

**ИНСТРУКЦИЯ**  
**ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ВОДОПРОВОДИМОСТИ**  
**ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ**  
**ОПЫТНЫХ НАГНЕТАНИЙ**

*Составил Г. Н. Каменский*

**ГОСГЕОЛИЗДАТ**  
**1946**

**ИНСТРУКЦИЯ**  
**ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ВОДОПРОВОДИМОСТИ**  
**ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ**  
**ОПЫТНЫХ НАГНЕТАНИЙ**

*Составил Г. Н. Каменский*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МИНИСТЕРСТВА ГЕОЛОГИИ СССР  
МОСКВА 1946 ЛЕНИНГРАД

## В в е д е н и е

**ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ОПЫТНОГО  
НАГНЕТАНИЯ КАК МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ  
ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД**

Испытание водопроницаемости горных пород нагнетанием или наливом воды в буровые скважины, а также опытной инфильтрацией в шурфах занимает важное место среди других методов исследования фильтрационных свойств пород.

Опытное нагнетание является (наряду с откачками) основным методом для испытания водопроницаемости скальных трещиноватых пород и единственным методом для испытания неводоносных пород. Опытное нагнетание, как метод исследования водопроницаемости, обеспечивает сохранение естественной структуры и естественных условий залегания испытуемых пластов пород с их трещиноватостью, пористостью и другими природными особенностями, влияющими на фильтрационные свойства скального массива в целом.

Основные отличия опытного нагнетания от других методов исследования фильтрационных свойств пород (налив, инфильтрация и откачка) видны из нижеследующих определений, характеризующих условия применения того или иного метода:

1. Опытное нагнетание воды в буровую скважину производится для испытания водопроницаемости вскрытых скважиной пород с применением специальных установок (тампонирующие устройства), позволяющих нагнетать воду в намеченный для испытания участок скважины под достаточно высоким давлением (до нескольких атмосфер). Последнее создается путем нагнетания насосом или напорным трубопроводом из резервуара, расположенного на некоторой высоте над устьем скважины. В результате нагнетания определяется водопоглощение, а иногда и величина коэффициента фильтрации.

2. Налив воды в скважину представляет собой то же нагнетание, но без применения установок, создающих высокое давле-

ние в опытной системе. При наливе действующий напор ограничивается высотой столба воды в скважине и обычно не превышает нескольких метров над статическим уровнем.

3. Опытная инфильтрация производится для исследования фильтрационных свойств преимущественно неводоносных пород-суглинков, лёссов, супесей. Испытание производится в шурфах или в специально устроенных для этой цели котлованах. В последние подается без напора вода, уровень которой поддерживается на высоте от нескольких сантиметров до нескольких метров над дном шурфа или котлована.

4. Опытные откачки являются основным методом исследования водоносных пород и в результате дают величину дебита или производительности водоносного пласта и коэффициента фильтрации породы.

Опытное нагнетание вошло в инженерно-геологическую практику сравнительно недавно. Одним из первых применил нагнетание для исследования трещиноватых пород профессор Лозаннского университета М. Люжон (Lugeon), известный своей многолетней работой геолога-консультанта в области гидротехнического строительства [4].

Применявшийся им метод нагнетания он называл методом „нисходящих зон“. По этому методу испытание производится по зонам или участкам через каждые 5 м, идя сверху вниз (описание этого метода см. ниже).

В результате испытаний для каждой зоны Люжон вычислял водопоглощение, т. е. количество поглощенной воды на 1 пог. м скважины под определенным давлением.

Полученные данные опытного нагнетания (по Люжону) решают вопрос, надо ли производить цементацию трещиноватой скалы для уменьшения ее водопроницаемости и на какую глубину. По норме, установленной Люжоном, для плотин высотой более 30 м, количество поглощающей при нагнетании в скальное основание воды не должно превышать 1 л/мин. на 1 пог. м скважины при давлении 10 атм, поддерживаемом в течение 10 мин. Для плотин высотой ниже 30 м можно удовлетвориться водопоглощением 3 л/мин. [4, стр. 75—76].

В СССР опытное нагнетание применялось впервые на Волховстрое для исследования водопроницаемости силурийских известняков в основании плотны, а также для испытания качества цементации скального основания плотины и берегового известнякового массива в месте примыкания последней.

На Днепрострое опытные нагнетания составили одну из важнейших задач инженерно-геологического исследования гранитного основания плотны. Здесь производились нагнетания как в одиночные скважины в целях определения водопоглощения, так и в скважины опытных участков—для исследования поронки повышения уровня воды и определения коэффициента фильтрации.

Испытания производились по зонам, для изоляции которых

применялось сконструированное на этих работах тампонирующее устройство, получившее название „Днепрострой“.

Далее следует отметить работы по нагнетанию на р. Сулак, произведенные во время инженерно-геологических изысканий под сооружения высоконапорной гидроэлектрической станции в Черкейском ущелье. Здесь испытанию были подвергнуты известняки и другие породы юрской и меловой систем.

Результаты этих работ, выполненных под руководством Е. Е. Керкиса и описанных им, дали интересные выводы, имеющие существенное значение для усовершенствования методики нагнетаний. Особенно ценными являются данные для сравнения точности участковых и суммарных нагнетаний, позволяющие оценить степень точности тех и других.

Дальнейшее развитие методика опытных нагнетаний получила на инженерно-геологических исследованиях под гидростанцию на р. Чусовой, где была разработана новая, более совершенная конструкция тампонирующего устройства „Вашкур“, позволяющая измерять уровни воды в скважине после установки тампона, чего нельзя делать при употреблении тампона типа „Днепрострой“.

