерной подготовки территории городов выполняется проведением гидрогеологических фильтрационных расчетов, включающих оценку водопонизительного и водоотводного действия дренажа.

Проектирование дренажных мероприятий предусматривает составление расчетных инженерно-гидрогеологических схем и проведение расчетов дренажа, основанных на использовании гидрогеологических параметров, отражающих естественные и измененные инженерно-геологические и гидрогеологические условия. Определение границ расчетной области фильтрации, особенно по глубине геологического разреза, является важной задачей, которая возникает обычно при проектировании дренажей. Решение этих вопросов в значительной степени определяет состав и объем необходимых инженерно-геологических изысканий, в частности буровых и опытно-фильтрационных работ. Поэтому априорное определение оптимальных размеров области исследования под тот или иной дренаж служит задаче оптимизации инженерных изысканий.

Такое же значение имеет оценка плановой фильтрационной неоднородности дренируемого пласта, необходимость учета которой следует определять заранее, до проведения всего комплекса опытно-фильтрационных работ, что также может сыграть большую роль в оптимизации инженерно-геологических изысканий.

Указанные вопросы, с которыми обычно приходится сталкиваться при составлении расчетных гидрогеологических схем, рассмотрены в данных Рекомендациях, где приведена методика оценки оптимальной глубины изысканий и плановой фильтрационной неоднородности дренируемого пласта.

Основная часть Рекомендаций посвящена выбору методов определения расчетных гидрогеологических характеристик, необходимых для обоснования защитных дренажей подтопленных территорий, где дана краткая классификация как самих характеристик, так и методов их полевого определения. При этом подчеркивается важность более широкого применения экспресс-методов.

Особое значение придано возможности использования эксплуатационных характеристик действующих дренажей, по которым могут быть определены гидрогеологические параметры. Освещаются также некоторые новые методы полевого определения гидрогеологических параметров, такие как метод налива "тяжелой жидкости" и метод направленных фильтров.

Рекомендации иллюстрируются конкретными примерами расчета и применения тех или иных методов опытно-фильтрационных работ. Даются результаты проведения ПНИИИСом разными методами определения сопоставительных расчетных параметров.

Рекомендации разработаны в ПНИИИСе Госстроя СССР ст. науч. сотр., канд. техн. наук Г.А. Разумовым, ст. инженерами В.В. Бондаренко, И.Г. Казаковой при участии канд. геол.-минерал. наук В.В. Перцовского.

1. ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ДРЕНАЖА ПОДТОПЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

1.1. При составлении проектов инженерной защиты подтопленных территорий на всех стадиях проектирования (схема, проект, рабочие чертежи) необходимо проведение инженерно-геологических и гидрогеологических исследований для решения следующих основных вопросов:

а) установление причин потенциально возможного или уже имеющего места подтопления городских территорий с проведением (если это нужно) прогноза подъема уровней подземных вод, с выделением естественных и искусственных источников, активных и пассивных факторов подтопления;

б) определение характера и режима проявления различных источников подтопления, в том числе линейных, площадных, точечных (локальных), действующих непрерывно, периодически и эпизодически;

в) оценка техногенных условий подтопления застроенных городских территорий в сочетании с естественными геоморфологическими, инженерно-геологическими, гидрогеологическими и другими условиями;

г) выбор метода инженерной защиты территории от подтопления подземными водами, включая предупредительные мероприятия по предотвращению подъема уровней;

д) расположение защитного дренажа в плане и разрезе, составление расчетной гидрогеологической схемы;

е) выбор типа дренажа, определение его водопонизительной и водоотводной способности с обоснованием основных конструктивных характеристик.

На стадиях схемы и технического проекта выполняются работы по решению вопросов *а–г*, на стадии технического проекта – *г–е*. На стадии рабочих чертежей решаются отдельные дополнительные аспекты вопросов *д* и *е*, не исследованные на предыдущих стадиях.

1.2. В отличие от других, более разработанных и имеющих больший опыт применения инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий, исследования, связанные с инженерной защитой подтопленных территорий, имеют целый ряд особенностей, наиболее важные из которых следующие:

техногенный характер различных (и не только связанных с подтоплением) воздействий на застроенную территорию, который существенно изменяет и усиливает природные процессы;

многофакторность развития опасных геологических и гидрогеологических процессов в пределах одной защищаемой территории;

неустановившийся режим протекания процессов, носящий непрерывный, периодический или эпизодический характер;

производственно-технические трудности выполнения инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, связанные со стесненными условиями застроенной территории.

В связи с отмеченным в данном случае возможно более широкое, чем в других областях, применение экспресс-методов, позволяющих давать оперативную характеристику инженерно-геологических и гидрогеологических условий. Кроме того, приобретают большое значение дистанционные методы исследования, многие из которых относятся к области определения фильтрационных свойств грунтов, что важно при разработке систем инженерной защиты не только от подтопления территорий подземными водами, но и от других опасных геологических процессов.

1.3. Инженерно-гидрогеологические исследования в данном случае должны охватывать необходимые размеры территории и обеспечивать детальность, достаточную для определения состава и стоимости комплекса защитных мероприятий. Нередко эти исследования необходимы за пределами застроенной или застраиваемой территории, в зонах, где развитие процессов подтопления может привести к неблагоприятным последствиям. Следует учитывать как прямые, так и косвенные неблагоприятные последствия подтопления.

Проектирование защитных мероприятий должно базироваться на региональном изучении всей площади развития процесса, опасного для данной территории, с выполнением соответствующего ее районирования и дополняться

более детальным исследованием ключевых участков. Количество последних определяется в зависимости от числа типов проявления неблагоприятных процессов и наличия локальных интенсивных техногенных воздействий на геологическую среду. Так, ключевые (опорные) участки должны охватывать все типы подтопления, различающиеся по механизму и размеру. При детальных исследованиях участков целесообразно использовать относительно малотрудоемкие методы. Закономерности развития неблагоприятных процессов, выявленные на ключевых участках, экстраполируются с учетом результатов районирования на всю изученную территорию. При региональном изучении территории следует проводить режимные наблюдения за развитием геологических и гидрогеологических процессов и продолжать их без перерыва в периоды проектирования, строительства и эксплуатации городских объектов.

1.4. Локальная инженерная защита отдельных зданий и сооружений в целом ряде случаев может оказаться более рациональным решением вопроса, а иногда даже может исключить необходимость общей защиты всей территории, которая чаще всего требует значительных затрат и не всегда может быть эффективной. Это в особенности относится к условиям повсеместно распространенных слабопроницаемых грунтов с низкой водоотдачей.

Локальные защитные дренажи, такие как, например, пластовые, пристенные, кольцевые требуют более детального изучения инженерно-геологических и гидрогеологических условий на отдельных площадках оснований зданий и сооружений с подробным освещением геолого-литологического разреза, фильтрационной неоднородности грунтов и т.п.

2. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ РАСЧЕТЕ ЗАЩИТНОГО ДРЕНАЖА

2.1. Основными гидрогеологическими параметрами, необходимыми для расчета водопонизительного и водоотводного действия защитных дренажей, работающих в условиях стационарного режима течения подземных вод, являются: коэффициент фильтрации грунтов, проводимость дренируемого пласта, инфильтрационное питание; при неустановившемся движении к ним добавляется коэффициент водоотдачи (недостатка водонасыщения) грунтов. К дополнительным гидрогеологическим параметрам относятся коэффициенты уровнепроводности и пьезопроводности (при неустановившемся движении), параметр перетекания, скорость фильтрации и некоторые другие [1–6].

2.2. Коэффициент фильтрации грунтов k, м/сут, представляет собой количество воды, фильтрующейся в единицу времени Q через единицу площади поперечного сечения потока F при гидравлическом градиенте J, равном единице, т.е.

$$k = Q/(FI). \tag{1}$$

2.3. Водоотдача грунтов – способность горных пород, насыщенных до полной влагоемкости отдавать часть воды под влиянием силы тяжести. Водоотдача характеризуется коэффициентом гравитационной водоотдачи μ доли единицы

$$\mu = w_n - w_{MB}, \tag{2}$$

где w_n – полная влагоемкость; w_{MB} – максимальная молекулярная влагоемкость.

2.4. Коэффициент уровнепроводности a_y, м^2/сут, и пьезопроводности a, м^2/сут, являются комплексными параметрами характеризуют скорость развития депрессионной воронки подземных вод.

Коэффициент уровнепроводности для безнапорного пласта

$$a_y = k H_{cp}/\mu, \tag{3}$$

где H_{cp} – средняя мощность водоносного горизонта, м.

Коэффициент пьезопроводности для напорного пласта

$$a = (km)/M^*, \qquad (4)$$

где m – мощность пласта, м; M^* – коэффициент упругоемкости водоносного горизонта.

2.5. Проводимость дренируемого пласта, м^2/сут, для напорного горизонта – km, для безнапорного горизонта – $k\,H_{ср}$.

2.6. При фильтрационных расчетах в условиях слоистых толщ с разделяющим слоем определяется коэффициент перетекания B, м, который учитывает переток подземных вод через разделяющий слой

$$B = \sqrt{(km m_0)/k_0}, \qquad (5,6)$$

где k – коэффициент фильтрации основного слоя, м/сут; m – мощность основного слоя, м; m_0 – мощность разделяющего слоя, м; k_0 – коэффициент фильтрации разделяющего слоя, м/сут.

2.7. Инфильтрационное питание пласта, w, м/сут, учитывает величину притока воды сверху на единицу площади поверхности водоносного пласта за единицу времени.

2.8. Радиус депрессии дренажа, R, м, при неустановившемся режиме фильтрации, определяется в зависимости от параметров пласта и времени откачки.

$$R = p\sqrt{at}. \qquad (7)$$

Здесь p – коэффициент, определяется по табл. 1; a – коэффициент уровнепроводности или пьезопроводности, м^2/сут; t – время работы дренажа, сут.

Таблица 1

$r_0^2/4at$	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-12}
p	2,05	1,58	1,40	1,11	0,95	0,82

2.9. В случае стационарной фильтрации, когда при опытных кустовых откачках достигается стабилизация дебита и понижения уровня в центральной и наблюдательных скважинах, радиус депрессии может быть определен по следующим формулам:

для напорных вод

$$\lg R = \frac{S_1 \lg r_2 - S_2 \lg r_1}{S_1 - S_2}; \qquad (8)$$

для безнапорных вод

$$\lg R = \frac{S_1(2H - S_1)\lg r_2 - S_2(2H - S_2)\lg r_1}{(S_1 - S_2)(2H - S_1 - S_2)}, \qquad (9)$$

где S_1 и S_2 – понижение уровня в двух наблюдательных скважинах одного луча, м; r_1 и r_2 – расстояние этих скважин от центральной скважины, м; H – мощность безнапорного водоносного горизонта, м.

Если кустовая откачка ведется только с одной наблюдательной скважиной то в формулах (8,9) вместо S_1 следует брать S_0 – понижение в центральной скважине, а вместо r_1 принимается ее радиус r_0.

2.10. Сводка ряда методов опытно-фильтрационного опробования грунтов, которые применяются для определения указанных выше гидрогеологических параметров, приведена в табл.2.

Таблица 2

Параметры	Индексы	Методы определения гидрогеологических параметров	Условия применения методов
1. Коэффициент фильтрации, Проводимость	k km $kH_{ср}$	Откачки кустовые	В достаточно широких условиях. Дают наиболее представительные результаты. Применение их затруднено в условиях слабопроницаемых грунтов при $K < 1$ м/сут, а также на застроенных территориях
		Откачки одиночные (в слабопроницаемых грунтах – с прифильтровой наблюдательной скважиной)	В достаточно широких условиях. Дают результаты, точность которых ниже, чем при кустовых откачках, особенно в связи с отсутствием строгих данных величины радиуса действия (влияния)
		Восстановление уровня воды в скважине	Применение затруднено в условиях сильно проницаемых грунтов (при $K > 20$ м/сут)
		Наливы в скважины	В грунтах с относительно невысокой проницаемостью, где расходы наливаемой воды невелики. Ограничено применение при близком расположении уровня грунтовых вод к поверхности земли
		Метод тяжелой жидкости (МТЖ)	В грунтах с невысокой проницаемостью (до 10 м/сут), неглубоким залеганием подземных вод. Неприменим в сильно минерализованных подземных водах (более 50 г/л).
		Экспресс-откачки	В грунтах с невысокой проницаемостью (до 10 м/сут), с неглубоким залеганием уровня подземных вод
		Экспресс-наливы	Те же условия
		Анализ эксплуатационных характеристик действующих дренажей	На дренируемых территориях с наличием достаточно большого цикла наблюдений за расходами воды насосных станций и уровнями воды в дренах и в наблюдательных скважинах
2. Скорость фильтрации		Геофизические методы – резистивиметрический каротаж	При скоростях фильтрации > 0,1 м/сут. Неприменим в сильно минерализованных подземных водах. Точность ± 10%

Продолжение табл. 2

Параметры	Индексы	Методы определения гидрогеологических параметров	Условия применения методов
		Метод повторных боковых каротажных зондирований	Только в скважинах без обсадки. Неприменим в сильно минерализованных водоносных горизонтах. Точность ± 25%
		Метод заряженного тела (МЗТ)	Неприменим в сильно минерализованных водоносных горизонтах (> 50 мг/л), при значительном содержании коллоидных образований в воде и грунтах, а также при значительных скоплениях металла и при прохождении электрических кабелей вблизи скважины
		Радиоактивные методы исследований	При скоростях фильтрации >0,5 м/сут
3. Водоотдача	μ	Откачки кустовые, иногда – с запуском индикатора в наблюдательную скважину	Условия применения – те же, что и в п.1, кустовые откачки. Соотношение динамического и статического уровней в центральной скважине должно быть не св. 0,8–0,9, иначе результаты будут завышены
		Режимные наблюдения	То же, что в п.1
4. Пьезопроводность	a	Откачки кустовые	То же, что в п.1.
Уровнепроводность	a_y		
5. Коэффициент перетекания	B	Кустовые откачки с ярусным расположением фильтров наблюдательных скважин	Необходимы достаточно продолжительные откачки
6. Инфильтрационное питание	w	Режимные наблюдения	При наличии горизонтальной или закономерно наклонной поверхности грунтовых вод. Необходимы наблюдения в течение не менее одного года
7. Радиус действия (влияния)	R	Кустовые откачки	См. п.1 – наиболее надежные результаты

3. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННОГО ОПРОБОВАНИЯ ГРУНТОВ

3.1. Основными методами опытно-фильтрационного опробования грунтов, которые применяются для определения расчетных гидрогеологических параметров, являются кустовые и одиночные опытные откачки воды из скважины. Оценка некоторых методов опытно-фильтрационного опробования слабопроницаемых грунтов, проведенная ПНИИИС в 1982 г., приведена в прил.2.

3.2. Опытные откачки являются наиболее универсальным и надежным методом определения гидрогеологических параметров. По сравнению с другими методами опытные откачки позволяют охватить наиболее обширный участок водоносного пласта и поэтому характеристики, полученные с их помощью наиболее полно отражают свойства всего пласта или значительных его участков.

Откачки подразделяются на одиночные и кустовые, включающие кроме центральной скважины и наблюдательные.

3.3. Кустовые откачки дают наиболее точные значения коэффициента фильтрации, водоотдачи и других параметров, так как позволяют не учитывать сопротивление фильтра скважины и пород в прифильтровой зоне, и не требуют при расчетах применения условного значения радиуса депрессии; кустовые откачки позволяют также оценить фильтрационную неоднородность пласта, степень его взаимосвязи с другими водоносными горизонтами, расстояния до границы пласта, радиус депрессии и форму депрессионной воронки.

3.4. Одиночные откачки дают возможность определить лишь водопроницаемость пород. В хорошо проницаемых грунтах (крупные и средние пески, галечник и т.д.) скачок уровня в прифильтровой зоне незначителен, им можно пренебречь, но в слабопроницаемых грунтах для учета этой величины рекомендуется оборудовать прифильтровую наблюдательную скважину, установленную в затрубном пространстве.

3.5. Методика расчета коэффициента фильтрации, водоотдачи и других параметров подробно дана в нормативной, справочной и научно-методической литературе [1–6]. Для некоторых наиболее часто встречающихся случаев определение коэффициента фильтрации по данным кустовых откачек производится по следующим формулам.

В неограниченном в плане дренируемом пласте

$$k = \frac{0{,}366\,Q \lg r_1/r_0}{m(S_0 - S_1)}. \qquad (10)$$

В случае, когда куст оборудован двумя и более наблюдательными скважинами,

$$k = \frac{0{,}366\,Q \lg r_2/r_1}{m(S_2 - S_1)}. \qquad (11)$$

Здесь Q – дебит откачки, м^3/сут; m – мощность напорного водоносного пласта. Для безнапорных условий вместо m в формулы следует подставлять: $H - (S_0 + S_1)/2$ – для (10) и для (11) $H - (S_1 + S_2)/2$; S_0, S_1, S_2 – понижения уровня воды соответственно в центральной, 1-й и 2-й наблюдательных скважинах; r_0 – радиус центральной скважины; r_1, r_2 – расстояния от 1-й и 2-й наблюдательных скважин до центральной.

В случае безнапорного водоносного пласта, когда $S \leq (0{,}15 - 0{,}20)H$, расчеты можно проводить по формулам для напорных условий.

В полуограниченном пласте с прямолинейным контуром питания [т.е. с притоком подземных вод от водотока (водоема)] по данным откачки из одиночной скважины

$$k = \frac{0{,}366\,Q \lg (2L/r_0)}{mS_0} \qquad (12)$$

Здесь L – расстояние от опытной скважины до уреза воды в водотоке (водоеме), при расположении опытной скважины вдали от водотока (водоема) вместо величины $2L$ следует принимать R по формуле (7).

В ограниченном в плане пласте, имеющем контуры питания и стока

$$K=\frac{0{,}366Q}{mS_0}\ln\left[\frac{2L}{\pi r_0}\cos\frac{\pi(L_1-L_2)}{2L}\right], \qquad (13)$$

где L_1, L_2 – расстояние от скважины соответственно до контура питания и стока, м; L – расстояние между контурами питания и стока, м.

Для несовершенных скважин в числителе всех приведенных формул вторым слагаемым к логарифму добавляется величина гидравлического сопротивления на несовершенство вскрытия пласта, которая определяется по соответствующей методике [1,3–6].

3.6. Опытные наливы рекомендуется проводить в случаях, когда проведение откачки оказывается затруднительным. Они позволяют также опробовать не только водоносный слой, но и породы зоны аэрации.

3.7. При наливах в водонасыщенные породы возникающая при этом пьезометрическая поверхность является зеркальным отображением депрессионной воронки, образующейся при откачке, и расчеты ведутся по тем же формулам, но при этом функция понижения берется с обратным знаком.

3.8. При наливах в неводоносные породы (зона аэрации) применяются формулы, учитывающие насыщение пород в процессе налива (методы А.К. Болдырева, Н.С. Нестерова, В.М. Насберга, Н.К. Гиринского и др. см. [1, 5, 6] – наливы в шурфы).

Для расчета коэффициента фильтрации по данным налива в скважину, расположенную в зоне аэрации, используют формулу В.М. Насберга

$$k=\frac{0{,}42\cdot Q\cdot \lg 2l/r_c}{l^2}\cdot \qquad (14)$$

Здесь Q – поглощаемый расход воды, м^3/сут; l – высота столба воды в скважине, м; r_c – радиус фильтра скважины, м.

3.9. Восстановление уровня подземных вод в горных выработках после откачки дает возможность простым способом без дополнительных затрат определять гидрогеологические параметры. В этом случае действуют законы неустановившегося режима фильтрации. При этом берутся в расчет повышения уровня воды во времени, отсчитываемые от уровня, имевшего место перед остановкой откачки; в качестве расчетной величины дебита принимается дебит, при котором было достигнуто понижение.