В позднейшее время наиболее крупные работы по нагнетанию были проведены при изысканиях под сооружения Куйбышевского гидротехнического узла, проектируемого на Волге у Самарской Луки в области развития трещиноватых и закарстованных известняков и доломитов верхнего палеозоя (карбон—пермь). Аналогичные работы проводились также в других местах долины Волги и Камы.

К сожалению, материалы этих работ не были опубликованы. В печати имеется лишь статья В. И. Батыгина и В. П. Павлова, в которой сделано ценное обобщение результатов работ по производству нагнетаний на Самарской Луке в районе с. Переволок, вносящее оригинальные новые дополнения в методику опытного нагнетания [1].

В районе Куйбышевского гидроузла выявилось существенное осложнение в проведении работ по нагнетанию ввиду возникающих дополнительных гидравлических сопротивлений в системе нагнетательных труб и тампонов при большом расходе воды. Это явление имело место при испытании сильно трещиноватых и закарстованных известняков и доломитов. В некоторых опытных скважинах в долине р. Волги на площадке под плотину и гидростанцию нагнетание производилось с расходом воды 5—6 л/сек., а в отдельных скважинах—при расходе до 10 л/сек. При этом удельное водопоглощение, т. е. поглощение воды, вычисленное на 1 пог. м при 1 м давления, доходило до 8 л/мин. и более.

При оценке полученных результатов нагнетания, в случае большого расхода воды, нельзя пренебрегать гидравлическим сопротивлением в трубах, возникающим вследствие небольшого диаметра последних.

Подсчеты сопротивления движению воды в трубах по обычным формулам гидравлики, при большом расходе воды, дали величины потерь напора порядка 20—30 м и более, что составляло значительную долю от суммарного действующего в нагнетательной системе давления. Таким образом, при нагнетании в сильно проницаемые породы необходимо учитывать потери напора на сопротивление движению воды в трубах. Для избежания этих осложнений следует внести соответствующие дополнения в виде новой конструкции тампона, позволяющего измерить давление воды непосредственно в испытуемом участке скважины.

Такое тампонирующее устройство вновь сконструировано С. А. Коль [6] и описано вместе с другими новыми типами тампонов и приборов для нагнетания в его рационализаторском предложении „Приборы для нагнетания воды в буровые скважины“.

В случае невозможности воспользоваться таким тампонирующим устройством, определение гидравлических сопротивлений нагнетательной системы следует производить опытом, так как применение существующих формул для расчета гидравлических сопротивлений в трубах не дало удовлетворительных результатов. В крайнем случае при больших водопоглощениях можно рекомендовать пользоваться тампонами и трубами возможно большего диаметра.

Заканчивая обзор развития методики опытного нагнетания следует отметить, что этот метод в советской практике получил широкое применение для разрешения нижеследующих задач:

1. Испытание водопроницаемости трещиноватых скальных пород в целях решения вопроса о цементации скального основания под сооружения, что было введено в практику еще Люжоном.

2. Проверка качества цементации скалы, для чего на участке цементированного скального основания сооружения закладываются контрольные скважины, в которые производится нагнетание.

3. Массовые опробования трещиноватых пород при выборе мест под основания проектируемых сооружений. В этом случае опытное нагнетание производится в целях получения данных для сравнительной оценки различных слоев и участков исследуемого массива скальных пород, а также для количественной характеристики трещиноватости и водопроницаемости скалы и выявления худших участков в отношении проницаемости и трещиноватости. При этом в целях количественного выражения результатов испытания водопроницаемости нагнетанием (что очень важно для сравнительного изучения скальных массивов неоднородного строения) принято вычисление удельного водопоглощения, т. е. поглощения на 1 пог. м скважины при 1 м действующего напора, что выражается следующей формулой:

$$W = \frac{Q}{l \cdot H}$$

где  $W$  — удельное водопоглощение в л/мин на 1 пог. м,  
 $Q$  — общее поглощение в л/мин,  
 $l$  — длина испытуемой зоны в м,  
 $H$  — действующий напор в м

4. Определение коэффициента фильтрации для скальных трещиноватых пород, как водоносных, так и неводоносных.

Для последней цели используются данные опытных нагнетаний в одиночные скважины, а иногда и в скважины опытных систем с наблюдательными скважинами. Для вычисления коэффициента фильтрации трещиноватых пород применяются различные формулы (Дюпюи, Фархгеймера, Смрекера, Шези-Краснопольского), подобно тому как и при пересчете данных опытных откачек. Насколько надежны результаты определения коэффициента фильтрации по опытным нагнетаниям и в какой мере они соответствуют действительности, или по крайней мере определениям водопроводимости по опытным откачкам, практикой еще не проверено. Поэтому определение коэффициента фильтрации опытным нагнетанием надо применять с осторожностью, с особо тщательной постановкой опыта и внимательным учетом местных гидрогеологических условий.

5. Определение производительности водоносных пластов чаще осуществляется путем нагнетания воды в скважину без искусственно создаваемого высокого напора, т. е. путем налива.

Опытные нагнетания применяются преимущественно для исследования водопроницаемости скальных горных пород при изысканиях под строительство гидротехнических сооружений на скальных основаниях.

Среди пород, с которыми приходится иметь дело при опытных нагнетаниях, особо надо выделить известняки и доломиты, трещиноватость и водопроницаемость которых сравнительно с другими породами достигает во многих случаях наибольших размеров.