Коэффициент фильтрации рассчитывается для напорных пластов по формуле

$$k=0{,}183\,Q/(cm), \qquad (15)$$

где

$$C=\frac{S_2-S_1}{\lg t_2-\lg t_1}\cdot \qquad (16)$$

Для безнапорных вод

$$k=0{,}366\,Q/C, \qquad (17)$$

где

$$C=\frac{S_2(2H-S_2)-S_1(2H-S_1)}{\lg t_2-\lg t_1}, \qquad (18)$$

где Q – дебит, при котором было достигнуто понижение при откачке, м^3/сут; H – мощность безнапорного водоносного пласта, м; m – мощность напорного пласта, м; t_1, t_2 – время от начала восстановления уровня воды до момента, когда понижение в скважине будет равно соответственно S_1 и S_2.

Промежуток ($S_2 - S_1$) выбирают на графике зависимости $S = f(\lg t)$ на прямолинейном его участке. При этом величина ($S_2 - S_1$) должна приниматься не менее 0,3 м.

Коэффициент уровнепроводности для совершенных скважин:

$$\lg a_y = 2\lg r_c - 0{,}35 + H_y / C, \qquad (19)$$

где r_c – радиус скважины; H_y – уровень воды в скважине на момент начала восстановления уровня.

4. ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

4.1. Экспресс-методы основаны на наблюдениях уровня в скважине после кратковременного возмущения водоносного пласта или применения специальных испытателей пластов (тестеров). При этом действуют законы неустановившегося движения. Возмущение может быть вызвано быстрым изъятием воды из скважины (экспресс-откачка), или наливом воды в скважину (экспресс-налив). Экспресс-методы особенно эффективны и удобны для исследования слабопроницаемых, плохо отдающих воду грунтов, т.к. именно здесь небольшой фильтрационный приток позволяет достаточно точно мерить подъем или падение уровня воды в скважине, которые происходят медленнее, чем в хорошо проницаемых грунтах, где проследить за изменением напора обычными уровнемерами практически невозможно.

К преимуществам экспресс-методов относятся также быстрота, низкая стоимость их производства и возможность применения в условиях, когда проведение обычных откачек и наливов затруднительно (особенно на застроенных территориях). Экспресс-методы целесообразно применять в сочетании с основными методами, что позволяет достигнуть достаточную для практических целей точность.

Для устранения случайных ошибок принимают среднеарифметическое значение фильтрационных характеристик, полученных не менее чем в трех–четырех работах.

ЭКСПРЕСС-ОТКАЧКИ

4.2. Кратковременные откачки из скважин производятся обычно в грунтах проницаемостью 0,01–10 м/сут. Значение коэффициента фильтрации находят по графику зависимости

$$\lg S_o / S = f(t), \qquad (20)$$

где S_o – максимальное понижение, м; S – понижение на момент t; t – время от начала откачки, сут.

При производстве кратковременных откачек лучше использовать данные, полученные для диапазона понижений (0,2–0,8).

4.3. По результатам кратковременной откачки из необсаженных скважин (как совершенных, так и несовершенных) коэффициент фильтрации может определяться по формуле

$$k = \frac{\alpha (h_o - S_o)}{h_o^2 t} r_c^2 \lg S_o / S, \qquad (21)$$

где α – коэффициент, зависящий от диаметра скважины $2r_c$:

$2r_c$, мм	50	100	150	200	250	300	400
∞	5,2	4,5	3,8	3,5	3,2	3	2,6

h_0 – глубина от статистического уровня до дна скважины, м; t – расчетный момент времени, сут, определяемый по графику $lg\ S_0/S = f(t)$.

4.4. Для кратковременных откачек из скважин, оборудованных фильтром, применяются формулы:

для напорного пласта неограниченной мощности ($l < 0{,}1m$, или H)

$$k = [2{,}65\, r_c^2/(lt)]\,[lg\ 1{,}47\, l/(\zeta r_c)]\,[lg\ S_0/S] \qquad (22)$$

для безнапорных условий в этой формуле величину l заменяют на

$$l' = 0{,}5(S_0 + S), \qquad (23)$$

где l – длина фильтра, м; l' – незатопленная часть фильтра, м; ζ – коэффициент, зависящий от положения фильтра в пласте. Если пониженный уровень расположен выше фильтра, $\zeta = 1$, если фильтр не затоплен, $\zeta = 2$.

ЭКСПРЕСС-НАЛИВЫ

4.5. Определение коэффициента фильтрации методом кратковременного ("мгновенного") налива в скважину применяется в породах с относительно низкой проницаемостью ($\leqslant$ 1 м/сут). Он основан на наблюдении за падением уровня в скважине после мгновенного увеличения объема жидкости в ней.

В совершенных скважинах эта закономерность описывается уравнением

$$k = (S_0' r_c^2)/(4S't m), \qquad (24)$$

где k – коэффициент фильтрации; m – мощность водоносного слоя; S_0' – максимальное повышение уровня; S' – повышение уровня на момент t.

При обработке результатов снижения уровня строится график $S' = f(1/t)$, имеющий вид прямой, проходящей через начало координат. Данные по S' и t берутся на любом интервале этой прямой.

Для скважин в неограниченном по мощности пласте ($l > 1/3m$)

$$k = [(\alpha r_c^2)/2l]\,[ln(0{,}7l/r_c)]. \qquad (25)$$

В случае, когда фильтр примыкает к водоупору,

$$k = (\alpha r_c^2)/2l]\,[ln(1{,}4l/r_c)]. \qquad (26)$$

Для скважины, в которую приток проходит через дно,

$$k = 0{,}27\alpha r_c. \qquad (27)$$

В этих формулах расчетный коэффициент α определяется по графику зависимости $ln\, S_0'/S'$ от t:

$$\alpha = ln(S_2/S_1)/(t_2 - t_1). \qquad (28)$$

МЕТОД ТЯЖЕЛОЙ ЖИДКОСТИ

4.6. Опытно-фильтрационное опробование грунтов методом "тяжелой" жидкости применимо для определения коэффициента фильтрации слабопроницаемых грунтов (при его величине < 10 м/сут и коэффициенте водоотдачи $< 0{,}1$), при неглубоком залегании уровня грунтовых вод; при необходимости учета горизонтальной анизотропии неоднородных грунтов [8].

Сущность метода состоит в том, что при наливе в опытную скважину "тяжелой" жидкости (например, раствора соли) или растворении непосредственно в ней утяжеляющего вещества, плотность жидкости в скважине становится большей, чем плотность грунтовой воды в окружающем грунте. В связи с этим появляется избыточное гидростатическое давление, под действием которого тяжелый раствор вытекает из скважины в грунт, а уровень в скважине понижается. Поскольку этот процесс связан с проницаемостью окру-

жающего скважину грунта, то он и характеризует коэффициент фильтрации, который определяется по формуле

$$k = 3,2 r_c^2 / (\mu m t). \qquad (29)$$

Здесь μ – коэффициент водоотдачи грунтов; m – мощность водоносного пласта (для безнапорного пласта: $m = H_{ср} = H - S/2$, где H – естественный уровень грунтовых вод, S – расчетное понижение уровня в скважине – определяется по кривой опытной зависимости понижения уровня от времени при достижении установившегося режима $S = 0,65 S_{max}$, где S_{max} – максимальное понижение уровня при установившемся режиме, м; t – время от начала опыта, сут.

МЕТОД НАПРАВЛЕННЫХ ФИЛЬТРОВ

4.7. Метод предназначен для опытно-фильтрационного опробования слабопроницаемых грунтов при проведении инженерных изысканий и проектировании дренажей, защищающих эксплуатируемые сооружения от подтопления и находящихся в стесненных условиях застроенных территорий, когда необходимо определение водопроводимости в непосредственной близости от сооружения и особенно под ним. Подробную характеристику метода см. прил.1.

4.8. Метод позволяет помещать водоприемный фильтр в нужную точку грунтового массива и с помощью экспресс-откачки или налива определять фильтрационные параметры пласта. Направленный фильтр погружается в грунт посредством специального снаряда, являющегося усовершенствованием серийно выпускаемого Одесским заводом строительно-отделочных машин Минстройдормаша СССР реверсивного пневмопробойника марки ИП. Этот снаряд служит транспортным средством, которое позволяет опустить фильтр на нужную глубину (до 20 м), а после проведения опытно-фильтрационного опробования вернуть его на поверхность земли. Если возвращения фильтра не требуется, возможно использование задавливающего приспособления (например, домкратной установки), усилие от которого передается направляющему звену с фильтровой частью посредством колонны труб или буровых штанг. Проходка скважин для направленных фильтров осуществляется как непосредственно с поверхности земли, так и из специально вскрытого шурфа, или шахтного колодца.

4.9. Водоприемный направленный фильтр может устанавливаться в пласте горизонтально или наклонно (в отличие от обычных гидрогеологических вертикальных скважин). Заданное направление погружения фильтра в пласт достигается действием системы отклонителей и стабилизаторов, устанавливаемых на направляющем звене. Эти направляющие ребра под нужным углом крепятся к патрубку, который защищает фильтровую часть устройства в процессе проходки и открывает ее на время опытно-фильтрационного опробования.

4.10. Отбор воды из внутренней плоскости фильтровой части скважины осуществляется либо подключением к оголовку скважины насоса, либо эрлифтным способом с использованием того же компрессора, который применяется при работе пневмопробойника. В процессе опытно-фильтрационного опробования расход воды замеряется объемным способом, а уровень грунтовых вод (глубина заложения фильтра, напор на фильтре) определяется с помощью специальной трубки – пьезометра (рис. 1).

4.11. Коэффициент фильтрации грунта, k, м/сут, определяется по формуле

$$k = [0,37 Q / (l h_0)] \lg F, \qquad (30)$$

где Q – расход откачиваемой воды, м^3/сут; l – длина горизонтального или наклонного фильтра, м; h_0 – глубина заложения середины фильтра от уровня подземных вод, м; R – радиус действия фильтра, м; F – функция, определяется по формулам (табл. 3) для приведенных расчетных гидрогеологических схем.

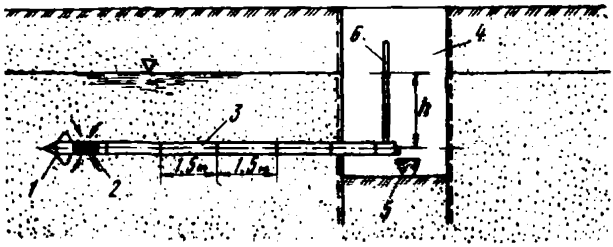


Рис.1. Схема проведения опытно-фильтрационного опробования
1 – пневмопробойник; 2 – фильтр; 3 – водоотводные трубы; 4 – шурф; 5 – водомерная емкость; 6 – водомерная трубка

Унифицированная формула для определения коэффициента фильтрации водонасыщенных грунтов при их опробовании методом направленных фильтров (30) действительна для следующих расчетных гидрогеологических схем (см. табл. 3):

безнапорный водоносный горизонт грунтовых вод неограниченной мощности (схема *1* – горизонтальный и наклонный) и ограниченной мощности (схема *2* – горизонтальный фильтр);

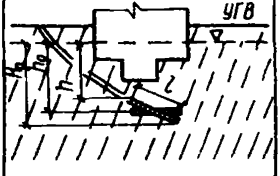
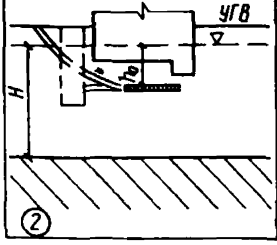
напорный водоносный слой ограниченной мощности (схема *3* – наклонный фильтр, схема *4* – горизонтальный фильтр);

двухслойный водоносный пласт с расположением направленного горизонтального фильтра в верхнем слое (схема *5*);

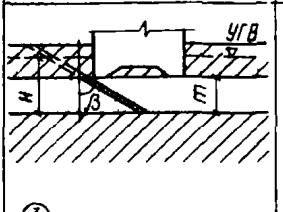
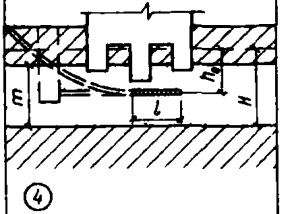
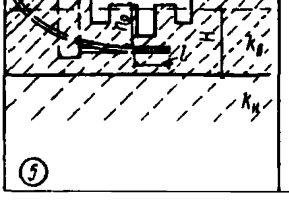
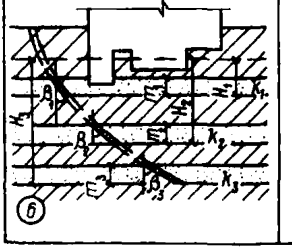
многослойная толща пластов разной водопроницаемости (схема *6* – наклонный фильтр).

Используя приведенные в табл. 3 формулы, можно рассчитать коэффициент фильтрации водонасыщенных грунтов на нужных участках застроен-

Таблица 3

Расчетная схема	Расчетная формула	Результаты расчета
 ①	Горизонтальный фильтр $F = \frac{3l h_0}{r\left(l + \sqrt{l^2 + 16 h_0^2}\right)}$ Наклонный фильтр $F = \frac{0{,}7\,l}{r}\left[\frac{\sqrt{l^2 + 16 h_0 H_0} - f}{\sqrt{l^2 + 16 h_0 h} - f}\right]^{0{,}5}$ $f = 8 h_0 (H_0 - h_0)$	а) Горизонтальный фильтр $H = 6$ м, $h_0 = 5{,}8$ м, $h = 0{,}2$ м, $l = 0{,}6$ м, $r = 0{,}05$ м, $Q = 10$ м³/сут; $S = 5{,}8$ м, $k = 0{,}979$ м/сут. б) Наклонный фильтр $S = 5{,}8$ м, $k = 0{,}974$ м/сут
 ②	$F = \frac{3l h_0 H\left[l + \sqrt{l^2 + 16(H - h_0)^2}\right]}{r(H - h_0)\left(l + \sqrt{l^2 + 16 H^2}\right)\left(l + \sqrt{l^2 + 16 h_0^2}\right)}$	$H = 6$ м, $h_0 = 3$ м, $l = 0{,}6$ м, $r = 0{,}05$ м, $Q = 8{,}0$ м³/сут; $S = 3$ м, $k = 1{,}55$ м/сут

Продолжение табл. 3

Расчетная схема	Расчетная формула	Результаты расчета
 ③	$F = \left[\frac{2R(1+\cos\beta)}{\cos\beta}\right]^{l/m}$	$m = 1{,}2$ м $l = 1{,}3$ м $R = 25$ м $S = 4{,}7$ м $\beta = 25°$ $k = 0{,}66$ м/сут $Q = 50$ м³/сут $H = 6$ м
 ④	$F = \frac{0{,}71\,l}{r}\left[\frac{l+\sqrt{l^2+4m^2}}{2m}\right]^{2\delta}$ l/m: 0,1 | 0,15 | 0,25 | 0,5 | 1,0 | 4,0 | 6,0 | 10,0 δ: 0,5 | 0,7 | 1,0 | 2,0 | 3,5 | 5,25 | 6,0 | 7,0	$m = 4$ м $r = 0{,}05$ м $S = 3$ м $H = 6$ м $k = 1{,}4$ м/сут $h_0 = 3$ м $Q = 7{,}0$ м³/сут $l = 0{,}6$ м
 ⑤	$F = \left[\frac{l^2}{2r(H-h_0)}\right]^{\alpha}$ При $\frac{k_в}{k_н} = 3\text{-}20$ для $\nu \geq 0$ $\alpha = 4\text{-}8$ $\nu = \frac{k_в - k_н}{k_в + k_н}$ – коэффициент неоднородности	$l = 0{,}6$ м $S = 3$ м $H = 6$ м $k_в = 0{,}7$ м/сут $h_0 = 3$ м $Q = 10$ м³/сут $r = 0{,}05$ м
 ⑥	*Расчеты k для каждого слоя выполняются по формуле схемы № 3 при соответствующих значениях m, H, β*	$l = 1{,}3$ м, $Q = 5$ м³/сут, $r = 0{,}05$ м $m_1 = 1{,}2$ м $H_1 = 6{,}0$ м $S_1 = 4{,}7$ м $\beta_1 = 25°$ $k_1 = 0{,}66$ м/сут $m_2 = 1{,}1$ м $H_2 = 8{,}0$ м $S_2 = 6{,}9$ м $\beta_2 = 30°$ $k_2 = 0{,}49$ м/сут $m_3 = 1{,}1$ м $H_3 = 10{,}5$ м $S_3 = 9{,}4$ м $\beta_3 = 35°$ $k_3 = 0{,}36$ м/сут

ных территорий. В этой же таблице даны результаты расчетов по приведенным формулам, сделанные для конкретных примеров

Более подробная характеристика метода направленных фильтров с описанием конкретных примеров его применения приведена в прил. 1.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПИТАНИЯ ПЛАСТА ПО ДАННЫМ РЕЖИМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

5.1. По данным наблюдений за уровнем подземных вод может быть определена величина инфильтрации w. Наблюдения ведутся как в скважинах, удаленных от границ пласта, когда резкие изменения напоров на этих границах не влияют на уровни в скважинах, так и вблизи от границ пласта. В последнем случае выбираются данные за такой период наблюдений, когда возмущения на границах пласта не накладываются друг на друга. Уровни подземных вод зависят в основном от сезонных колебаний величины инфильтрации. Кроме того, на уровни подземных вод оказывают влияние такие факторы, как суточные, месячные и сезонные изменения атмосферного давления, колебания температуры, замерзание и оттаивание грунтовых вод на небольшой глубине от поверхности и т.д. При определении параметров надо исключить эти малые колебания, вызванные второстепенными факторами, что достигается посредством срезки мелких (суточных и недельных) пиков.

5.2. Необходимо иметь наблюдения не менее, чем в трех скважинах, расположенных по линии тока, в течение по крайней мере одного года. Необходимы также данные о колебаниях расхода в ближайшей реке или данные о модуле грунтового стока.

5.3. По данным наблюдений за уровнями в трех скважинах находят отношения w/k и q/k, где w – величина инфильтрации.

Для безнапорного потока

$$\frac{w}{k} = \frac{h_2^2}{x_2(x_3-x_2)} - \frac{h_3^2}{x_3(x_3-x_2)} - \frac{h_1^2}{x_2 x_3}; \qquad (31)$$

$$\frac{q}{k} = 0{,}5\left[\frac{x_2 h_3^2}{x_3(x_3-x_2)} + \frac{(x_2+x_3)h_1^2}{x_2 x_3} - \frac{x_3 h_2^2}{x_3(x_3-x_2)}\right]. \qquad (32)$$

Для напорного потока

$$\frac{w}{k} = 2m\left[\frac{h_2}{x_2(x_3-x_2)} - \frac{h_3}{x_3(x_3-x_2)} - \frac{h_1}{x_2 x_3}\right]; \qquad (33)$$

$$\frac{q}{k} = m\left[\frac{x_2 h_3}{x_3(x_3-x_2)} + \frac{(x_2+x_3)h_1}{x_2 x_3} - \frac{x_3 h_2}{x_2(x_3-x_2)}\right]. \qquad (34)$$

Инфильтрация определяется по формуле

$$w = \mu \Delta H/\Delta t. \qquad (35)$$

Здесь k – коэффициент фильтрации, м/сут; q – расход на единицу ширины потока, м^3/сут; μ – коэффициент водоотдачи; h_1, h_2, h_3 – уровни воды соответственно в первой, второй и третьей скважинах, м; ΔH – среднее изменение уровней грунтовых вод, м, в трех скважинах за время Δt, сут; m – мощность напорного водоносного горизонта, м; x_2, x_3 – расстояния от первой скважины соответственно до второй и третьей скважины, расположенных вверх по течению грунтового потока от первой, м.

6. ОЦЕНКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ДЕЙСТВУЮЩИХ ДРЕНАЖЕЙ

6.1. Наличие цикла наблюдений за эксплуатацией дренажных сооружений дает возможность по зафиксированным величинам дренажных расходов воды и понижений уровня воды давать количественную оценку гидрогеологических параметров.

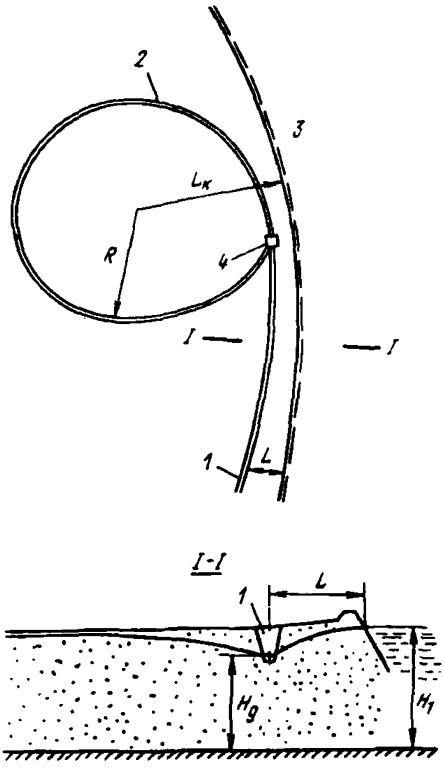


Рис.2. Схема дренажей территории, расположенной в прибрежной зоне водохранилища

1 – линейная дрена; 2 – кольцевая дрена; 3 – водохранилище; 4 – насосная станция

6.2. Достоверность определения гидрогеологических параметров по эксплуатационным характеристикам дренажа зависит от:

степени соответствия расчетной фильтрационной схемы естественным гидрогеологическим и техногенным условиям;

количества имеющихся данных по эксплуатации (за относительно большой период времени), замеренных с достаточной степенью точности;

возможности проверки получаемых расчетных результатов по разным расчетным створам и точкам.

6.3. Соответствие расчетной фильтрационной схемы гидрогеологическим условиям наиболее строго имеет место на участках дренажа с относительно простыми граничными условиями, например, с прямолинейными и круговыми контурами питания и для дренируемых пластов, однородных по водопроницаемости в плане и разрезе.

6.4. Для определения гидрогеологических параметров по эксплуатационным характеристикам дренажа желательно иметь не менее годового цикла наблюдений за дренажными расходами воды и понижениями уровня грунтовых вод.

6.5. Расходы дренажных вод должны быть зафиксированы по результатам наблюдений за работой непосредственно насосных агрегатов (а не по затратам электроэнергии, как обычно это делается).

6.6. Наблюдения за уровнями подземных вод по режимной сети наблюдательных скважин в разных точках должны быть одновременными и скоррелированными с уровнями воды на границах питания и стока фильтрационного поля.

6.7. Эксплуатируемые дренажи, которые принимаются за расчетные объекты, должны иметь четко определяемые в натуре конструктивные характеристики и размеры. Проектные параметры должны быть скорректированы с результатами натурных измерений и исполнительными чертежами.

6.8. Определение гидрогеологических параметров выполняется по фильтрационным формулам, характеризующим фильтрационный приток к дренажу, дебит и понижение уровня подземных вод. Распределение в плане фильтрационного притока от того или иного источника подтопления устанавливается по карте гидроизогипс и на основе балансовых расчетов [6.3].

6.9. Методика определения гидрогеологических параметров по эксплуатационным характеристикам дренажа иллюстрируется на расчетной фильтрационной схеме (рис. 2). Защищаемая территория расположена на берегу водохранилища и защищается системой открытых горизонтальных береговых, головных и кольцевых дрен.

Расчет может быть проведен для трех временных периодов, каждый из которых характеризуется своим режимом притока к дренажу:

I. Период высокого (паводкового) положения уровня воды в водохранилище. Балансовое уравнение в данном случае имеет вид

$$Q_{бер} + Q_{вод} = Q_{др}. \tag{36}$$

Здесь

$$Q_{бер} = q_{бер} L_{гол}; \tag{37}$$

$$Q_{вод} = q_{вод} L_{бер}; \tag{38}$$

$$Q_{др} = q_{др} L_{др}, \tag{39}$$

где $Q_{бер}$, $q_{бер}$ – фильтрационный приток со стороны берега, соответственно полный и удельный (на 1 м дренажа); $Q_{вод}$, $q_{вод}$ – фильтрационный приток от водохранилища; $Q_{др}$, $q_{др}$ – дебит дренажа, определяемый, как производительность (расход воды) дренажной насосной станции; $L_{гол}$ – длина головной дрены, перехватывающей фильтрационный приток со стороны берега; $L_{бер}$ – длина береговой дрены, перехватывающей фильтровой приток; $L_{др}$ – общая длина всего дренажа.

II. Период низкого (меженного) положения уровня воды в водохранилище. Балансовое уравнение для этого периода учитывает отток фильтрационных вод из дрены в водохранилище, которое в данном случае играет дренирующую роль

$$Q_{от} + Q_{др} = Q_{бер}. \tag{40}$$

Здесь

$$Q_{от} = q_{от} L_{бер}, \tag{41}$$

где $Q_{от}$, $q_{от}$ – отток фильтрационных вод в водохранилище.

III. Случай одинакового положения уровня воды в водохранилище и в дренаже, т.е. $H_{др} = H_{вод}$. Тогда балансовое уравнение становится наиболее простым

$$Q_{др} = Q_{бер} \tag{42}$$

Наличие годового (или многолетнего) цикла наблюдений за эксплуатационными расходами дренажной насосной станции позволяет выполнять расчеты коэффициента фильтрации для трех упомянутых расчетных схем. При этом для каждой схемы представляется возможным произвести расчеты для нескольких временных периодов, что дает возможность получить серию значений искомой величины и, таким образом, повысить надежность выполняемых определений.

Основная формула, используемая при расчете коэффициента фильтрации в случаях притока к одиночной линейной дрене от водохранилища и со стороны берега, а также оттока из дрены в водохранилище [14].

$$k = \frac{2(L + L_н) q_{бер}}{\pi (H_1^2 - H_2^2)(1 + 2P)}. \tag{43}$$

Здесь

$$L_н = 0{,}73 H_д \lg 2H_д / \pi d; \tag{44}$$

$$P = \sum_{n=1}^{n=\infty} e^{\lambda p}(-n^2 \pi^2 \tau); \tag{45}$$

$$\tau = at / L^2, \tag{46}$$

где $L_н$ – фильтрационное сопротивление, учитывающее несовершенство дрены; H_1, H_2 – уровень воды соответственно на границе питания и разгрузки фильтрационного потока. В частности для периода притока из водохранилища $H_1 = H_{вод}$ – уровень воды в водохранилище, а $H_2 = H_{др}$ – в дрене, при оттоке из дрены – наоборот; L – расстояние между осью дренажа до прямолинейного контура питания дренируемого пласта, например уреза воды в водохранилище, м; a – коэффициент уровнепроводности, м^2/сут; t – вре-

Таблица 4

Год, месяц	$H_в$, м	Для участка дрены: прямолинейной $H_{др}$, м	$q_в$, м	k, м/сут	отклонение k^1 от опытной откачки, %	кольцевой $H_{др}$, м	$Q_{др}$, м	k, м/сут	отклонение k^1 от опытной откачки, %
1977									
VI	23,40	22,05	3,40	25,28	−6,37	21,67	26445	23,37	55,8
VIII	27,80	21,85	16,13	24,90	−7,78	21,47	81184	14,85	−1
IX	28,20	21,65	17,36	24,15	−10,56	21,27	86258	15,17	+1,13
X	27,85	21,53	14,82	21,64	−19,85	21,15	75551	13,96	−6,93
XI	27,10	21,29	12,12	19,64	−27,26	20,91	63941	13,24	−11,73
XII	25,50	21,67	8,00	20,19	−25,22	21,29	46225	15,80	+5,33
1978									
VI	23,17	21,85	2,28	17,50	−35,19	21,47	21629	21,88	+45,87
VII	24,70	–	–	–	–	21,47	22145	10,51	−29,93
VIII	25,24	21,85	6,80	19,43	−28,04	21,47	41065	16,08	+7,20
IX	24,73	21,85	6,32	21,18	−21,56	21,47	39001	18,30	+22,06
X	23,19	21,85	3,69	24,82	−8,07	–	–	–	–
Среднее за два года	–	–	–	21,9	−18,9	–	–	16,3	+8,7

[1] По данным откачек величина k для участка прямоугольной дрены – 27, для участка кольцевой дрены – 15 м/сут.

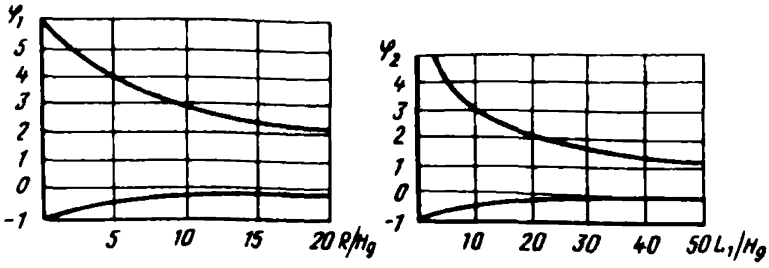


Рис.3. Графики для расчета кольцевого горизонтального дренажа

мя периода фильтрации, сут; d – диаметр дрены (в данном случае приведен к круглому).

Анализ показывает, что величина P, характеризующая неустановившийся режим фильтрации, весьма мала, и в большинстве случаев можно вести расчеты как при стационарном характере течения, т.е. принимать P 0.

Коэффициент фильтрации для схемы горизонтального кольцевого дренажа определяется по формуле [14]

$$k = \frac{Q_{др}}{\pi (H_1^2 - H_2^2) F}. \qquad (47)$$

Здесь

$$F = \frac{H_1 - H_2}{\ln L/(R+0{,}5d)} + \frac{2\pi H_{др}}{H_{др} \ln 16R/d + 2R\varphi}; \qquad (48)$$

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2; \quad \varphi_1 = f(R/H_{др}); \quad \varphi = f(L/H_{др}), \qquad (49)$$

где L – расстояние от центра кольцевого дренажа до прямолинейного контура питания дренируемого пласта, м; R – радиус кольцевого дренажа, м; φ_1, φ_2 – расчетные функции, которые определяются [14] по графикам рис. 3.

Примеры расчетов, поясняющих изложенную выше методику, выполнены для двухгодичного цикла наблюдений за расходами дренажных вод и уровнями на контуре питания и в дренаже г. Усть-Абакана (Хакасская АССР). Определение коэффициентов фильтрации выполнено для участка прямолинейной открытой береговой дрены, расположенной на расстоянии $L = 225$ м от уреза воды в Красноярском водохранилище, по формуле (43) при $P=0$, а также для кольцевой открытой дрены с радиусом $R = 620$ м, центр которой удален от уреза водохранилища на расстояние $L = 670$ м, – по формуле (47). Размер дрены, сечение которой приведено к круговому, $d = 9$ м.

Расчеты проводились для периодов, когда $H_в > H_д$. Результаты расчетов и их сопоставление с результатами опытных откачек из скважины приведены в табл. 4.

Как видим, почти везде определение коэффициента фильтрации по данным работы дренажных станций дает в среднем занижение результата на 18,9% – для схемы одностороннего притока к линейному дренажу и завышение на 8,7% – для схемы кольцевого дренажа.

7. ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРОВ (ПО ГЛУБИНЕ) РАСЧЕТНОЙ ОБЛАСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД К ДРЕНАЖНЫМ СООРУЖЕНИЯМ

7.1. При составлении программ проектно-изыскательских работ и проектировании защитного дренажа подтапливаемых территорий важное значение имеет правильный выбор глубины исследования геологического разреза.

При этом следует учитывать величину активной (или "рабочей") зоны области фильтрации, где приток к дренажу наиболее интенсивен [10, 11].

Эта зона, как правило, меньше общей мощности водоносного пласта, поэтому правильный учет ее величины дает возможность уменьшить глубину изучения геологолитологического разреза и, таким образом, сократить объем изысканий [10].

7.2. Для систематического горизонтального дренажа, несовершенного по степени вскрытия однородного безнапорного водоносного пласта, оптимальная мощность пласта m_0 может быть получена из следующей зависимости

$$\frac{\sqrt{L_{H_0}^2 + km_0h/w} - L_{H_0}}{\sqrt{L_H^2 + kmh/w} - L_H} = 0{,}8. \qquad (50)$$

Здесь фильтрационное сопротивление, учитывающее несовершенство дренажа, определяется:

для полной мощности пласта

$$L_H = 0{,}73m\lg(2m/\pi d), \qquad (51)$$

для оптимальной мощности пласта

$$L_{H_0} = 0{,}73m_0\lg(2m_0/\pi d), \qquad (52)$$

где L_{H_0} – фильтрационное сопротивление на несовершенство дренажа, зависящее от m_0. Под оптимальной понимается такая мощность пласта, при введении которой в расчет погрешность в результатах определения основных характеристик дренажа, в том числе междренного расстояния, по отношению к расчету с введением в формулы полной мощности пласта не превышает 20%; h – превышение уровня грунтовых вод в середине расстояния между дренами на уровне заложения дрен, м (инфильтрационный "бугор"); w – величина интенсивности инфильтрационного питания пласта, м/сут; d – диаметр дрены, м; k – коэффициент фильтрации, м/сут; m, m_0 – соответственно полная и оптимальная мощность дренируемого водоносного пласта, м.

Зависимость (50) позволяет на основе численного анализа установить соотношение оптимальной и полной мощностей с целью определения глубинности изысканий. Анализ проведен для следующего диапазона варьирования комплексного параметра $kh/w = 5\cdot10^2$; 10^3; 10^4; 10^5. Величины оптимальной мощности приведены в табл. 5 и на графиках рис. 4.

Таблица 5

kh/w, м	Показатели	Полная мощность пласта (m), м					
		10	20	30	40	50	60
10^3	m_0, м	6,82	12,1	16,9	21,1	24,7	36,5
	$\bar{m}$, %	68	61	56	53	49	37
	$\bar{Q}$, %	66	68	70	71	72	75
10^4	m_0, м	7,0	13,3	19,3	24,0	30,5	57,0
	$\bar{m}$, %	70	67	64	62	61	57
	$\bar{Q}$, %	65	65	66	67	67	69
10^5	m_0, м	7,1	13,4	19,7	27,0	32,3	62,5
	$\bar{m}$, %	71	67	66	65	65	63
	$\bar{Q}$, %	63	64	65	65	65	66

Из табл. 5 видно, что оптимальная мощность при заданном критерии увеличивается с ростом полной мощности и показателя kh/w, однако относитель-

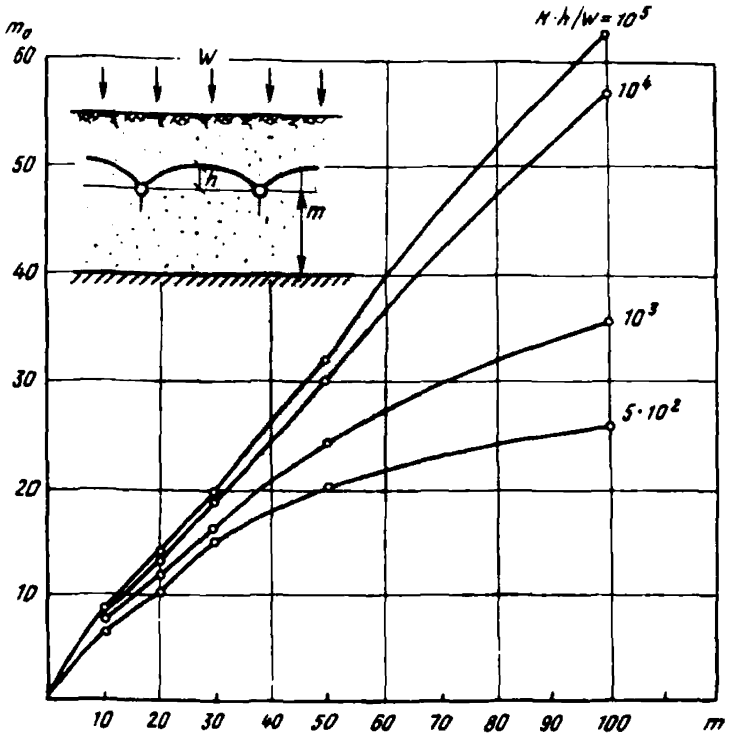


Рис.4. Графики для определения оптимальной мощности m_o пласта в зависимости от полной мощности пласта при гидрогеологическом обосновании горизонтального систематического дренажа

ная мощность $\bar{m} = m_o / m$ колеблется при $m < 50$ м в довольно узком диапазоне (49–71%) и уменьшается с ростом m. Это позволяет планировать более определенно глубину детальных исследований для оценки эффективности горизонтального дренажа.

В табл. 5 приведены также величины относительного дебита дренажа (дренажного расхода)

$$\bar{Q} = Q_o / Q, \qquad (53)$$

где Q_o, Q – величина фильтрационного расхода, проходящего через поперечное сечение оптимальной и полной мощности дренируемого пласта, м^3/сут.

Пример 1. *Определение оптимальной мощности пласта при оценке глубины проведения инженерно-гидрогеологических изысканий для обоснования систематического горизонтального дренажа несовершенного типа.*

Геологический разрез представлен, по материалам предварительных исследований, однородными мелкозернистыми песками мощностью $m = 30$ м и коэффициентом фильтрации $k = 5$ м/сут. Предполагаемая величина интенсивности инфильтрационного питания составляет $w = 3 \cdot 10^{-3}$ м/сут. При глубине заложения горизонтальных дрен 3 м и норме осушения 1,5 м величина инфильтрационного "бугра" в междренье составляет $h = 1{,}5$ м.

Определим величину расчетного параметра $kh/w = 5 \cdot 1{,}5/3 \cdot 10^{-3} = 2{,}5 \cdot 10^3$ м. Используя график на рис. 4, получим при $m = 30$ м оптимальную мощность для обоснования горизонтального дренажа в размере 17,5 м. Таким об-

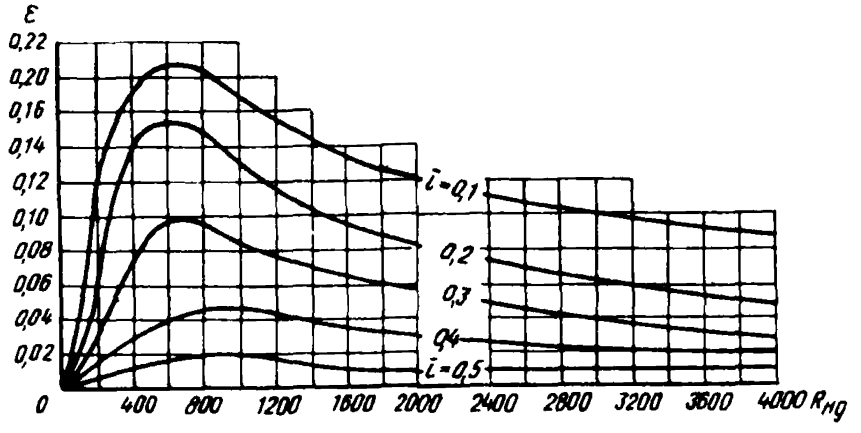


Рис.5. Вспомогательные графики для расчета оптимальной мощности пласта при гидрогеологическом обосновании горизонтального систематического дренажа при неустановившемся режиме фильтрации

разом, учет при изысканиях не полной, а оптимальной мощности пласта, дает существенную экономию в бурении (42%) и сопутствующих работах при проведении детальных изысканий.

7.3. Для систематического несовершенного горизонтального дренажа, работающего при нестационарном режиме фильтрации, оптимальная ("рабочая") глубина пласта определяется по формуле И.Н. Павловца [11]

$$m_0 = \xi b, \tag{54}$$

Здесь $\xi = f(R_{нд}\,\bar{L})$ – функция, определяется по графикам рис. 5 в зависимости от фильтрационного сопротивления на несовершенство дренажа $L_н$ и относительного расстояния $\bar{L} = b/2\,R_{нд}$, где b – междренное расстояние, м

$$R_{нд} = 2\left[\sqrt{1{,}25/\mu\,(kwt/\mu + 2km) + L_н^2} - L_н\right]; \tag{55}$$

При отсутствии инфильтрационного питания, т.е. при $w = 0$, может быть использована более простая формула

$$R_{нд} = 2\left(\sqrt{2{,}5at + L_н^2} - L_н\right) \tag{56}$$

Здесь введены следующие обозначения:
t – время от начала периода фильтрации, сут; μ – коэффициент водоотдачи грунтов; a – коэффициент уровнепроводности ($a = km/\mu$), м^2/сут. Остальные обозначения прежние.

7.4. Для расчетной схемы защитного берегового однолинейного горизонтального несовершенного дренажа, заложенного в однородном изотропном пласте, оптимальная расчетная мощность, соответствующая активной ("рабочей") зоне области фильтрации, может быть определена из формулы

$$\frac{(H_д + m_0) + (H_1 - H_д)\left[L_{н_0}(1 - x/L)/(L + L_{н_0}) + x/L\right]}{(H_д + m) + (H_1 - H_д)\left[L_н(1 - x/L)/(L + L_н) + x/L\right]} = 0{,}8. \tag{57}$$

Здесь фильтрационное сопротивление, учитывающее несовершенство дренажа, определяется по формуле:

для полной мощности пласта

$$L_н = 0{,}73(H_д + m)\lg\frac{2(H_д + m)}{\pi d}; \quad (58)$$

для оптимальной мощности пласта

$$L_{но} = 0{,}73(H_д + m_о)\lg\frac{2(H_д + m_о)}{\pi d}. \quad (59)$$

Здесь H_1, $H_д$ – уровни воды соответственно на границе питания водоносного пласта и в дрене, м; L – расстояние от оси дрены до прямолинейной границы питания пласта, м; x – расстояние от линии дренажа до точки, где определяется понижение уровня подземных вод, м.

Зависимость (57) позволяет на основе численного анализа установить соотношение оптимальной $m_о$ и полной m мощностей. Анализ проведен для следующего диапазона изменений параметров: $H_1 - H_д = \Delta H = 3$; 5; 10 м; $L = 50$; 100; 500; 1000 м; $x/L = 0{,}5$; $H_д = 2$ м, $d = 0{,}3$ м.

Результаты расчетов отношения оптимальной к относительной мощности пласта $m_о/m$, %, даны в табл. 6, а также на графиках рис.6.

Таблица 6

ΔH, м	L, м	Мощность пласта					
		10	20	30	40	50	100
3	50	7,3/73,1	15,2/76,4	23,2/77,5	31,2/78,0	39,2/78,4	79,1/79,1
	100	7,3/73,1	15,3/76,5	23,2/77,6	31,2/78,2	39,2/78,5	79,2/79,2
	500	7,3/73,0	15,3/76,5	23,3/77,6	31,3/78,2	39,2/78,5	79,3/79,3
	1000	7,3/73,0	15,2/76,4	23,3/77,6	31,3/78,2	39,2/78,5	79,3/79,3
5	50	7,1/71,2	15,0/75,0	23,0/76,6	31,0/77,5	38,9/77,8	78,8/78,8
	100	7,1/71,2	15,1/75,5	23,1/77,0	31,0/77,5	39,0/78,0	78,9/78,9
	500	7,1/71,0	15,1/75,5	23,1/77,0	31,0/77,5	39,0/78,0	79,0/79,0
	1000	7,1/71,0	15,1/75,5	23,1/77,0	31,0/77,5	39,1/78,0	79,1/79,1
10	50	6,7/67,0	14,6/73,0	22,5/75,0	30,4/76,0	38,3/76,5	78,1/78,1
	100	6,6/66,7	14,6/73,0	22,6/75,3	30,5/76,3	38,5/77,0	78,3/78,3
	500	6,6/66,2	14,6/73,0	22,6/75,3	30,6/76,5	38,6/77,2	78,5/78,5
	1000	6,6/66,1	14,6/73,0	22,6/75,3	30,6/76,5	38,6/77,2	78,6/78,6

Из табл. 6 видно, что оптимальная мощность $m_о$ при заданных параметрах увеличивается с ростом полной мощности, при этом удаленность L от границы питания практически не влияет на конечный результат, однако относительная мощность $\bar{m} = m_о/m$ колеблется в довольно узком диапазоне (66% – 79%) и при дальнейшем росте величины m стабилизируется (см. рис. 6). Это позволяет планировать более определенную глубину детальных исследований для оценки эффективности работы однолинейного горизонтального дренажа.

Учитывая, что произведенные расчеты охватывают достаточно большой диапазон наиболее часто встречающихся в практике случаев, а соотношение $m_о/m = \bar{m}$ составляет в среднем 76%, для предварительных расчетов величину оптимальной мощности вполне допустимо определять по приближенной зависимости

$$m_о \simeq 0{,}76m. \quad (60)$$

Пример 2. *Определение оптимальной мощности пласта при оценке глубины проведения инженерно-гидрогеологических изысканий для обоснования берегового (или головного) горизонтального дренажа несовершенного типа.*

Геологический разрез представлен мелкозернистыми песками с прослоями суглинков мощностью до 30 м. Линия горизонтального берегового дренажа отстоит от берега водохранилища на $L = 50$ м. Разница между уровнями в водохранилище и в дрене равна 5 м ($H_1 - H_д = 5$). Глубина заложения дрены от поверхности земли 8 м.

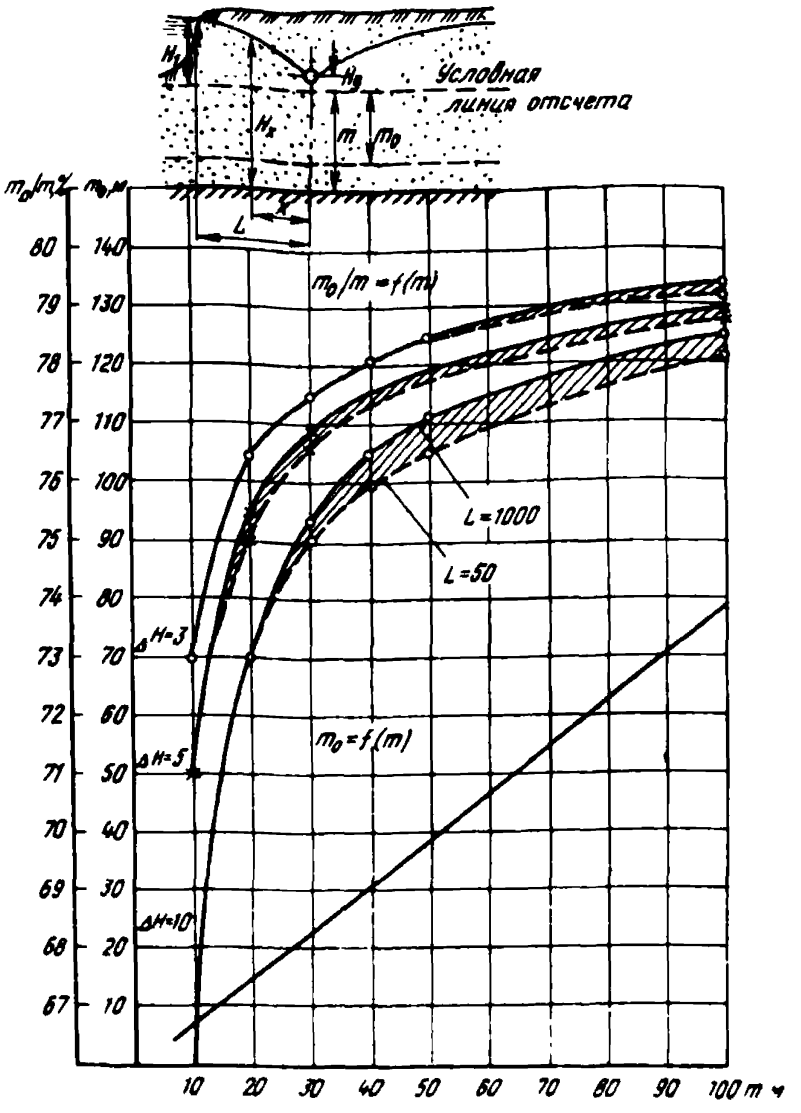


Рис.6. Графики зависимости оптимальной мощности m_0 от полной мощности m пласта при гидрогеологическом обосновании горизонтального линейного дренажа в однослойной толще

Для определения величины оптимальной мощности m_0 можно пользоваться осредненным приведенным вспомогательным графиком $m_0 = f(m)$ (см. рис. 6), не забывая, однако, что он построен для случая наименьшей глубины расположения условного водоупора на расстоянии 2 м вниз от оси дрены ($H_д$ = 2 м), а также для x/L = 0,5. Так, для определения величины m_0 сначала проведем условную горизонтальную плоскость, ниже оси дрены на 2 м. Тогда полная мощность пласта m составит 20 м (m = 20 м). Используя график на рис. 6, получим: m_0 = 15,1 м – это и есть оптимальная расчетная мощность дренируемого пласта, которая требует изучения при изысканиях и составляет в данном случае 75% полной мощности ($\bar{m} = m_0/m$ = 15,1/20 =75 %).

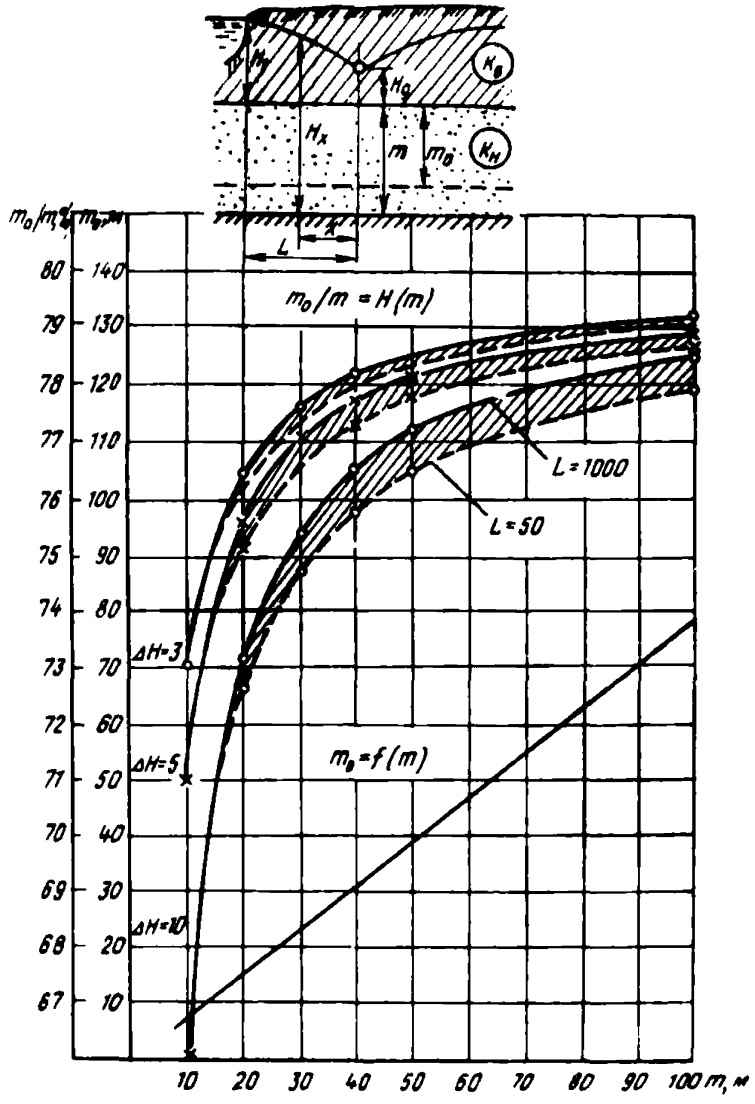


Рис.7. Графики зависимости оптимальной мощности m_0 от полной мощности m пласта при гидрогеологическом обосновании горизонтального линейного дренажа в двухслойной толще

В случаях, не охваченных численными значениями приведенных параметров, следует использовать уравнение (57), в котором искомая величина m_0 определяется методом подбора.

7.5. Для расчетной схемы защитного берегового однолинейного горизонтального дренажа, заложенного в верхнем слабопроницаемом слое двухслойного пласта, важно оценить величину оптимальной мощности нижнего слоя, которую следует вводить в фильтрационные расчеты дренажа. Определение величины m_0 в данном случае производится также по (57), в которой фильтрационное сопротивление на несовершенство дренажа рассчитывается по формулам:

для полной мощности пласта

$$L_н = 0{,}73\frac{k_н}{k_в} m \lg \frac{2H_в}{\pi d}; \qquad (61)$$

для оптимальной мощности пласта

$$L_н = 0{,}73\frac{k_н}{k_в} m_0 \lg\frac{2H_д}{\pi d}. \qquad (62)$$

Здесь $k_н$ и $k_в$ – коэффициенты фильтрации соответственно нижнего (более проницаемого) и верхнего (слабо проницаемого) слоя, м/сут; m и m_0 – соответственно полная и оптимальная мощность нижнего слоя, м.

Численный анализ (57) для условий двухслойного пласта (61, 62) при $k_н/k_в = 5$; 20; 50; 100; 200 и при тех же значениях параметров $\Delta H = 3$; 5; 10 м; $L = 50$; 100; 500; 1000 м; $x/L = 0{,}5$; $H_д = 2$ м; $d = 0{,}3$ м показывает, что результаты оценки оптимальной мощности получаются аналогичными предыдущим, рассчитанным для однослойного пласта. А именно: оптимальная мощность m_0 при заданных параметрах увеличивается с ростом полной мощности m, относительная мощность $\bar{m} = m_0/m$ колеблется в диапазоне 50–79 % и с ростом m стабилизируется (график $\bar{m} = f(m)$ выполаживается) (рис. 7). Влияние удаленности границы питания L, а также соотношения коэффициентов фильтрации слоев $k_н/k_в$ незначительно влияют на конечный результат, например, при $5 < k_н/k_в < 50$ и при $50 < L < 1000$ значения m_0 отличаются друг от друга на 0,2–0,4 %, поэтому графики функций $m_0 = f(m)$ и $\bar{m} = f(m)$ построены для осредненных значений (см. рис. 7). Учитывая также, что для двухслойного пласта соотношение $\bar{m}$ составляет в среднем 74 %, для предварительных расчетов величину оптимальной мощности вполне допустимо определять по приближенной зависимости

$$m_0 \approx 0{,}74m. \qquad (63)$$

Пример 3. *Определение оптимальной мощности нижнего слоя двухслойного пласта при оценке глубины проведения инженерно-гидрогеологических изысканий для обоснования берегового линейного горизонтального дренажа.*

Верхний слой двухслойного пласта представлен суглинком с прослоями глин и мелкозернистого песка с коэффициентом фильтрации $k_в = 0{,}3$ м/сут. Нижний слой представлен трещиноватыми и кавернозными известняками с прослоями среднезернистых песков с коэффициентом фильтрации нижнего слоя $k_н = 30$ м/сут. Линия горизонтального берегового дренажа отстоит от берега водохранилища на расстояние $L = 50$ м. Дрена диаметром 0,3 м заложена в верхнем слое. Разница между уровнями в водохранилище и в дрене равна $H_1 - H_Д = 5$ м.

Расстояние от уровня воды в дрене до верхней границы нижнего слоя составляет 2 м (т.е. $H_Д = 2$ м), мощность нижнего слоя 30 м ($m = 30$ м). Используя график на рис. 7 при $m = 30$, получим $m_0 = 20{,}5$ м или $\bar{m} = 68$ %.

Таким образом, оптимальная расчетная мощность дренируемого пласта, которая требует изучения при изысканиях, составляет 68 % полной мощности пласта, что дает возможность соответственно уменьшить и объем инженерно-геологических изысканий.

8. ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА ПЛАНОВОЙ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ОБЛАСТИ ДРЕНИРОВАНИЯ

8.1. Защита территорий от подтопления подземными водами связана с необходимостью выполнения гидрогеологических расчетов дренажа в условиях повсеместного распространения грунтов, неоднородных по литолого-фильтрационным свойствам. Разнообразие плановой фильтрационной неоднородности может быть сведено к трем основным видам, которые отличаются друг от друга характером и направлением потока подземных вод [12, 13].

Направление движения подземных вод совпадает с простиранием слоев различной проницаемости. Этот вид фильтрационной изменчивости имеет большое значение для установления обоснованных осредненных значений фильтрационных параметров при гидрогеологических расчетах защиты территорий, расположенных на междуречных пространствах (рис. 8, *а*).

В этом случае для гидрогеологических расчетов необходимо выполнить осреднение фильтрационных свойств. При этом реальный неоднородный

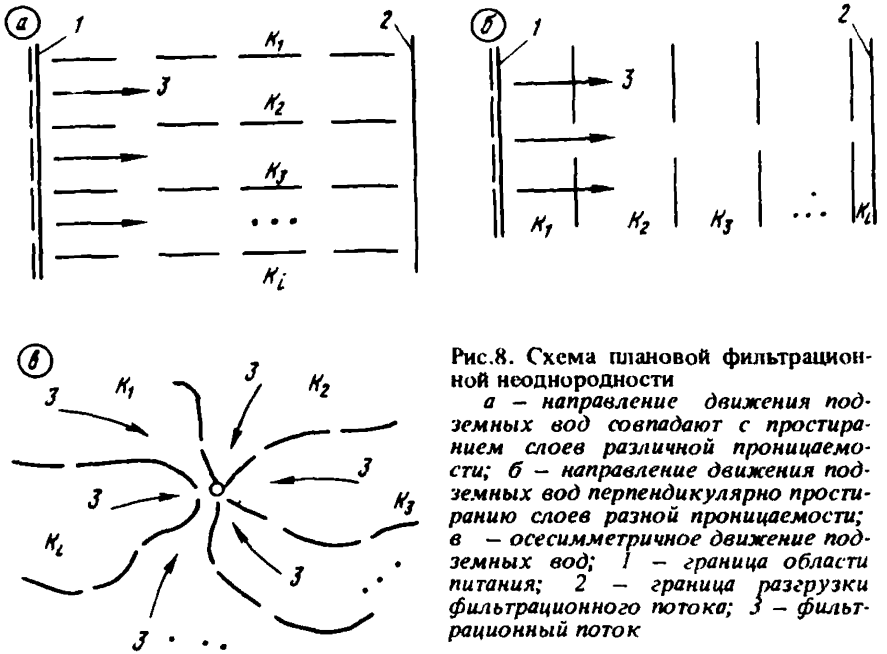


Рис.8. Схема плановой фильтрационной неоднородности

а – направление движения подземных вод совпадают с простиранием слоев различной проницаемости; б – направление движения подземных вод перпендикулярно простиранию слоев разной проницаемости; в – осесимметричное движение подземных вод; 1 – граница области питания; 2 – граница разгрузки фильтрационного потока; 3 – фильтрационный поток

пласт заменяется однородным пластом с эффективным (среднеарифметическим) значением проницаемости

$$k_{эф.\,арифм} = \frac{\sum_1^n k_i L_i}{\sum_1^n L_i}, \qquad (64)$$

где k_i, L_i – коэффициент фильтрации и ширина соответствующей зоны неоднородности; n – число неоднородных зон.