Причиной высокой водопроницаемости известняков и доломитов является их способность подвергаться карстованию и выветриванию, что приводит к раздробленности и кавернозности пород. Неравномерное развитие трещиноватости, карстообразования и выветривания приводит обычно к неоднородности оснований, сложенных этими породами, и тогда необходимо проведение противофильтрационных мероприятий в виде цементации отдельных зон и участков путем нагнетания цементного раствора или битумизации для создания непроницаемых завес.

В практике отмечаются случаи исследования нагнетанием и других трещиноватых пород, как, например, гранитов (на Днепрострое).

Рыхлые, нецементированные обломочные и зернистые породы (супеси, галечники, пески, суглинки, глины) опытным нагнета-

нием обычно не исследуются, хотя такое исследование их также возможно. Для этого типа пород в большей степени применяются другие способы: опытные откачки, лабораторные исследования, а для ненасыщенных водой глинистых грунтов — опыты по инфильтрации в шурфах или котлованах.

## Глава I

### СПОСОБЫ НАГНЕТАНИЯ И ПОРЯДОК ИСПЫТАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ (ЗОН, СЛОЕВ) ИССЛЕДУЕМОЙ ТОЛЩИ ПОРОД

#### § 1. Участковые и суммарные нагнетания и соотношения их с процессом бурения опытных скважин

В зависимости от последовательности испытания нагнетанием отдельных участков исследуемой толщи и пород, вскрытых опытной скважиной, и соотношения порядка производства испытаний с процессом бурения различают следующие способы нагнетания:

1) участковое нагнетание в процессе бурения опытной скважины в нисходящей последовательности (метод нисходящих зон Люжона),

2) участковое и суммарное нагнетание при постоянном положении ординарного тампона на верхней границе исследуемой толщи при постепенном наращивании последней по мере углубления скважины,

3) суммарное нагнетание в скважину, законченную бурением, с переменным положением ординарного тампона и постоянным забоем,

4) нагнетание в отдельные участки или зоны скважины, законченной бурением, в восходящем порядке с изоляцией сверху ординарным тампоном и с последовательной цементацией опробованных участков,

5) участковые нагнетания с изоляцией испытуемых интервалов или зон двойными тампонами.

#### § 2. Участковые нагнетания в процессе бурения по методу «нисходящих зон» Люжона

1. Нагнетание по этому методу производится по участкам длиной около 5 м, в нисходящем порядке, по мере углубления скважины. Сначала скважина пробуривается до глубины нижней границы первого участка, положение которого намечается заранее. Намеченный участок изолируется сверху ординарным тампоном и испытывается нагнетанием воды. Затем в этот же участок нагнетается цементный раствор. По затвердении цемента через него пробуривают следующие 5 м в скале и подготавли-



вают следующую секцию для нагнетания. Затем снова проводят испытание водой и опять нагнетают цементный раствор. Повторяя вышеописанные операции, испытывают все намеченные к опробованию участки исследуемой толщи пород.

2. Описанный способ Люжона (в особенности последовательная цементация опробованных зон) предохраняет от погрешностей в испытании нагнетанием, происходящих из-за утечки воды в соседние участки, если последние остаются не зацементированными. Такая утечка приобретает существенные размеры при относительно сильной трещиноватости скалы и особенно при наличии вертикальных трещин, создающих гидравлическую связь смежных зон, разделяемых тампоном.

Неудобства этого способа заключаются также в том, что он представляет собой сложный комплекс операций (бурение, нагнетание и цементация), выполняемых последовательно для каждой зоны, что задерживает на опытной скважине три комплекта соответствующего оборудования. Поэтому способ Люжона довольно тяжел для выполнения и применять его следует только в случаях, когда отмеченная выше опасность вертикальной гидравлической связи действительно угрожает точности опыта и когда она не может быть устранена другими способами.

3. Иногда испытание по нисходящим зонам в процессе бурения проводят без цементации опробованных зон, ограничиваясь лишь изоляцией ординарным тампоном сверху для каждого вновь пробуренного участка одной и той же длины.

В начале испытания пробуренного очередного участка скважины рекомендуется ставить тампон на забое скважины для отдельного испытания водопоглощения одного забоя.

В случае участкового испытания без последующей цементации опробованных зон результаты нагнетания могут оказаться преувеличенными вследствие указанной выше причины.

Для оценки относительной ошибки в определении водопоглощения, получающейся после опробования всех отдельных участков скважины, тампон устанавливается вверх на границе первого участка, и во всю исследованную ранее по отдельным зонам толщу пород производится суммарное нагнетание. Проверка суммарным нагнетанием невозможна в том случае, когда участковое нагнетание производилось с последующей цементацией опробованных участков.

4. В описанном способе нагнетания в отдельные участки в процессе бурения должны быть отмечены следующие недостатки:

1) большая задержка буровых работ, прерываемых на время испытания каждого участка,

2) простой оборудования при чередовании отдельных операций—бурения, нагнетания, цементации;

3) в случае применения цементация невозможность использования скважин после производства нагнетания для стацио-

нарных наблюдений за режимом грунтовых вод и других целей;

4) невозможность в зацементированной скважине проводить проверку суммарным нагнетанием.

### **§ 3. Нагнетание в процессе бурения при постоянном положении тампона на верхней границе исследуемой толщи**

1. В процессе бурения на верхней границе исследуемой толщи пород закрепляется тампон, место для которого выбирается по наиболее плотному керну. Тампон выбирается достаточно большого диаметра для того, чтобы через него можно было продолжать бурение скважины. Обычно в данном случае применяется тампон типа „Вашкур.“

Иногда вместо тампона изоляция испытуемой толщи достигается установкой на верхней границе толщи патрубка с тампоном; его на месте цементом и наращиванием труб до дневной поверхности. Углубив после установки тампона скважину на глубину первого намеченного к испытанию участка, прерывают бурение (по возможности забой скважины доводится до плотного пласта породы, о чем судят по получаемому керну). Удалив из скважины буровую гарнитуру, через установленный ранее тампон производят нагнетание. После опробования первого участка углубляют скважину на глубину второго участка и снова производят нагнетание через тот же тампон, причем поглощение происходит суммарно обоими участками. Далее пробуривают третий участок и нагнетают суммарно в колонну трех участков.

Таким путем производится испытание суммарным нагнетанием постепенно наращивающегося в процессе бурения ствола скважины.

2. Достоинства описанного способа заключаются в следующем:  
1) постоянное положение тампона в течение всего процесса бурения и испытания скважины нагнетанием, что предохраняет от неточностей опытов, связанных с перестановками тампонирующего устройства;

2) возможность помимо суммарных испытаний произвести в случае надобности испытания участков, для чего лишь потребует установка дополнительного сдвоенного тампона на желательную глубину.

3. Условия применения описанного метода суммарного нагнетания показывают, что он пригоден лишь для пород, достаточно плотных, сохраняющих устойчивые стенки скважины на всю мощность исследуемой толщи и не требующих крепления обсадными трубами.

4. Недостатки описанного способа следующие:

1) потеря времени и простой оборудования в связи с необходимостью чередования процессов бурения с нагнетанием;

2) невозможность учета утечки воды в забой скважины;

3) недостаточная четкость в определении водопоглощаемости отдельных участков;

4) необходимость в случае высокой водопроницаемости скалы чрезмерного увеличения подачи воды и создания в системе труб большой скорости, ведущей к большому развитию вредных гидравлических сопротивлений.

При очень больших водопоглощениях суммарное нагнетание становится невозможным.

#### **§ 4. Суммарные и участковые нагнетания в скважину, законченную бурением, с переменным положением тампона и постоянным забоем**

1. Скважина, назначенная к опробованию, проходится на полную глубину, причем забой останавливается по возможности в плотной породе.

По геологическому разрезу скважины и по выбуренному керну намечаются участки для производства нагнетания, а также места для закрепления тампонов, выбирая их соответственно плотности керна.

Опробование, как правило, начинают снизу, обжимая тампон на верхней границе первого нижнего участка.

Следующее опробование проводится суммарно для двух нижних участков. Так, опробуется суммарным нагнетанием вся скважина с постепенным включением в восходящем порядке новых участков. Последнее опробование охватывает суммарно всю намеченную к испытанию толщу.

Частная характеристика водопоглощаемости по зонам, как и в описанном выше случае, получается по разности из отдельных суммарных нагнетаний.

2. Описанный способ, как и другие способы суммарного нагнетания, имеет недостатки в отношении возможности больших величин расходов воды и недостаточной четкости оценки водопоглощаемости отдельных зон.

#### **§ 5. Нагнетание в отдельные участки скважины законченной бурением, в восходящем порядке с последующей цементацией опробованных зон**

1. Скважину проходят без остановки на полную проектную глубину. По разрезу и кернам намечают участки или зоны для опробования длиной в среднем около 5 м.

Опробование начинается с нижнего участка, для чего последний изолируется сверху ordinary тампоном.

После испытания нагнетанием воды тампонирующее устройство извлекается из скважины и опробованный участок цементируется путем нагнетания густого цементного раствора или же бетоном, а иногда пластичной глиной.

Затем опробуется второй снизу участок таким же путем

с последующей цементацией или тампонажем. Таким путем в восходящем порядке подвергаются испытанию с последующим тампонажем все участки скважины.

2. Данный способ, как и способ Люжона, обеспечивает от утечки воды в соседние зоны, но с меньшей надежностью. При участковом испытании по Люжону зона зацементированной скалы располагается сверху над испытуемым участком и тампон обжимается в скважине, пробуренной через цементную пробку. В описываемом способе зацементированная зона помещается внизу, а сверху над испытуемым участком остается пустая скважина в скале с естественной трещиноватостью. Наиболее опасная утечка воды вверх через вертикальные трещины в обход тампона здесь не исключается; кроме того, тампон обжимается в нецементированной скважине с натуральными стенками, которые помимо некоторой нарушенности в начале бурения обычно еще больше разрушаются в процессе проведения опытов. Поэтому данный способ, хотя и обладает рядом достоинств, но по качеству испытания уступает способу Люжона.

Некоторым преимуществом описанного способа является то, что бурение проводится в скале без перерыва на полную глубину и буровой комплект не задерживается при нормальных условиях производства работ.

Рассмотренный способ, как и первый из вышеописанных, находит применение преимущественно в сильно трещиноватых породах, когда водопоглощение при суммарном опробовании превышает мощность насосной установки и когда возникает опасность утечки воды в нижние опробованные зоны.

#### **§ 6. Участковое нагнетание с изоляцией испытуемых участков сдвоенными тампонами**

1. Намеченные для исследования нагнетанием участки пробуренной скважины испытываются каждый в отдельности, для чего применяется специальное тампонирующее устройство из сдвоенных тампонов типа „Вашкур“ (описание см. ниже, глава II). Этими тампонами испытуемый участок изолируется от соседних снизу и сверху.