Направление движения подземных вод перпендикулярно простиранию слоев разной проницаемости. Этот вид фильтрационной изменчивости встречается при обосновании осредненных значений фильтрационных параметров для гидрогеологических расчетов защиты территорий, расположенных в зоне влияния водохранилищ, каналов, т.е. при плоскопараллельной однонаправленной фильтрации (рис. 8, *б*).

В этом случае осреднение или приведение неоднородности к однородному пласту производится по правилу средней гармонической оценки:

$$k_{эф\ гарм} = \frac{\sum_1^n L_i}{\sum_1^n (L_i/k_i)}. \qquad (65)$$

Осреднение целесообразно проводить, если различие проницаемости отдельных зон не превышает 5–10 м/сут.

Согласно формуле (64) получается максимальная, а по формуле (65) – минимальная величина эффективной проницаемости.

8.2. Схема осесимметричного движения подземных вод, к которому может приводится неравномерная (хаотическая) фильтрационная неоднородность дренируемого пласта, может применяться при расчетах, например, кольцевых дренажей (рис. 8, *в*).

В этом случае осреднение фильтрационной неоднородности производится по правилу средней геометрической оценки

$$k_{эф.геом} = \sqrt[n]{k_1 k_2 k_3 \dots k_n}, \qquad (66)$$

где k_1, k_2, k_3, ..., k_n – коэффициенты фильтрации в точках опробования, определенные одним методом; n – количество определений коэффициента фильтрации.

При соотношении проницаемости в отдельных точках опробования (не более 5–10 м/сут) ошибка прогноза уровенного режима в зоне кольцевого дренажа превышает 10–13%. При этом размеры фильтрационно-однородных элементов не должны заметно различаться.

8.3. Рекомендованные способы осреднения и соответствующие им оценки приведенного к однородному водоносного пласта связаны следующим соотношением:

$$k_{эф.арифм} > k_{эф.геом} > k_{эф.гарм}. \qquad (67)$$

8.4. *В случае более сильного различия проницаемостей отдельных водоносных зон (более одного порядка), или заметного преобладания в плане горных пород определенной проницаемости приведение неоднородного пласта к однородному может привести к существенным ошибкам и не рекомендуется. В таких случаях необходимо использовать более точные способы учета неоднородности – аналоговое или цифровое моделирование.*

8.5. На ранних стадиях проектно-изыскательских работ важно оценить насколько существенен учет плановой фильтрационной неоднородности при расчетах фильтрационного притока к дренажу и понижения уровней дренируемого водоносного пласта. Предварительная оценка значимости фильтрационной неоднородности производится по методике, разработанной для однолинейного плоскопараллельного течения от прямолинейного контура питания к прямолинейному контуру разгрузки (к дрене), когда фильтрационная изменчивость нормальна потоку вод.

8.6. Для оценки фильтрационной неоднородности грунтов выполняются поверочные расчеты по определению коэффициента фильтрационных сопротивлений, который представляет собой отношение фильтрационных сопротивлений

$$\eta = R_{однород} / R_{неоднород}, \qquad (68)$$

где $R_{однород.}$ – фильтрационное сопротивление однородных грунтов, зависящее от расстояния от контура питания до расчетной точки; $R_{неоднород.}$ – фильтрационное сопротивление неоднородных грунтов, зависящее также и от коэффициента фильтрационной неоднородности.

Плоскопараллельная линейная фильтрация рассматривается при двухзонной неоднородности области фильтрации (рис. 9). Для этой схемы построены расчетные графики, по которым можно оценивать параметр плановой фильтрационной неоднородности в зависимости от коэффициента неодно-

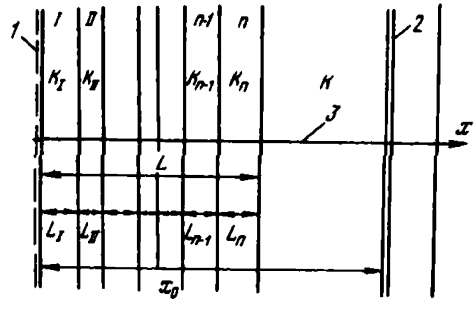


Рис.9. Схема плановой фильтрационной двухзонной неоднородности

1 – граница области питания; 2 – граница разгрузки фильтрационного потока; 3 – фильтрационный поток

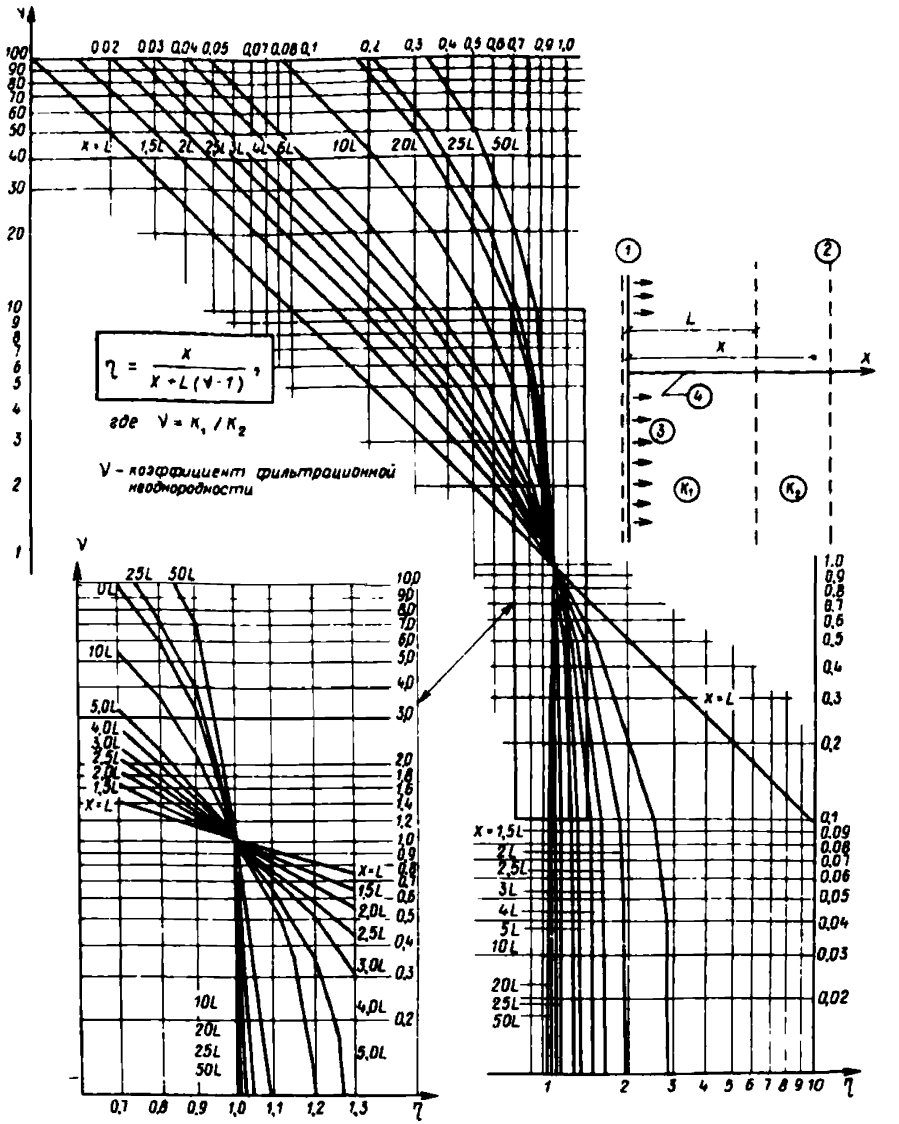


Рис.10. Параметр неоднородности фильтрационных сопротивлений
1 – граница области питания; 2 – граница разгрузки фильтрационного потока; 3 – фильтрационный поток; 4 – линия тока

родности и расстояния до контура питания пласта (рис. 10). Например, при L=20 м, x = 500 м, k_1=4,8 см/сут и k = 0,6 м/сут имеем x/L = 25 и при $\nu = k_1/k$ = 8 по графику имеем η = 0,75, т.е. понижение уровня воды, рассчитанное без учета фильтрационной неоднородности, составит 0,75% понижения, рассчитанного с ее учетом.

Коэффициент η определяется для каждого участка, выделенного по линии тока (см. рис. 9). При этом каждый последующий участок принимается за однородную I зону, а все предыдущие – за суммарную II зону, для которой берется коэффициент фильтрации осредненным по формуле (64).

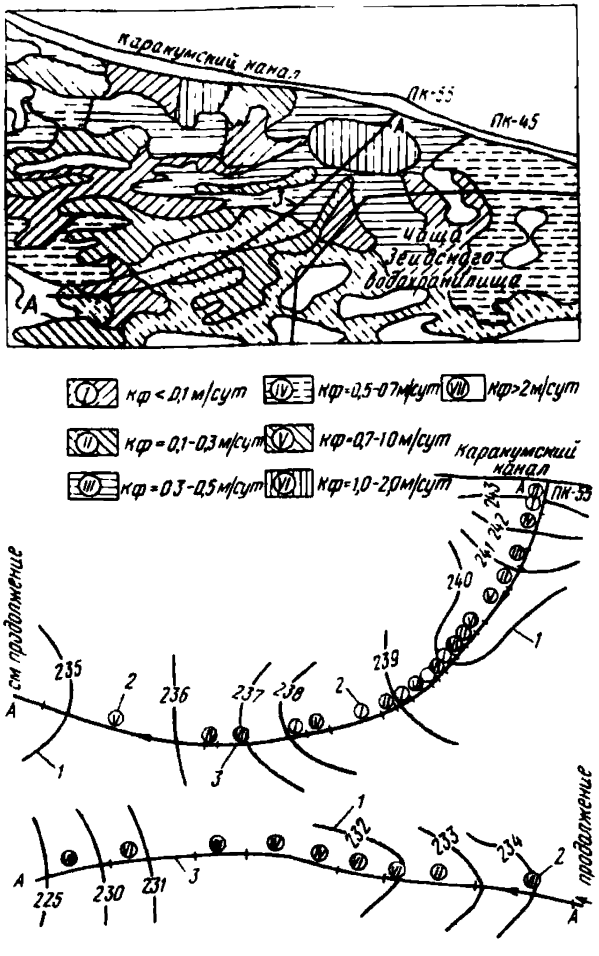


Рис. 11. Схема плановой фильтрационной неоднородности Зеидского водохранилища (Каракумский канал, Туркменская ССР)

1 – границы зон фильтрационной неоднородности; 2 – зона фильтрационной неоднородности; 3 – расчетная линия тока

Фильтрационное сопротивление для I зоны (между дренажом и водохранилищем) выражается зависимостью:

$$R = \pi [\lambda/l + L(\nu - 1)/l\ ]. \qquad (69)$$

Для II зоны:

$$R = \pi \lambda \nu / l \qquad (70)$$

Здесь x – расстояние от прямолинейного контура питания до расчетной точки, где определяется понижение уровня подземных вод; l - половина длины дренажного контура (или контура разгрузки подземного потока)

Коэффициент η показывает, во сколько раз изменяется фильтрационное сопротивление, если брать его с учетом фильтрационной неоднородности,

и, следовательно, как изменяется величина дренажного расхода воды или понижения уровня подземных вод. Если коэффициент близок к единице, – влиянием неоднородности можно пренебречь.

Из приведенных выше формул следует, что для II суммарной зоны:

$$\eta = \frac{\pi(\lambda/l)}{\pi(x/l)\nu} = 1/\nu. \tag{71}$$

Для I зоны:

$$\eta = \frac{\pi\lambda/l}{\pi[\lambda/l + L/l(\nu-1)]} = \frac{x}{x + L(\nu-1)}. \tag{72}$$

Расчет ведется для точки x, расположенной в середине I зоны между источником подтопления и условной линией дренажа. Графическая интерпретация метода оценки плановой фильтрационной неоднородности дана на рис. 11

8.7. Как пример применения указанной методики дается оценка детальности инженерно-геологических изысканий Зеидского водохранилища в Туркменской ССР, выполненных институтом Туркменгипроводхоз.

Зеидское водохранилище располагается в пределах восточной части Каракумской пустыни, где широко развиты литологические неоднородные дельтовые отложения, залегающие на толще аллювиальных песков. Изучение фильтрационной неоднородности и характера развития различных литологических разностей представляет определенную трудность в связи с необходимостью производства большого количества дорогостоящих опытно-фильтрационных работ. В связи с этим необходима объективная количественная оценка влияния фильтрационной неоднородности на конечный прогноз положения уровней подземных вод при работе дренажей.

Для оценки величины η была взята линия тока $A-A$ по карте гидроизогипс на период 1964 г. (см. рис. 11). Вдоль ее оси брались величины x_i и суммарное расстояние, равное сумме длин предыдущих зон ($L = L_1 + L_2 + \ldots + L_n$). Полученные результаты расчета коэффициента фильтрационного сопротивления вдоль линии тока $A-A$, выполненные по формулам (71) и (72), сведены в табл. 7.

Таблица 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ν	0,17	1,94	0,82	1,81	0,40	1,85	2,59	0,32	2,63	0,16
η	5,88	0,52	1,22	0,55	2,50	0,54	0,39	3,13	0,38	6,25

Продолжение табл. 7

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2,59	0,16	2,46	0,14	0,31	0,16	1,11	0,19	4,81	0,88	1,25
0,39	6,25	0,41	7,14	3,22	6,25	0,90	5,26	0,21	1,14	0,80

Продолжение табл. 7

23	24	25	26	27
3,47	0,21	2,75	1,56	0,61
0,29	4,76	0,36	0,64	1,64

Полученные данные свидетельствуют о необходимости учета фильтрационной неоднородности при прогнозе уровней воды, так как значения η во многих случаях отклоняются от 1.

ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННОЕ ОПРОБОВАНИЕ СЛАБОПРОНИЦАЕМЫХ ГРУНТОВ НА ЗАСТРОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА НАПРАВЛЕННЫХ ФИЛЬТРОВ

Область применения и сущность метода

Инженерно-производственные трудности, неизбежные при производстве изысканий на застроенных территориях, особенно серьезно осложняют проведение *опытно-фильтрационных* работ.

В стесненных условиях городов и промузлов эти сложности не позволяют достоверно определить фильтрационные свойства грунтов в непосредственной близости от сооружений и, особенно, под ними. А это, в свою очередь, затрудняет проектирование защитных мероприятий, в частности дренажных сооружений, предохраняющих заглубленные части и фундаменты зданий от подтопления. Вместе с тем, при расчетах дренажей, их размещении на защищаемой территории и выборе глубины заложения особенно важен учет повсеместно распространенных условий плановой и вертикальной неоднородности. Кроме того, имеется острая потребность выявления локальных куполов грунтовых вод, связанных с повышением их уровня при утечках промстоков из канализационных коллекторов, цехов с "мокрой" технологией, водопроводно-канализационной городской сети и т.д.

Другой областью *инженерно-гидрогеологических исследований*, осложненных поверхностной и подземной застройкой, являются дополнительные исследования, которые приходится вести в процессе самого строительства. Особенно это часто требуется для уточнения местных гидрогеологических условий при устройстве подземных и заглубленных сооружений. Производство, в частности горно-проходческих работ, осложняется наличием в грунте водонасыщенных прослоек и линз, которые в процессе ведения проектно-изыскательских работ часто не выявляются. В этих случаях происходит обводнение горных выработок, строительство приостанавливается, сроки его удлиняются и появляется необходимость проведения специальных водопонизительных, замораживающих или гидроизоляционных работ, что ведет к удорожанию строительства. Одним из широко распространенных случаев, когда предварительное установление участков водонасыщенных грунтов практически невозможно, является устройство подземных переходов и переездов под действующими транспортными сооружениями (например, под железными и автодорогами). Другой случай – ремонтно-восстановительные и изыскательские работы под фундаментами зданий и заглубленных сооружений.

В указанных условиях необходимо проведение опережающего опытно-фильтрационного опробования из горных выработок, которое должно производиться непосредственно в процессе строительства. При этом, если территория ведения строительных работ является застроенной, это опробование (также, как и строительство вообще) затрудняется стесненностью подземного пространства трубопроводными, кабельными и другими коммуникациями.

Почти все кратко охарактеризованные ранее экспресс-методы требуют бурения специальных скважин, что в условиях застроенных территорий часто оказывается затрудненным. В связи с этим необходимо применение нового метода, который позволял бы без специального громоздкого оборудования быстро вести опережающее опытно-фильтрационное опробование грунтов. Для этого может оказаться весьма эффективным применение автономного устройства, которое способно выполнять необходимое опробование грунтов, проникая в заданную точку грунтового массива без предварительного бурения скважин.

Описание технических средств

Разработанный в ПНИИИСе экспресс-метод для опытно-фильтрационного опробования грунтов использует в качестве транспортного устройства спа-

ряд пневмопробойника, выпускаемый серийно Одесским заводом строймашин. Пневмопробойники предназначены для пробивания сквозных и глухих горизонтальных, наклонных и вертикальных скважин в уплотняемых (нескальных) грунтах при бестраншейной прокладке подземных коммуникаций без нарушения верхнего покрова почвы, покрытий дорог и наземных сооружений.

Пневмопробойник представляет собой самодвижущуюся пневматическую машину ударного действия, работающую от компрессора. Корпус пробойника является рабочим органом, образующим скважину. Забивание его в грунт осуществляется при помощи ударника, совершающего возвратно-поступательное движение и наносящего удары по переднему торцу корпуса. Обратному ходу корпуса препятствуют силы трения между наружной поверхностью и грунтом.

Реверсивное устройство дает возможность изменять направление ударов, а следовательно, и направление движения машины, т.е. возвращать ее назад по скважине.

Конструкция пневмопробойника разработана Институтом горного дела Сибирского отделения АН СССР (г. Новосибирск) и изготовляется Одесским заводом строительно-отделочных машин Министерства строительного, дорожного и коммунального машиностроения. Различные модификации конструкций пневмопробойника приведены в табл. 8.

Таблица 8. Техническая характеристика пневмопробойников

Характеристик:	Марка пневмопробойников			
	П-160	ИП 4605	ИП 4601М	ИП 4603
Диаметр пробиваемой скважины, мм:				
без расширителя	160	90	135	130
с расширителем	400	180	200–250	200
Длина пробиваемой скважины, м	50	40	50	40
Длина пневмопробойника (не менее), мм	1800	1500	1500	1500
Масса (без шлангов), кг	120	40	80	80
Номинальное давление сжатого воздуха, гПа (атм.)	6000 (6)	6000 (6)	6000 (6)	6000 (6)
Расход воздуха, $м^3$/мин	5,5	3,0	3,0	3,5
Диаметр воздухопроводных шлангов, мм	36,0	25,0	25,0	25,0
Скорость пробивания скважин, м/ч, в грунтах:				
I категории	30–60	35–50	30–60	до 40
II "	15–30	25–35	15–30	–
III "	5–10	12–25	8–15	–
Скорость движения пневмопробойника по скважине при обратном ходе, м/ч	–	70–100	–	До 70

ПНИИИСом на уровне изобретений [15–19] разработан ряд модификаций реверсивного пневмопробойника ИП 4603, которые в отличие от серийно изготовляемого снаряда дают возможность вести проходку в слабых (водонасыщенных, рыхлых, илистых и др.) грунтах.