2. Испытание с помощью сдвоенных тампонов позволяет исследовать вскрытую скважиной толщу пород с любой детальностью, выделяя любые участки. При этом получается возможность охарактеризовать в отношении водопоглощаемости все опробованные зоны исследуемой толщи.

Этот способ удобен также в случае большого водопоглощения, допуская возможность ограничивать размеры испытуемых интервалов, т. е. уменьшать расходы воды до доступных желательных пределов.

3. Наряду с указанными преимуществами данный способ обладает некоторыми существенными недостатками, из которых главным является преувеличенное определение водопоглощения

по причине утечки воды в соседние зоны скалы и в соседние участки скважины.

При участковом нагнетании способом сдвоенных тампонов могут произойти также существенные погрешности испытания из-за невозможности контролирования герметичности обжатия нижнего тампона. Последний, в случае несовершенства изоляции снизу испытываемого участка, может пропускать воду в нижнюю часть скважины, способа же обнаружить эту утечку не имеется. Размер неточности участкового испытания можно установить контрольным опробованием скважины суммарным нагнетанием.

## **§ 7. О выборе способа, порядка нагнетания и участков для установки тампонов**

1. Каждый из описанных выше способов имеет свои достоинства и недостатки, проявляющиеся различно в тех или иных геологических условиях. Выбор способа нагнетания должен быть основан на учете ряда факторов, из которых особенно надо учесть: а) геологическое строение и степень трещиноватости исследуемого массива, б) конструкцию проектируемого сооружения и требования проектирующей группы, в) технико-экономические соображения и т. п.

2. В практике изысканий под гидротехническое строительство за последние годы широко распространилось участковое нагнетание с помощью сдвоенных тампонов, однако признать этот способ за наилучший нельзя ввиду указанных выше недостатков.

Крупнейшим недостатком нагнетания в отдельные участки ограниченной длины является неточность испытания, получающаяся вследствие фильтрации воды в выше- и нижележащие зоны, а также связи испытываемого участка с другими частями ствола скважины, отделенными от данного участка тампонами. При наличии этой связи (имеющей место при достаточном развитии вертикальных трещин) фильтрация в соседние зоны трещиноватой скалы и в соседние части скважины должна принимать относительно большие размеры, а в общем нагнетание в испытываемый участок дает преувеличенные результаты.

Эта погрешность совершенно определенно выявляется контрольным суммарным нагнетанием, при котором указанный выше излишний расход на фильтрацию в соседние зоны и в обход тампонов в значительной мере устраняется; при суммарном нагнетании эта фильтрация остается лишь в забое и в области одного тампона, изолирующего скважину сверху.

Поэтому сопоставление результатов участковых нагнетаний с суммарным показывает, как правило, значительное преувеличение первых. Например, по опытам Керкиса на Сулаке сумма водопоглощений при нагнетаниях в отдельные участки скважин превышает общее водопоглощение той же скважины при суммарном нагнетании в несколько раз.

Для 13 испытанных скважин в Черкейском ущелье это отно-

шение, подсчитанное Керкисом, колеблется в пределах от 1,20 до 27,10 с преобладающими значениями от 2 до 5, причем оно заметно возрастает с увеличением числа интервалов участковых нагнетаний.

Эти факты говорят о том, что способ участковых нагнетаний дает преувеличенные величины водопоглощения, поэтому применять его следует главным образом на сравнительное исследование различных слоев и зон изучаемой толщи скальных пород и на выявление относительно более трещиноватых и проницаемых зон, подлежащих цементации.

3. Учитывая особенности фильтрации воды при нагнетании в отдельные участки скважины, вскрывающей в целом проницаемую толщу, следует для получения сравниваемых между собой результатов нагнетания выделять участки для испытания одинаковой длины, тогда погрешности, присущие участковому испытанию, в отдельных испытаниях будут примерно одинаковыми.

На основании изложенных выше данных Е. Е. Керкис пришел к выводу, что „производство испытаний скважин по участкам с помощью ординарного тампона, перемещаемого через определенные интервалы вверх и вниз вдоль скважины, является неправильным ввиду того, что для каждого положения тампона испытываемые интервалы имеют различное протяжение.“ [3, стр. 128].

Следовательно, из описанных выше способов нагнетания, упомянутый Керкисом способ испытания скважин с помощью ординарного тампона, а также испытание в процессе бурения при постоянном положении тампона сверху и при переменном забое являются в данном отношении дефектными, так как в случае сильно трещиноватой скалы эти способы дают преувеличенные результаты, сравнение которых между собой сопряжено с погрешностями или неточностями, зависящими от различия длины участков.

Более точными с этой точки зрения являются способы нагнетания в участки одинаковой длины в процессе бурения или в законченной бурением скважине с последующей цементацией опробованных участков. Наиболее надежные результаты дает первый, т. е. участковое нагнетание в процессе бурения с последовательной цементацией опробованных зон,—но этот способ является наиболее трудным для выполнения и наиболее дорогостоящим.

4. В некоторых случаях при испытании одной и той же скважины, возможно комбинирование двух способов, один из которых считается основным, а другой—подсобным.

5. В соответствии с выбранными способами нагнетания разрабатывается план опробования отдельных скважин с наметкой участков для опробовки и мест закрепления тампонов.

Участки, по возможности, берутся одинаковой длины, что важно для удобства сравнения результатов испытания. Наиболее принято выделять участки длиной около 5 м. Отклонения в ту

или другую сторону могут быть при выборе мест для закрепления тампонов; не рекомендуется выделять участки более 10 м.