Так, приставка к пневмопробойнику [15], которую иллюстрирует рис. 12, *а* позволяет повысить сцепление с грунтом, что повышает проходимость в слабых грунтах, а также обеспечивает большую точность выдерживания заданной траектории снаряда. Для этого обойма, одеваемая на корпус пневмопробойника, оборудуется спиральной лентой, которая приводит к ввинчиванию снаряда в грунт. Винт может быть неподвижно установлен на корпусе,

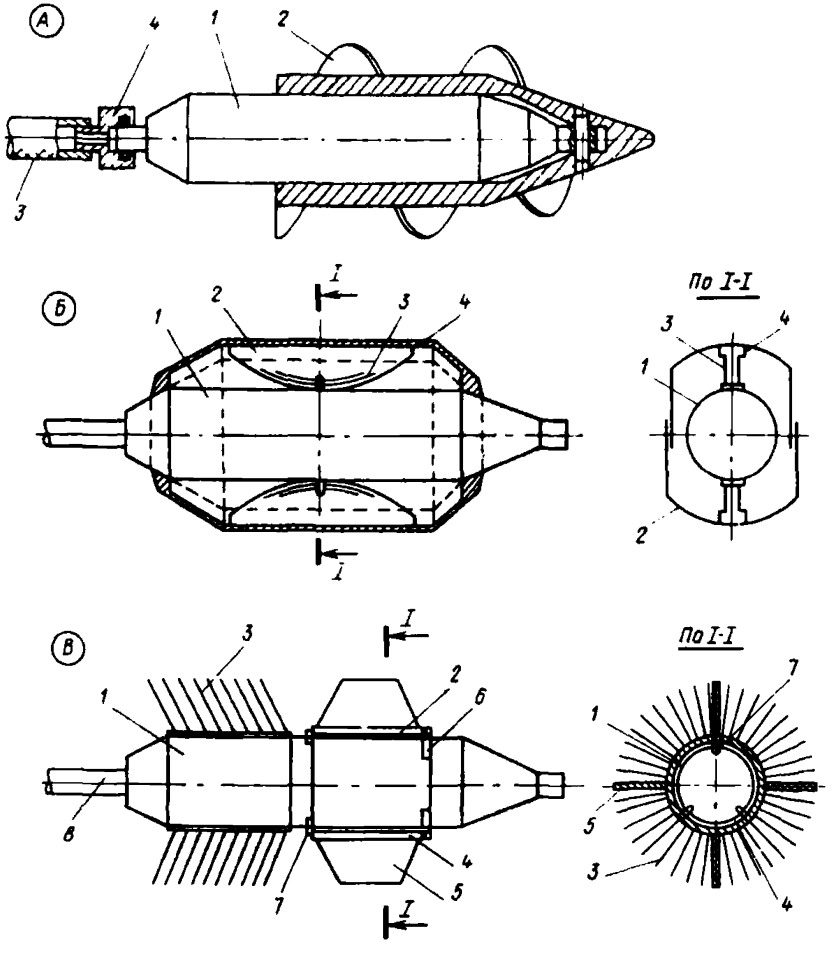


Рис.12. Схемы усовершенствованных снарядов пневмопробойников марки ИП

А – ввинчивающийся пневмопробойник: 1 – общий вид устройства; 2 – спиральная стальная лента; 3 – воздухоподающий шланг; 4 – муфта-сальник; Б – расширяющийся пневмопробойник с изменяющимся диаметром: 1 – корпус пневмопробойника; 2 – раздвигающиеся пластины; 3 – пружина; 4 – шарнирная подвеска; В – пневмопробойник с многоопорной системой радиальных гибких пластин ("щетина"): 1 – корпус бурового снаряда; 2 – гибкие пластины ("щетины"), наклоненные вперед; 3 – то же, наклонельные назад; 4 – обойма; 5 – стабилизаторы; 6 – упоры передние неподвижные; 7 – упоры задние подпружиненные изнутри

а воздухоподающий шланг присоединен к корпусу шарнирной муфтой. По другому варианту винт устанавливается на обойме, вращающейся относительно корпуса снаряда, а воздухоподающий шланг остается неподвижным.

Приспособление [16], иллюстрируемое рис. 12, *б* также позволяет повысить скорость проходки пневмопробойника в слабых грунтах путем автоматического расширения обоймы, устанавливаемой на его корпусе. Увеличе-

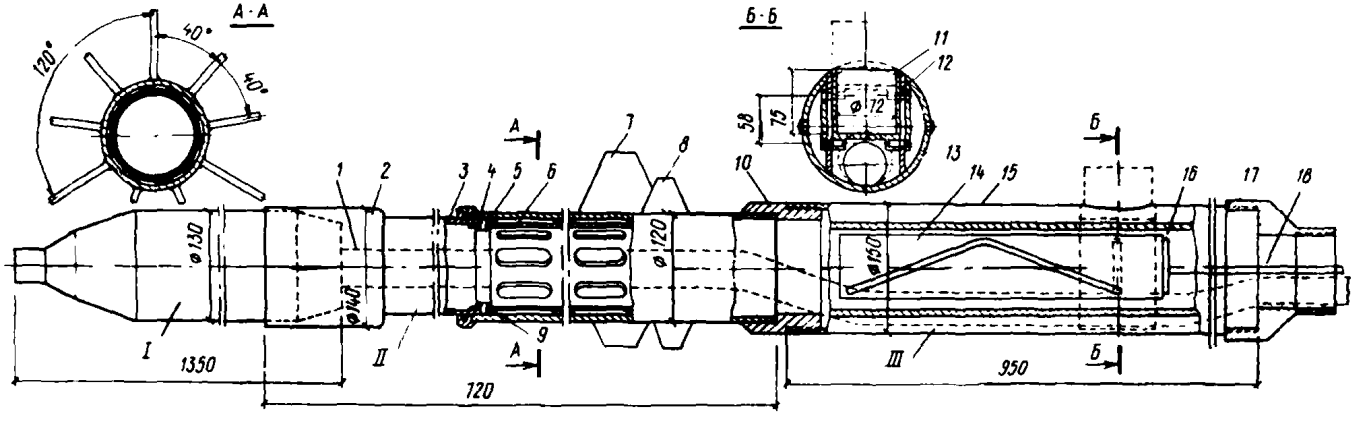


Рис.13. Схема пневмопробойника марки ИП с устройством для исследования свойств и отбора проб грунтов

1 – воздухоподводящий шланг; 2 – насадка; 3 – каркас фильтра; 4 – винт; 5 – кожух фильтра; 6 – сетка; 7 – стабилизаторы; 8 – рыхлитель; 9 – распорное кольцо; 10 – переходник; 11 – стакан; 12 – направляющая; 13 – штифт; 14 – пластины; 15 – корпус; 16 – соединительная планка; 17 – патрубок; 18 – трос

ние диаметра снаряда при переходе из плотного в более рыхлый грунт повышает сцепление и устойчивость снаряда. Расширяющаяся обойма выполнена в виде подвижных перекрывающих одна другую дугообразных пластин, подпружиненных относительно корпуса снаряда. Пружины шарнирно закреплены на внутренней поверхности обоймы.

Та же цель достигается установкой на корпусе реверсивного пневмопробойника (рис. 12, *в*) двух групп радиально расположенных резко направленных гибких пластин ("щетина"), жестко закрепленных своими концами на корпусе под острым углом к нему [17] Обойма свободно установлена на корпусе и может попеременно перекрывать группы пластин при прямом и обратном ходе пневмопробойника. На корпусе установлены подпружиненные упоры, фиксирующие обойму в заданном положении.

Комплект оборудования для осуществления экспресс-метода опытно-фильтрационного опробования грунтов с применением пневмопробойника состоит из следующих частей:

пневмопробойника реверсивного ИП 4603, комплектующегося с воздухоподающим шлангом диаметром 25 мм, длиной 20 м с быстроразъемными соединениями;

фильтровой приставки с защитной обоймой и направляющими открылками-стабилизаторами и рыхлителями [18, 19], а также сальниковым уплотнением. Фильтровая приставка с фильтровой сеткой, подобранной в соответствии с гранулометрическим составом грунта, на резьбовом соединении со стопорными болтами или защелками прикрепляется к хвостовой части пневмопробойника (рис. 13);

нажимного стартового приспособления, состоящего из направляющей и опорной рамы, двухдомкратной установки (два спаренных домкрата грузоподъемностью по 10 т каждый). Домкраты соединены рамой из двутавров и передают давление на трубы при помощи нажимной балки и цангового захвата. Приводом домкратной установки служит специально смонтированная для нее насосная масляная станция, работающая от электродвигателя. Домкратная установка также может быть реверсирована, т.е. она позволяет без ее перестановки менять направление движения поршней домкратов и не только задавливать трубы в грунт, но и извлекать их;

колонны водоотворных обсадных труб диаметром 89 мм на резьбовом соединении (со стопорными болтами или защелками), набирается из звеньев-отрезков труб длиной по 1,5 м;

водомерного приспособления, состоящего из патрубка с задвижкой и водомерного пьезометра. Водомерное приспособление на резьбовом соединении монтируется с последним звеном водоотводных труб.

Пневмопробойник ИП 4603 изготовляется серийно и поставляется в готовом виде. Фильтровая приставка с защитной обоймой изготовляется на месте по чертежам, разработанным в ПНИИИСе.

Методика и технология проведения опытно-фильтрационных работ

Порядок выполнения рабочих операций с применением устройства для исследования фильтрационных свойств грунтов принимается следующим (см. рис. 1):

1. В шахте (шурфе), из которой проводится опытно-фильтрационное опробование, устанавливается нажимное приспособление. Последнее должно быть жестко закреплено (заанкерено) с креплением к стенам и дну шахты (шурфа).

2. Устройство для исследования свойств грунтов доставляется на опытную площадку в собранном виде (с прикрепленной к пневмопробойнику фильтровой приставкой), устанавливается на направляющей раме нажимно с приспособления и вместе с ней выравнивается и подгоняется строго под нужное направление.

3. С помощью нажимного приспособления, или вручную снаряд внедряется в грунт на 1/3 длины корпуса, а затем движется самостоятельно.

При проходке снаряда на значительную длину и при малой глубине его заложения рекомендуется производить пуск пневмопробойника с небольшим углом заглубления, чтобы избежать произвольного выхода его на поверхность.

Опыт показывает, что проходка в достаточно однородных грунтах при длине до 20 м отклоняется от заданного направления незначительно.

4. После достижения снарядом точки грунтового массива, где предстоит произвести опытное определение (+ 0,5–1 м), выполняют реверсирование хода. Для этого:

прекращается подача сжатого воздуха;

разъединяется ближайший к устью скважины разъем шланга, свободные концы шланга заглушаются;

устраняется закручивание шланга по всей его длине;

укладывается шланг, присоединенный к пневмопробойнику, по прямой линии вдоль оси скважины;

выворачивается патрубок золотника в крайнее, заднее положение вращением шланга против часовой стрелки. Делается 10,5 оборотов, при вращении шлангу сообщается натяжение;

сообщается шлангу дополнительное закручивание – "заневоливание" на 3–4 оборота так, чтобы шланг стремился повернуть патрубок золотника пневмопробойника против часовой стрелки (если смотреть на снаряд сзади).

5. Навертывается водомерное приспособление, через специальное отверстие которого пропускается воздухоподающий шланг. Затем соединяется разъем шланга и открывается вентиль компрессора. Если пуск не удался, шланг перегибается и затем резко распрямляется.

6. В результате реверсирования пневмопробойника его корпус движется назад, защитная обойма открылками держится за грунт и остается неподвижной, в результате чего фильтровая приставка открывается.

7. После продвижения снаряда назад на 0,5–1 м его останавливают. Грунтовая вода через поверхность фильтровой приставки поступает во внутреннюю полость водоотводящих труб и стекает по ним в шахту (шурф). Задвижка на патрубке водомерного приспособления закрывается, и вода по предварительно установленной пьезометрической водомерной трубке поднимается вверх. После стабилизации уровня, который равен уровню грунтовых вод, его записывают и вновь открывают задвижку. Сток воды возобновляется.

Расход воды замеряется объемным способом с замерами времени по секундомеру. Измерение ведется каждые 10–30 мин в течение 1–2 ч до наступления стабилизации стока.

В случае наклонного расположения опробователя отбор воды из внутренней полости фильтровой части скважины осуществляется либо подключением к оголовку скважины насоса, либо эрлифтным способом с использованием того же компрессора, который применяется при работе пневмопробойника.

Расчеты величины коэффициента фильтрации для различных схем расположения фильтра

После проведения последовательных замеров расхода грунтовой воды, вытекающей из водоотводных труб, и достижения ею установившейся величины, а также замера уровня грунтовых вод по пьезометрической водомерной трубке выполняется определение коэффициента фильтрации грунтов. Расчет величины коэффициента фильтрации ведется по формулам Г.А. Разумова для горизонтальных и наклонных дрен конечной длины [19] – см. расчетные схемы и формулы в табл. 3 (см. разд. 4).

Для расчетных схем *1* и *2* формулы получены на основе гидромеханического решения П.Я. Полубариновой-Кочиной для безнапорного потока грунтовых вод. Оно получено из условия незначительности деформации свободной поверхности грунтовых вод при их откачке, что характерно как раз для рас-

сматриваемых случаев слабой проницаемости грунтов и малой величины отбираемого расхода воды.

Для расчетных схем *3* и *6* использована зависимость В.П. Табакова полученная им при рассмотрении наклонного фильтра, пересекающего напорный водоносный пласт. Приведенная в таблице формула применима и для случая водоносного пласта не с круговым, а с прямолинейным контуром питания. В этом случае вместо радиуса влияния в расчет следует вводить удвоенное расстояние до прямолинейного контура питания, т.е. $R = 2L$, где L – расстояние от середины фильтра до водотока (водоема), т.е. прямолинейной границы области фильтрации.

Для расчетной схемы *4* применена формула Г.А. Разумова выведенная для напорного водоносного пласта ограниченной мощности, которая в данном случае приводится в упрощенном виде.

Расчетная схема *5* предполагает применение решения, которое получено В.М. Насбергом, для расчета горизонтальных линейных электрических заземлителей. Здесь оно также приводится в упрощенном виде. Кроме указанной в таблице области значений ν данная формула может быть применена и для случая, когда коэффициент неоднородности $\nu \leq 0$, при этом расчетный коэффициент $\alpha_0 = 0{,}4 - 0{,}8$.

Таблица 9. Результаты расчетов коэффициента фильтрации по методу направленных фильтров

№ схемы	Условия производства опыта	Результаты	
		логарифм функции F	величина k, м/сут
1	Безнапорный пласт неограниченной мощности		
	Фильтр расположен:		
	а – горизонтально	0,943	0,979
	б – наклонно	0,919	0,974
2	Безнапорный слой ограниченной мощности с непроницаемой подошвой	0,943	1,55
3	Напорный пласт ограниченной мощности с непроницаемыми кровлей и подошвой	2,193	0,66
4	Напорный пласт ограниченной мощности с непроницаемыми кровлей и подошвой	0,971	1,40
5	Двухслойный безнапорный пласт неограниченной мощности	0,333	0,68
6	Несколько напорных пластов ограниченней мощности, разделенных водоупорами	1/2,193	0,66
		2/2,40	0,49
		3/2,412	0,36

Ниже приведены примеры расчетов коэффициента фильтрации для каждой из расчетных схем.

Пример 1 (а)

Требуется определить коэффициент фильтрации безнапорного пласта, имеющего неограниченную мощность. Фильтр расположен горизонтально.

Исходные данные:

$h_0 = 5{,}8$ м; $l = 0{,}6$ м; $r = 0{,}05$ м; $Q = 10$ м^3/сут; $S = h_0 = 5{,}8$ м.

Решение:

По формуле табл. 3 (см. разд. 4) находим:

$$F = \frac{3 \cdot 0{,}6 \cdot 5{,}8}{0{,}05 \cdot \left(0{,}6 + \sqrt{0{,}6^2 + 16 + 5{,}8^2}\right)} \approx 8{,}77.$$

Далее по формуле (30) находим:

$$k = \frac{0{,}37 \cdot 10}{0{,}6 \cdot 5{,}8} \lg 8{,}77 = 0{,}979 \text{ м/сут.}$$

Пример 1 (б)

Требуется определить коэффициент безнапорного пласта, имеющего неограниченную мощность. Фильтр пересекает пласт под углом.

Исходные данные:

$H = 6$ м; $h_0 = 5{,}8$ м; $h = 6{,}2$ м; $l = 0{,}6$ м; $r = 0{,}05$ м; $Q = 10$ м^3/сут; $S = h_0 = 5{,}8$ м.

Р е ш е н и е:

По формулам табл. 3 (см. разд. 4) находим:

$$F = 8 \cdot 5{,}8 (6 - 5{,}8) = 9{,}28;$$

$$F = \frac{0{,}7 \cdot 0{,}6}{0{,}05} \left[\frac{\sqrt{0{,}6^2 + 16 \cdot 5{,}8 \cdot 6^2} - 9{,}28}{\sqrt{0{,}6^2 + 16 \cdot 5{,}8 \cdot 6{,}2^2} - 9{,}28} \right]^{0{,}5} = 8{,}29.$$

Далее по формуле (30) подсчитываем величину коэффициента фильтрации

$$k = \frac{0{,}37 \cdot 10}{0{,}6 \cdot 5{,}8} \lg 8{,}29 = 0{,}974 \text{ м/сут.}$$

Пример 2

Требуется определить коэффициент фильтрации в безнапорном пласте ограниченной мощности с непроницаемой подошвой.

Исходные данные:

$h_0 = 3$ м; $H = 6$ м; $l = 0{,}6$ м; $r = 0{,}05$ м; $Q = 8$ м^3/сут.

Р е ш е н и е:

По формуле табл. 3 находим:

$$F = \frac{3 \cdot 0{,}6 \cdot 3 \cdot 6 \left[0{,}6 + \sqrt{0{,}6^2 + 16 (6 - 3)^2} \right]}{0{,}05 (6 - 3) (0{,}6 + \sqrt{0{,}6^2 + 16 \cdot 6^2}) (0{,}6 + \sqrt{0{,}6^2 + 16 \cdot 3^2})} = 8{,}777$$

Далее по формуле (30) находим:

$$k = \frac{0{,}37 \cdot 8{,}0}{0{,}6 \cdot 3} \lg 8{,}777 = 1{,}55 \text{ м/сут.}$$

Пример 3

Требуется определить коэффициент фильтрации пласта ограниченной мощности, имеющего непроницаемые кровлю и подошву и обладающего напором. Фильтр пересекает водоносный пласт под углом.

Исходные данные:

$T = 1{,}2$ м; $l = 1{,}3$ м; $R = 2{,}5$ м; $\beta = 25°$; $H = 6$ м; $Q = 5{,}0$ м^3/сут; $S = H - T = 4{,}7$ м.

Р е ш е н и е:

По формуле табл. 3 находим:

$$F = \left[\frac{2 \cdot 25 (1 + \cos 25°)}{\cos 25°} \right]^{\frac{1{,}30}{1{,}20}} = 156.$$

Далее находим по формуле (30)

$$k = \frac{0{,}37 \cdot 5{,}0}{1{,}30 \cdot 4{,}7} \lg 156 = 0{,}66 \text{ м/сут.}$$

Пример 4

Требуется определить коэффициент фильтрации пласта ограниченной мощности, имеющего непроницаемые кровлю и подошву и обладающего напором.

Фильтр расположен горизонтально.

Исходные данные:

$T = 4$ м; $l = 0.6$ м; $r = 0{,}05$ м; $H = 6$ м; $h = 3$ м; $Q = 7{,}0$ м^3/сут; $S = H - h = 3$ м.

Решение:

Коэффициент δ берем по табл. 3. При отношении $l/T = 0{,}6/4 = 0{,}15$ $\delta = 0{,}7$.

По формуле табл. 3 находим:

$$F = \frac{0.7 \cdot 0.6}{0.05}\left[\frac{0.6 + \sqrt{0.6^2 + 4 \cdot 4^2}}{2 \cdot 4}\right]^{(2 \cdot 0.7)} = 9{,}34.$$

Далее по формуле (30) находим:

$$k = \frac{0{,}37 \cdot 7{,}0}{0{,}6 \cdot 3{,}0} \lg 9{,}34 = 1{,}4 \text{ м/сут}.$$

Пример 5

Имеется двухслойный пласт с двумя водонасыщенными слоями разной проницаемости. Средние ориентировочные значения коэффициента фильтрации для каждой разности грунтов и соотношение между ними берутся по данным лабораторных определений. Требуется определить уточненный коэффициент фильтрации верхнего пласта непосредственно под сооружением. Фильтр расположен горизонтально.

Исходные данные:

$k_в = 0{,}8$ м/сут; $k_н = 0{,}2$ м/сут; $l = 0.6$ м; $H = 6$ м; $h = 3$ м; $S = H - h = 3$ м; $r = 0{,}05$ м.

Решение:

При соотношении коэффициента фильтрации верхнего и нижнего слоя, равном $0{,}8/0{,}2 = 4$, путем интерполяции находим $\alpha = 4{,}2$.

По формуле табл. 3 находим:

$$F = \left[\frac{0{,}6^2}{2 \cdot 0{,}05 \cdot 3.0}\right]^{4{,}2} = 2.15.$$

Далее по формуле (30) находим:

$$k = \frac{0.37 \cdot 10{,}0}{0.6 \cdot 3.0} \lg 2.15 = 0{,}68 \text{ м/сут}.$$

Пример 6

Требуется определить коэффициенты фильтрации для нескольких напорных пластов ограниченной мощности фильтрации для нескольких напорных пластов ограниченной мощности, разделенных водоупором. Фильтр пересекает каждый пласт под углом.

Исходные данные:

$l = 1{,}3$ м; $Q = 5{,}0$ м^3/сут; $T_1 = 1{,}20$ м; $H_1 = 6{,}0$ м; $\beta_1 = 25^\circ$; $T_2 = 1{,}1$ м; $H_2 = 8{,}0$ м; $\beta_2 = 30^\circ$; $T_2 = 1{,}1$ м; $H_3 = 10{,}5$ м; $\beta_3 = 35^\circ$; $S_1 = 4{,}7$ м; $S_2 = 6{,}9$ м; $S_3 = 9{,}4$ м.

Решение:

Для каждого слоя по формуле табл. 3 находим:

$$F_1 = \left[\frac{2 \cdot 25(1 + \cos 25^\circ)}{\cos 25^\circ}\right]^{1{,}30/1{,}20} = 156.0;$$

$$F_2 = \left[\frac{2 \cdot 25\ (1 + \cos 30^\circ)}{\cos 30^\circ}\right]^{1,3/1,1} = 250,5;$$

$$F_3 = \left[\frac{2 \cdot 25\ (1 + \cos 35^\circ)}{\cos 35^\circ}\right]^{0,6/1,6} = 258,0.$$

Далее по формуле (30) находим:

$$k_1 = [(0,37 \cdot 5,0)/(1,30 \cdot 4,7)] \lg 156 = 0,66 \text{ м/сут};$$

$$k_2 = [(0,37 \cdot 5,0)/(1,30 \cdot 6,9)] \lg 250,5 = 0,49 \text{ м/сут};$$

$$k_3 = [(0,37 \cdot 5,0)/(1,30 \cdot 9,4)] \lg 258,0 = 0,36 \text{ м/сут}.$$

Опытно-промышленное внедрение метода

В процессе опытно-производственного внедрения метода было изготовлено восемь опытных экземпляров различного типа устройства для исследования *фильтрационных свойств грунтов и модифицированных пневмопробойников* в следующих вариантах:

1. Устройство, выполненное на основе реверсивного пневмопробойника ИП 4603, изготовлено в механических мастерских СУ-17 треста ГПР-1 Главмосинжстроя. Оборудовано водоприемным фильтром.

2. Устройство, выполненное на основе пневмопробойника ИП 4601 (не реверсируемого), изготовлено там же. Оборудовано направляющими открылками и стабилизаторами.

3. Устройство, выполненное в уменьшенном масштабе по сравнению с предыдущими (1:5) со специально изготовленным малым пневмопробойником, изготовлено в механических мастерских конторы Геоминвод института Курортологии Минздрава СССР. Оборудовано водоприемным фильтром и приспособлением для отбора проб грунта.

4. Устройство того же типа и размера, что по п. 1, 2, но без пневмопробойника в пилотной части, изготовлено там же.

5. Устройство такое же, что по п. 4, но с возможностью гидропогружения при подаче струи воды в грунт через специальное сопло в носовой части, изготовлено там же.

6. Устройство, выполненное на основе пневмопробойника ИП 4603, изготовлено в экспериментальной механической мастерской ПНИИИСа. Оборудовано в хвостовой части "щетиной" из упругой стальной проволоки, которая обеспечивает работу устройства в слабых (рыхлых, водонасыщенных, плывунных) грунтах.

7. Устройство, выполненное в мастерских Союзгипроводхоза. Оборудовано винтовой приставкой, обеспечивающей снаряду вращательно-поступательное движение.

8. Устройство, выполненное в мастерских треста Горгидроремонт Мосгорисполкома. Оборудовано расширителем, позволяющим менять диаметр снаряда в зависимости от плотности грунтов, в которых он проходит.

Производственные испытания и опытные внедрения устройства для исследования фильтрационных свойств грунтов выполнены на пяти объектах СУ-17 треста ГПР-1 Главмосинжстроя в 1975–1979 гг. и одном объекте СУ-36 Московского треста строительства мостов и набережных:

1. Щитовая проходка тоннеля коммунального коллектора под проезжей частью ул. Короленко (май 1975 г.). Опыт производился из шахты глубиной 10 м и в мелкозернистых обводненных песчаных грунтах. Снаряд неревер-

сируемого пневмопробойника был направлен навстречу щитовой проходке и прошел 12 м, после чего с помощью лебедки был открыт фильтр.

2. Щитовая проходка тоннеля канализационного коллектора под Рижской железной дорогой в Павшино (июнь 1975 г.). Опыт проводился из шурфа глубиной 3 м в мелкозернистых плывунных песках.

3. Щитовая проходка тоннеля Хохловской теплофикационной магистрали (ноябрь 1975 г.). Опыт проведен из шахты глубиной 10 м в сильнообводненных средне- и мелкозернистых грунтах. Выполнено два опыта. В одном снаряд прошел 3,5 м, был реверсирован и возвращен в шахту. Во втором опыте снаряд прошел в глубину грунтового массива на 8,5 м, был реверсирован и своим ходом прошел в обратном направлении 5,5 м. В процессе движения устройства назад из труб вытекала грунтовая вода, характер истечения которой был пульсирующим, что связано с выхлопами сжатого воздуха.

4. Проходка полущитовым способом обгонного коллектора р. Очаковки (февраль 1976 г.). Опыт проводился из шахты глубиной 8,5 м в мелкозернистых песках. Снаряд прошел 4 м и после проведения опыта был реверсирован и возвращен в шахту. Время, затраченное на производство отдельных операций при проведении опытной работы, распределялось следующим образом:

движение снаряда в грунте вперед с наращиванием водоотводных труб 90 мин;

реверсирование и остановка снаряда 15 мин;

водоотлив с замерами расхода воды 4 ч 30 мин;

движение снаряда назад 40 мин.

В результате проведения опыта был определен установившийся расход в размере 0,1 л/с, который обеспечивался при напоре воды над осью водоотводных труб 1.85 м.

Проведенные производственные испытания и опытное внедрение показало надежность и хорошую работоспособность устройства, в том числе было установлено, что:

обеспечивается надежная сопрягаемость и взаимодействие отдельных элементов конструкции устройства;

Подтверждена надежность работы защитной обоймы, закрывающей фильтровую приставку при движении вперед, во время водоотлива, в процессе реверсирования и движения назад;

подтверждена возможность надежного определения коэффициента фильтрации грунтов.

5. Щитовая проходка канализационного коллектора р. Пресни на участке интервала 22 км + 182 м Рижского направления Московской железной дороги (ноябрь 1977 г.). Здесь устройство было использовано не только для опытно-фильтрационного опробования, но и для отбора образцов грунта, а также для опережающего водопонижения по трассе.

Трасса тоннеля проходит под плотной промышленно-складской и жилищной застройкой и под насыпью железной дороги. Гидрогеологические условия характеризуются повышенной сложностью, строительство ведется в сильно обводненных мелкозернистых флювиогляциальных песках с коэффициентом фильтрации 1,7–2,8 м/сут. Имеются суглинистые прослои и линзы, а также включения отдельных валунов. Работы по прокладке дрены выполнены из камеры (шахты) №1 на глубине 7 м от поверхности земли.

6. Строительный котлован под пешеходный переход через Мантулинскую ул. в Москве – объект СУ-36 Московского треста строительства мостов и набережных Главмосинжстроя и "Центр международной торговли" (декабрь 1979 г.). В рыхлых насыпных неустойчивых песках средней крупности проведено опробование приставки, которой была оборудована хвостовая часть пневмопробойника ИП 4603. Приставка представляет собой стальной патрубок, на поверхности которого установлена "щетина", представляющая собой радиальную систему отрезков пружинистой проволоки. Увеличение площади поверхности сцепления с грунтом создает дополнительную силу, которая удерживает снаряд в слабом грунте (например, плывунного типа), что дает возможность расширить область его применения. Испытания, проведенные на объекте "Центр международной торговли", показали, что в

принципе "щетина" играет удерживающую роль, однако размеры ее должны быть подобраны в зависимости от физико-механических характеристик грунта.

Результаты произведенных работ показали следующее:

1. Применяемая для прокладки дрен система открылков и стабилизаторов вполне работоспособна и достаточно точно поддерживает заданное направление прокладки дрен.

2. Фильтр дрены, выполненный в виде сплошной проволочной обмотки по стальным перфорированным трубам, хорошо работает в мелкозернистых грунтах, что подтверждает, кроме всего прочего, проведенный опытный налив с напором 7,5 м и расходом воды 1 л/с.

3. Направляющее и нажимное устройство работает хорошо, однако, для выверки направляющей рамы необходимо измерительное приспособление.

4. Метод горизонтального водопонижения с применением пневмопробойника может быть эффективен для осушения грунтов (не имеющих крупных включений) по трассе щитовой проходки тоннелей. Годовой экономический эффект только для условий объекта "Коллектор р. Пресни" составляет 39 тыс. руб. Годовой экономический эффект от внедрения устройства для исследования свойств грунтов на объектах треста Горно-проходческих работ (ГПР-1) Главмосинжстроя составляет 213 тыс. руб.

ПОЛЕВАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННОГО ОПРОБОВАНИЯ СЛАБОПРОНИЦАЕМЫХ ГРУНТОВ

Некоторые из методов опытно-фильтрационного опробования грунтов были в августе 1982 г. применены совместно на одних и тех же гидрогеологических скважинах. К этим методам относятся опытные откачки (желонирование) из одиночных скважин, наливы воды в скважины, метод тяжелой жидкости (МТЖ), а также мгновенные наливы и наблюдения за восстановлением уровня.

Скважины были выбраны на объекте изысканий Укргипроводхоза "Байдарское водохранилище", расположенном в горной части Крыма. Все они заложены в аллювиальных грунтах, представляющих собою гравийно-галечные отложения с суглинистым, супесчаным и песчаным заполнителем. В зависимости от количества глинистых фракций в заполнителе коэффициенты фильтрации, м/с, колеблются здесь в пределах от десятых долей единицы до нескольких единиц. Метод тяжелой жидкости был опробован также на скважинах, расположенных на участке опытных прудов Межгорного водохранилища в Западном Крыму. Во всех случаях грунтовые воды были безнапорными.

Опытные откачки из одиночных скважин проведены на скв. № 30168, 30178, 30181, 30182, 30174. Откачки велись вручную при помощи желонки вместимостью 1 л с постоянным расходом до стабилизации уровня. Определение коэффициента фильтрации производилось по формуле (12).

Наливы в скважины № 30178, 30182 проведены с использованием автоцистерны при поддержании постоянного расхода подаваемой воды, также до стабилизации уровня воды в скважинах. Опыты проводились в две ступени. Определение коэффициента фильтрации велось по той же формуле, что и для откачек, но понижение S_0 бралось с обратным знаком. Как показывают расчеты, обе ступени понижения дают примерно одинаковые результаты.

Метод тяжелой жидкости (МТЖ) применен при опробовании скважин № 30168, 30178, 30174, 30181, 30182 (Байдарское водохранилище) и № 506 и 513(Межгорное водохранилище). Опыты проводились следующим образом.

В скважину погружалась поваренная соль в количестве 3–4 кг в мешочках из марли. Уровень воды измерялся с помощью уровнемера-хлопушки. Время, за которое уровень в скважине падал от статического до максимально низкого, фиксировался секундомером. Коэффициент фильтрации вычислялся по формуле (29).

Мгновенные наливы были проведены на тех же скважинах, что и наливы с постоянным уровнем (скв. № 30178 и 30182). Вода в скважину быстро наливалась из автоцистерны до заполнения всего ствола скважины, затем велось наблюдение за падением уровня. Подсчет коэффициента фильтрации производился по формуле (25) для несовершенной скважины в неограниченном потоке.

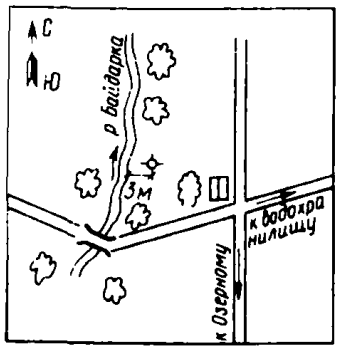
Наблюдения за восстановлением уровня воды после откачки проведены на скв. № 30168, 30178, 30181, 30182. Определение величин коэффициента фильтрации велось по формулам (14), (16).

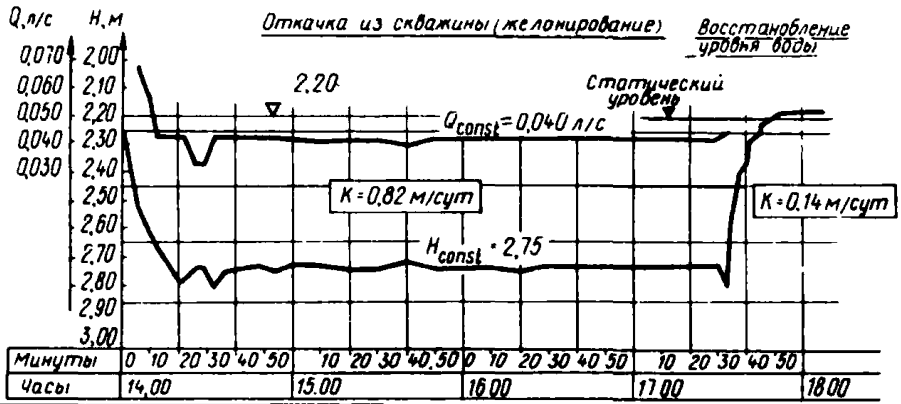
В случаях, когда был неизвестен дебит откачки, коэффициент фильтрации по кривой восстановления уровня вычислялся по формулам (21), (22).

Результаты опытно-фильтрационных работ приведены в сводной табл. 10 и на листах откачек рис. 14.

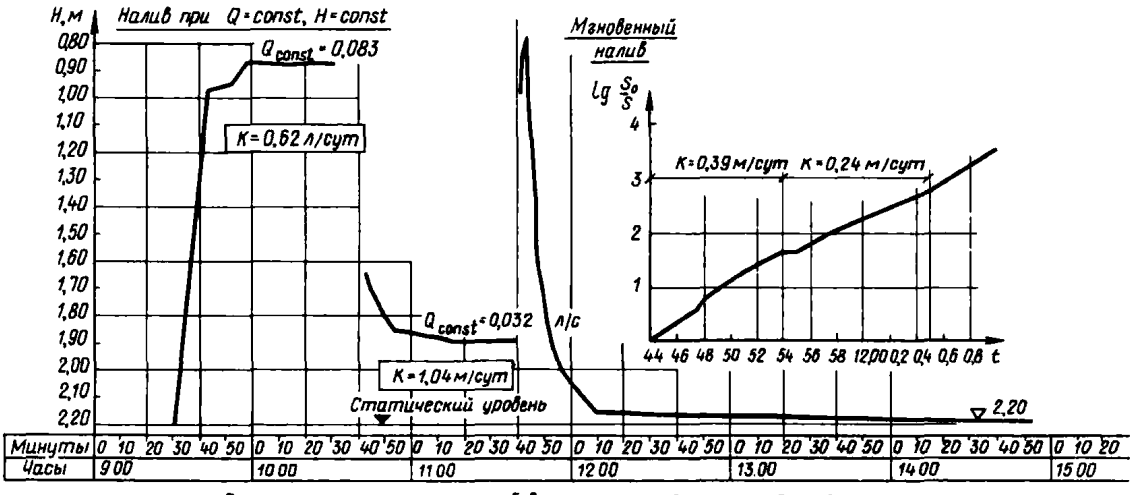
Как видим, наиболее близкие друг другу результаты обеспечиваются при достижении установившегося (точнее квазистационарного) режима течения. Хорошая сходимость результатов между опытными откачками и МТЖ показывает достаточную надежность последнего метода.