6. Основным признаком при выборе места для закрепления тампона является цельность керна, указывающая на отсутствие в данном месте трещин. В случае отсутствия на выделенном участке мест, удовлетворяющих указанному условию, ствол скважины в назначенном месте подвергается предварительной подготовке цементацией.

С этой целью в процессе бурения в намеченное для установки тампона место по достижении его забоем вводится на забой в открытом цилиндре густой цементный раствор на высоту около 1 м. Цементный раствор вдавливаются другим цилиндром, как поршнем, в трещины породы. После затвердения цемента его пробуривают и продолжают бурение далее.

## Глава II

### ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОПЫТНЫХ НАГНЕТАНИЙ

#### § 8. Перечень основного оборудования для производства опытного нагнетания

Для производства работ по опытному нагнетанию в скважину, помимо буровых комплектов для бурения, требуется следующее основное оборудование:

1) тампонирующее устройство типа „Вашкур“ с нагнетательными трубами, рассчитанными на максимальную заданную глубину испытания, с набором разных тампонов, уплотняющих резиновых колец и запасных частей,

2) водопроводные трубы с вентилями и кранами,

3) градуированные резервуары и баки для воды с водомерными стеклами,

4) резервуары для регулирования напора воды,

5) насосы с производительностью, достаточной для подачи воды с расходом, покрывающим водопоглощение испытываемой толщи пород,

6) манометры с точностью отсчета до  $1/10$  атм.,

7) водомеры и сосуды для измерения расхода воды,

8) часы и секундомеры,

9) термометры для измерения температуры воды на поверхности и в скважинах,

10) приборы для измерения уровня воды в скважинах,

11) бланки, разграфленные записные книжки и тетради для записи наблюдений, миллиметровка и другое вспомогательное оборудование.

#### § 9. Тампонирующие устройства и манометры

1. Тампонирующее устройство типа „Вашкур“ представляет собой систему труб, снабженных на нижнем конце тампоном,

опускаемым в скважину и изолирующим выделенный для нагнетания участок. Тампон состоит из ряда резиновых колец (рис. 1). Вращением домкрата по нарезке на верхнем конце внутренних труб производится обжатие резиновых колец тампона, причем давление от домкрата на уплотняющие кольца тампона передается через наружные трубы. Резиновые кольца под давлением расширяются и прижимаются к стенкам скважины, изолируя выделенный участок от остальных частей скважины.

Для этого существуют следующие конструкции тампонов: а) ординарный тампон с внутренней трубкой для нагнетания в нижерасположенный участок скважины от забоя до тампона, б) ординарный тампон с глубокой пробкой для изоляции верхней части скважины от нижней в целях нагнетания в верхнюю часть скважины, в) сдвоенный тампон для нагнетания в любой выделенный участок.

В последнем случае при сдвоенном тампоне должен быть набор перфорированных патрубков разной длины в зависимости от размеров выделенных участков для испытания, которые, как было сказано в главе I, вообще при участковом нагнетании должны быть по возможности одинаковыми, но иногда их приходится выделять различной длины, в связи с выбором достаточно плотных мест установки тампонов.

Наиболее употребителен диаметр внутренних нагнетательных труб тампонирующего устройства типа „Вашкур“ 53/47 мм.

2. При больших расходах воды в трубах тампонов типа „Вашкур“ и типа „Днепрострой“ развиваются относительно значительные гидравлические сопротивления, о которых указывалось в введении. Для правильного определения действующего давления необходимо учитывать потерю напора в трубах.

Практика показала, что по существующим формулам вычислить с достаточной точностью эту потерю не удастся, поэтому в каждом комплекте нагнетательного устройства потерю эту следует определять путем специальных опытов на месте.

Избежать это осложнение можно путем применения особой конструкции тампонирующего устройства, предложенной С. А. Коль (рис. 2, стр. 18). Эта конструкция отличается от тампона типа „Вашкур“ тем, что вода подается в скважину по кольцевому пространству между внутренней и внешней трубками. На нижнем конце внутренней трубы непосредственно над системой тампонирующих резиновых колец имеются отверстия, через которые вода переходит во внутреннюю трубку и далее за тампон в испытываемый участок скважины.

Вместе с этим вода под напором, заполняя внутреннюю трубу, передает давление манометру, установленному на верхнем конце трубы. При этом передается именно то давление, какое действует непосредственно в выделенном тампоном участке скважины, минуя те гидравлические сопротивления, которые развиваются при движении воды сверху вниз к испытываемому участку.



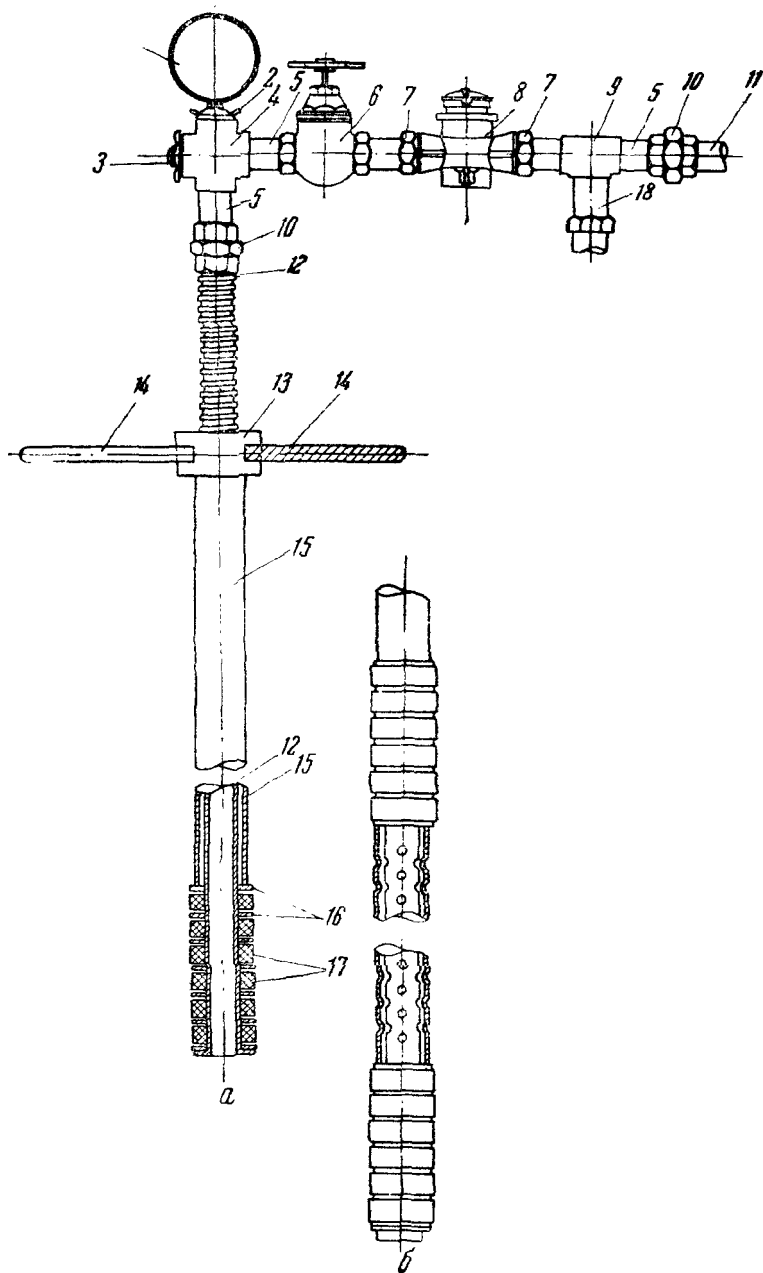
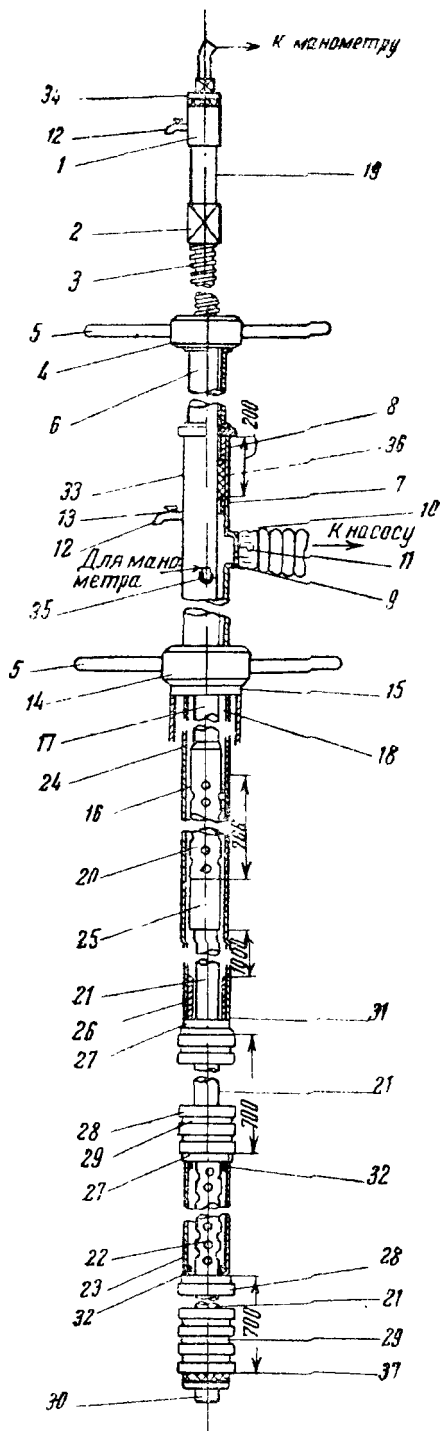


Рис. 1. Тампонирующее устройство типа "Вашкур".

*a*—тампон для нагнетания в нижнюю часть скважины, *б*—тампон для нагнетания в отдельные участки скважины, 1—манометр, 2—футорка, 3—пробка, 4—крестовник, 5—соединительный патрубок, 6—вентиль, 7—соединительная гайка водомера, 8—водомер, 9—тройник, 10—соединительная гайка, 11—трубы, 12—трубы ( $d$  53/47 мм), 13—домкрат, 14—ручки домкрата, 15—трубы ( $d$  63/57 мм), 16—шайбы, 17—резинные кольца, 18—автоматический регулятор.



Надо отметить, что в описанной конструкции требуется относительно большой диаметр внешней трубы, чтобы создать достаточно большое сечение водопроводящего кольцевого пространства между этой трубой и внутренней. По предложению С. А. Коль, диаметр внешней трубы должен быть не менее 83,77 мм.

3. Для определения давления нагнетаемой воды применяется пружинный манометр, который помещается на верхнем конце нагнетательной трубы. Предельное значение шкалы манометра не должно превышать вдвое наибольшую величину рабочего давления.

Ошибка в показаниях манометра не должна быть более 5% от значения предельного давления.