Схема расположения скважины № 30178





М1 100	Стратиграфическ. индекс	Глубина от поверхности	Мощность	Геологический разрез	Уровень воды	Описание слоев
1	Q_{al}	0,70	0,70			Дресва с суглинистым заполнителем (до 40%)
		1,20	0,50	66	▼1,48	Глина зеленовато-серая тугопластичная
2						Дресва, единичные щебенки, заполнитель глина туго пластичная
3						
4				152	▼4,42	
5		5,00	3,80			
		5,50	0,50			Глина буровато желтая тугопластичная
5	C_r	8,20	0,70	132		Глина аргиллитоподобная твердая выветренная
7						Глина аргиллитоподобная твердая
8		8,10	1,90			


H, м
Налив при Q = const, H = const
Q const = 0,083
K = 0,62 л/сут
Q const = 0,032
K = 1,04 м/сут
Статический уровень
Мгновенный налив
л/с
lg S0/S
K = 0,39 м/сут
K = 0,24 м/сут
t
2,20
Минуты
Часы

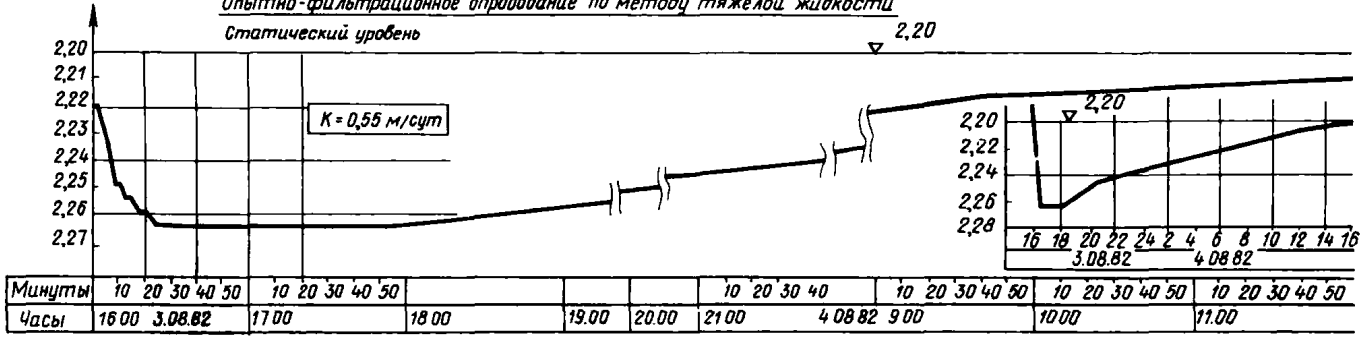
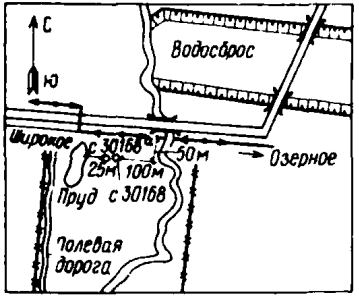
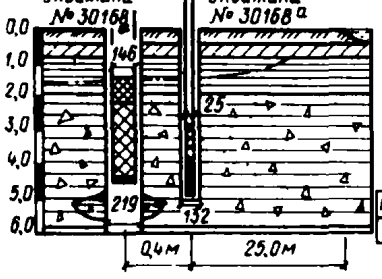

Опытно-фильтрационное опробование по методу тяжелой жидкости
Статический уровень
2,20
K = 0,55 м/сут
3.08.82
4.08.82
Минуты
Часы

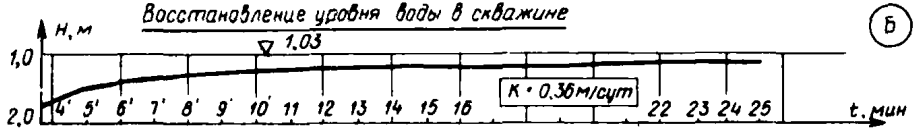
Схема расположения скважин №№ 30168 и 30168а



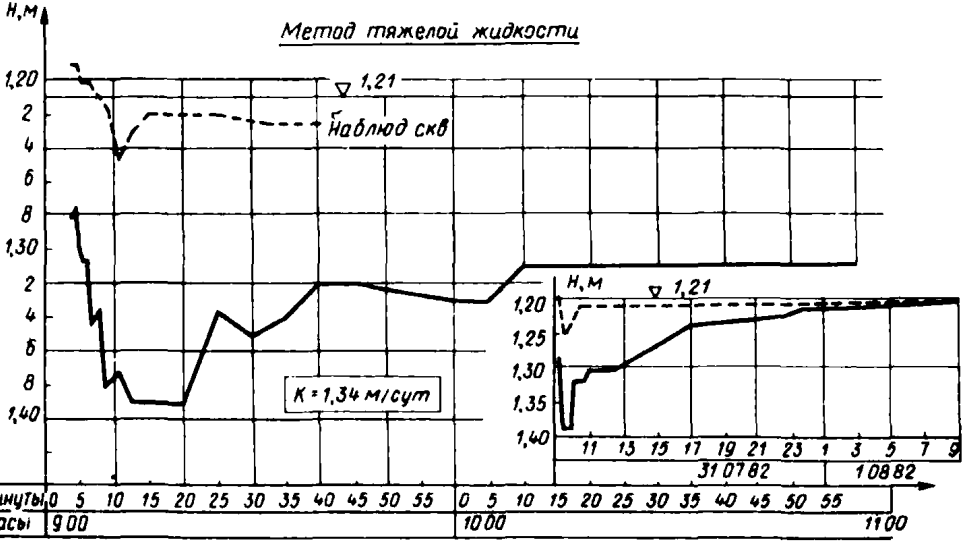
Геолого-литологический разрез и конструкция скважин

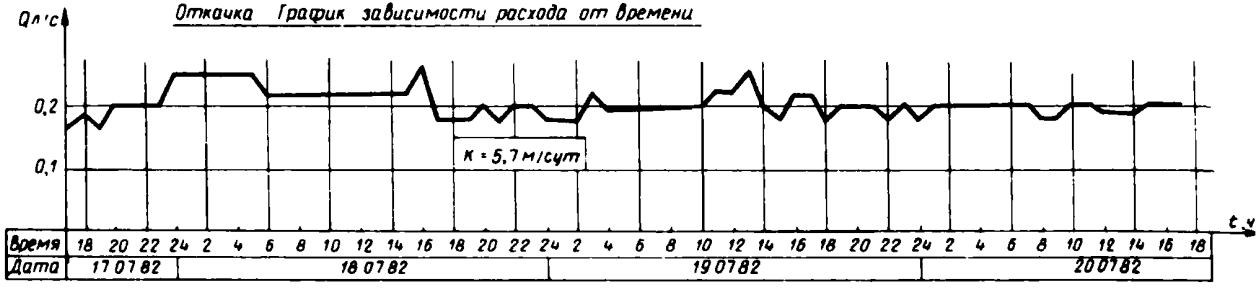


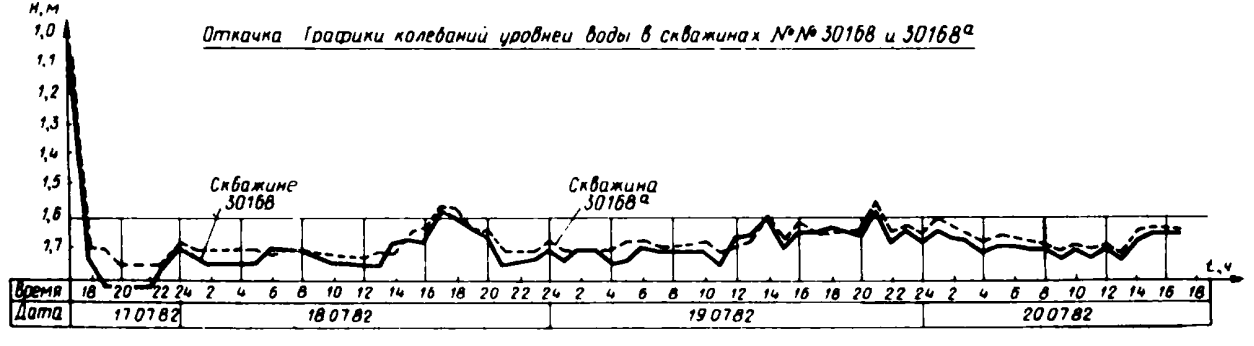
Восстановление уровня воды в скважине



Метод тяжелой жидкости

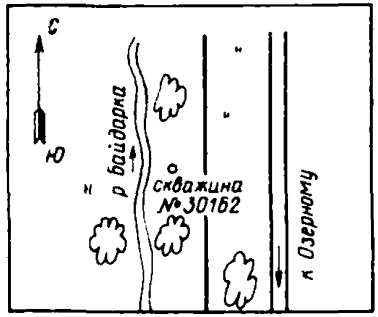



Откачка График зависимости расхода от времени
Q л/с
0,2
0,1
K = 5,7 м/сут
t, ч
Время 18 20 22 24 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 2 4 6 8 10 12 14 16 18
Дата 17 07 82 18 07 82 19 07 82 20 07 82

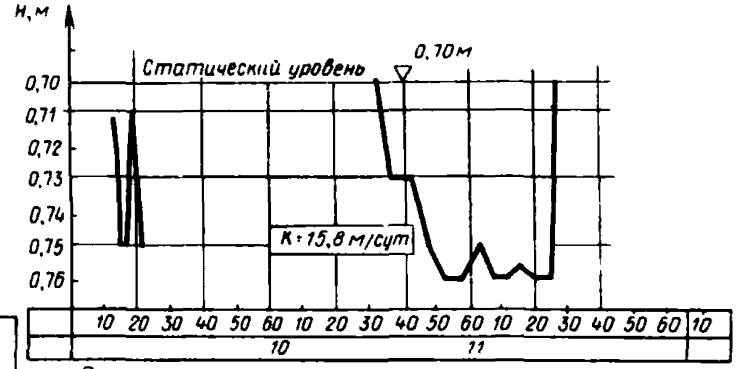

Откачка Графики колебаний уровней воды в скважинах №№ 30168 и 30168а
H, м
1,0
1,1
1,2
1,3
1,4
1,5
1,6
1,7
Скважине 30168
Скважина 30168а
t, ч
Время 18 20 22 24 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 2 4 6 8 10 12 14 16 18
Дата 17 07 82 18 07 82 19 07 82 20 07 82

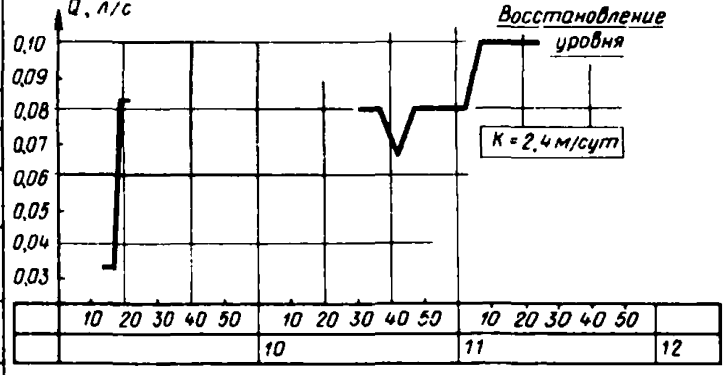
(В)

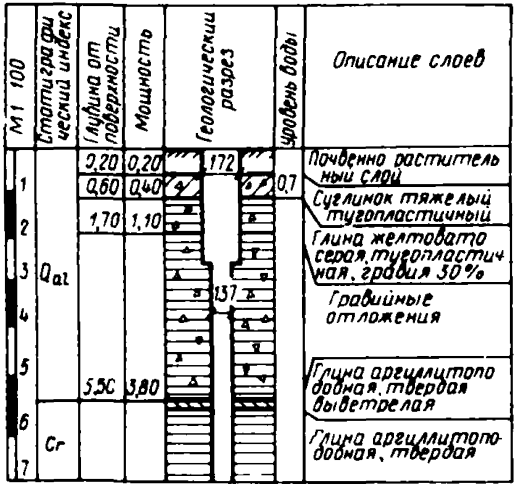
Схема расположения скважины № 30162



Откачка (желонирование)







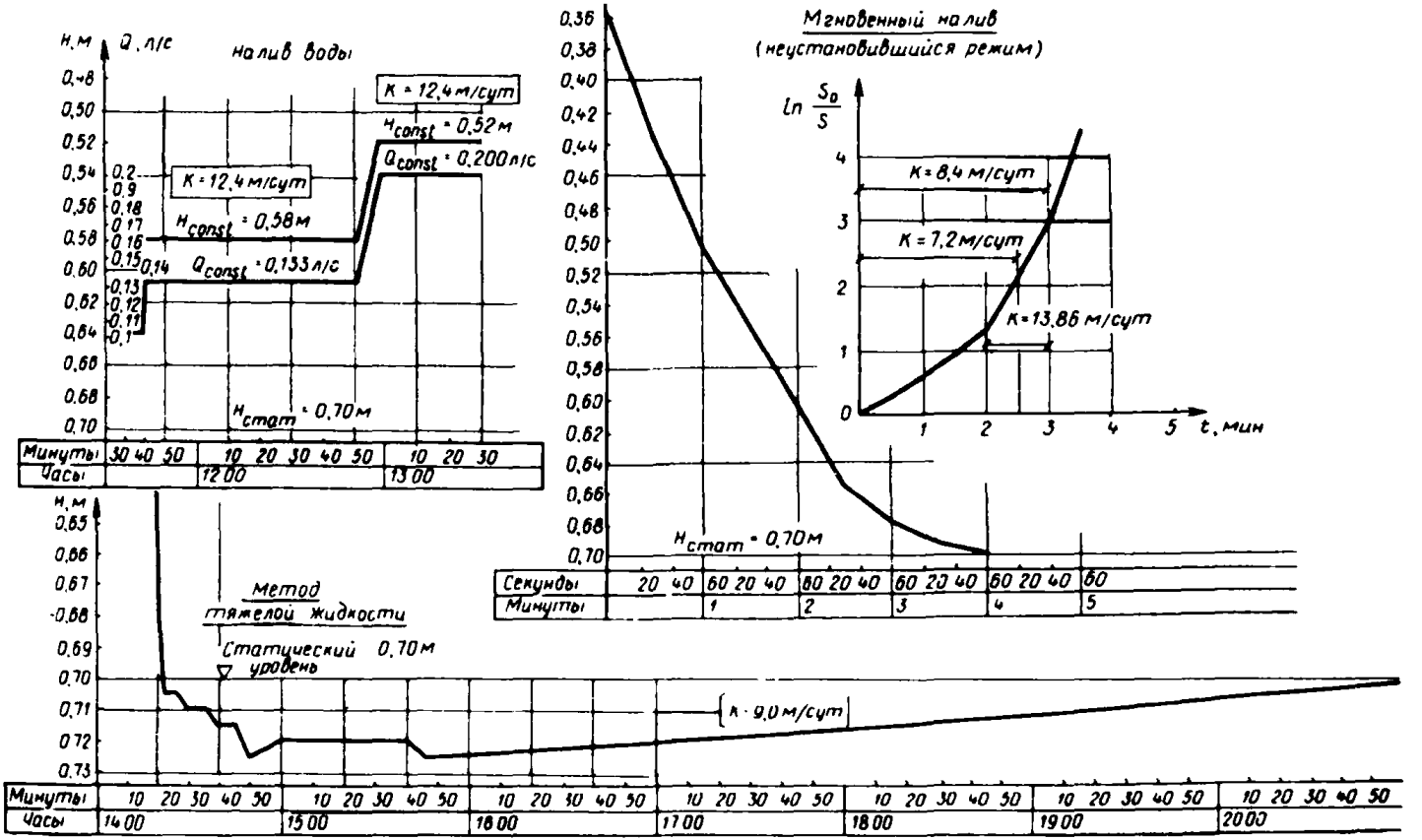


Рис.14. Результаты полевой оценки экспресс-методов опытно-фильтрационного опробования слабопроницаемых грунтов
А – скважина №30178, Б – скважина №30168, В – скважина №30182

Таблица 10. Результаты опытно-фильтрационных работ

№ скважины	Диаметр скважины, м	Глубина скважины, м	Статический уровень, м	Методы определения коэффициента фильтрации k, м/сут				
				откачки	наливы	мгновенные наливы	восстановление уровня	Метод "тяжелой" жидкости
30168	0,065	5,00	0,49	5,7	–	–	0,3	1,3
30182	0,17	2,20	0,70	15,8	12,4	8,4	2,4	9,0
30181	0,165	2,47	0,60	20,2	–	–	4,1	23,6
30178	0,065	4,48	1,48	0,82	0,80	0,4	0,1	0,6
30174	0,065	3,24	0,53	0,25	–	–	0,3	0,6
506	0,065	5,50	3,00	–	–	–	–	4,4
513	0,065	8,00	4,13	–	–	–	–	0,2

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочное руководство гидрогеолога, т. 1, 2. Под ред. В.М. Максимова. – Л.: Недра, 1979.

2. Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости. ГОСТ 23278–78. М.: Госстрой СССР, 1979.

3. Боревский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек, М.: Недра, 1979.

4. Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород. Под ред. Н.Н. Веригина. – М.: Недра, 1977.

5. Опытно-фильтрационные работы. Под ред. В.М. Шестакова, Д.Н. Башкатова, – М.: Недра, 1974.

6. Изыскания и защита от подтопления на застроенных территориях. Под ред. Р.А. Смирнова. – Киев: Будівельник, 1976.

7. Арцев А.И. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования для водоснабжения и водоотведения. – М.: Недра, 1979.

8. Рекомендации по применению метода тяжелой жидкости для определения коэффициента фильтрации слабопроницаемых грунтов. – М.: Стройиздат, 1983.

9. Анатольевский П.А., Разумов Г.А. Горизонтальные водозаборные скважины. – М.: Недра, 1979.

10. Методическое руководство по обоснованию и комплексированию современных методов исследований при гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1:50 000 для целей мелиорации. Вып. 1У. – М.: Недра, 1979.

11. Павловец И.Н. Активная зона фильтрации и ее роль при расчетах горизонтального дренажа. Экспресс-информация, вып. № 11, серия "Гидрогеология и инженерная геология". – М.: ВИЭМС, 1979.

12. Перцовский В.В., Чаповский А.Е. Экспериментальное исследование неоднородности горных пород в плане. Разведка и охрана недр, № 1, 1972.

13. Керкис Е.Е. Методы изучения фильтрационных свойств горных пород. – Л.: Недра, 1978.

14. Абрамов С.К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. – М.: Стройиздат, 1973.

15. Устройство ударного действия для пробивания скважин в грунте. Авт. св. № 1036858. Бюл. изобр. № 31, 1983.

16. Устройство для образования скважин в грунте. Авт. св. № 1040064. Бюл. изобр. № 33, 1983.

17. Устройство для проходки скважин в грунте. Авт. св. № 988988. Бюл. изобр. № 2, 1983.

18. Устройство для образования скважин в грунте. Авт. св. № 485200. Бюл. изобр. № 35, 1975.

19. Устройство для исследования свойств грунтов. Авт. св. № 492789. Бюл. изобр. № 43, 1975.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
1. Задачи инженерно-гидрогеологического обоснования дренажа подтопленных территорий 4
2. Гидрогеологические характеристики, применяемые при расчете защитного дренажа 5
3. Основные методы опытно-фильтрационного опробования грунтов 9
4. Экспресс-методы определения гидрогеологических параметров . 11
Экспресс-откачки 11
Экспресс-наливы 12
Метод тяжелой жидкости 12
Метод направленных фильтров 13
5. Определение фильтрационного питания пласта по данным режимных наблюдений 16
6. Оценка гидрогеологических параметров по эксплуатационным характеристикам действующих дренажей 16
7. Обоснование размеров (по глубине) расчетной области фильтрации подземных вод к дренажным сооружениям 20
8. Оценка необходимости учета плановой фильтрационной неоднородности области дренирования 27
Приложение 1. Опытно-фильтрационное опробование слабопроницаемых грунтов на застроенных территориях с применением метода направленных фильтров 33
Область применения и сущность метода 33
Описание технических средств 33
Методика и технология проведения опытно-фильтрационных работ 37
Расчеты величины коэффициента фильтрации для различных схем расположения фильтра 38
Опытно-промышленное внедрение метода 42
Приложение 2. Полевая оценка некоторых методов опытно-фильтрационного опробования слабопроницаемых грунтов 45
Литература 53

Нормативно-производственное издание

ПНИИИС Госстроя СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ВЫБОРУ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СПОСОБА ДРЕНИРОВАНИЯ ПОДТОПЛЕННЫХ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Редакция инструктивно-нормативной литературы

Зав. редакцией *Л.Г. Бальян*
Редактор *Н.А. Шатерникова*
Мл. редактор *О.Я. Крачун*
Технический редактор *Е.Н. Ненарокова*
Корректор *Е.Р. Герасимюк*
Оператор *Е.В. Кожухова*

Н/К

Подписано в печать 19.08.86 Т-13563 Формат 84x108/32
Бумага кн журн. Печать офсетная Усл. печ. л. 2,94 Усл.кр.-отт. 3,15
Уч.-изд.л. 4,03 Тираж 5000 экз. Изд. № ХП-1246 Заказ № 2032
Цена 20 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Типография № 4 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
129041, Москва, Б. Переяславская ул., 46.

gost.e-ecolog.ru