## § 10. Организация водоснабжения. Напорные баки и резервуары, насосы и трубопроводы

### 1. Требуемое давление в нагнетательных трубах и сква-

Рис. 2. Тампонирующее устройство конструкции инженера Коль

1—тройник переходный, 2—муфта „Американка“, 3—штанга с нарезкой, 4—муфта малого домкрата, 5—ручки домкрата, 6—патрубки упорные, 7—нижнее кольцо сальника, 8—верхнее кольцо сальника, 9—патрубок к насосу, 10—гайка, 11—гайка, 12—кран, 13—штуцер и деталям 12 и 35, 14—муфта большого домкрата, 15—крышки на обсадных трубах, 16—трубы обсадные колонковые, 17—штанги, 18—патрубки обсадных труб (d 83/77) с резьбой, 19—патрубки штанг (d 42/31), 20—труба обсадная колонковая перфорированная, 21—труба обсадная колонковая перфорированная, 22—труба обсадная колонковая перфорированная, 23—труба обсадная колонковая перфорированная, 24—переходник и деталям 17 и 20, 25—муфта упорная, 26—муфта сальника, 27—шайба упорная, 28—кольца тампона, 29—шайба тампона, 30—упорная пробка, 31—уплотнение, 32—кольцо центрирующее, 33—труба с нарезкой, 34—пробка верхняя, 35—выводная труба, 36—сальник, 37—прокладка уплотнения.

жине создается с помощью подачи воды по трубопроводу из напорных резервуаров или с помощью насосов. Подача воды в скважину должна быть непрерывной в процессе каждого опробования и равномерной как в отношении расхода воды, так и давления. Это требование должно служить основным условием для выбора способа подачи воды в скважину и получения заданного давления.

2. Указанное требование наиболее совершенно удовлетворяется подачей воды из напорных градуированных резервуаров или баков. Для обеспечения непрерывности подачи воды применяются спаренные градуированные баки, соединенные при помощи тройника. Два конца тройника соединяются с баками, а к третьему присоединяется шланг, ведущий воду к баку-регулятору. От регулятора отводится напорный трубопровод, доставляющий воду под соответствующим давлением к самой скважине. Напорные баки и баки-регуляторы устанавливаются на достаточной высоте, обеспечивающей напор. При небольших напорах баки могут быть установлены на специально устроенных вышках.

3. Если местные условия не позволяют создать требуемые напоры с помощью напорных резервуаров, то нагнетание необходимо проводить насосом. Непрерывное снабжение водой при этом может осуществляться тоже с помощью спаренных градуированных баков, причем к соединительному тройнику присоединяется шланг, подающий воду к насосу.

4. Тип насоса выбирается в зависимости от величины водопоглощения и требуемого давления. Для более высоких расходов воды порядка 5—8 л в секунду следует применять центробежные насосы, причем условия непрерывности и равномерности их работы наиболее хорошо осуществляются при пользовании электромотором. Если же электроэнергией воспользоваться нельзя, устанавливают двигатель внутреннего сгорания.

5. Для нагнетания при расходах менее 5 л/сек. наиболее подходят плунжерные насосы „Калифорния“ и парозолотниковые типа „Вортингтон“ или „Блэк“, с соответствующими двигателями.

При небольших расходах возможно применять ручные насосы калифорнийские, обыкновенные 2-х цилиндровые пожарные и насосы Гарда.

Поскольку расход воды при нагнетании в трещиноватые породы, следует предусмотреть наличие насосов как небольшой производительности—до 5 л/сек., так и более высокой—до 10 л/сек.

6. Для подачи воды к месту опытов и в напорные баки наиболее применимы многокамерные центробежные насосы большой производительности (калифорнийский и парозолотниковый), которые могут применяться и для нагнетания воды в скважину.

7. Для измерения расхода в систему подводящих воду труб включаются водомеры, сдвоенные или строенные, в зависимости от величины расхода воды.

Если вода забирается насосом из градуированных баков, то определение расхода производится путем отсчетов по водомерному стеклу; по разности отсчетов получают количество израсходованной воды, которое делят на время, и этим определяют расход.

При пользовании баками-регуляторами возможно непосредственное измерение расхода воды с помощью мерных сосудов. Для этого в регулирующем баке устраивается дополнительный кран, который временно подает воду в напорный трубопровод, пока по основному крану производится замер установившегося расхода.

При пользовании регулирующим резервуаром можно определить расход по разности количества воды, вытекающей из градуированного питающего резервуара, и количества избыточной воды, стекающей через сливное отверстие регулирующего резервуара.

### Глава III

## БУРЕНИЕ И ПОДГОТОВКА СКВАЖИНЫ ДЛЯ ОПЫТНОГО НАГНЕТАНИЯ

### § 11. Бурение и крепление скважины

1. Выбор типа скважины определяется на основании предварительного изучения трещиноватости в массиве породы.

В случаях, когда плоскости трещин падают под самыми различными углами и в различных направлениях, или среди трещин преобладают пластовые горизонтальные и близкие к ним трещины,—скважина должна быть вертикальной. В тех же случаях, когда в массиве преобладают вертикальные или крутопадающие трещины, скважина должна быть наклонной в сторону, обратную падению плоскостей трещин, с целью пересечения максимального числа их.

Бурение для опытного нагнетания производится так, чтобы по возможности сохранить естественную структуру пород в стенках скважины и получить ствол правильной цилиндрической формы. Для этого в твердых породах обязательно применяется колонковое бурение, причем опытные скважины бурятся алмазной коронкой или суррогатами. Дробовое бурение в этом случае применять не следует, так как при нем стенки скважины не получаются точно цилиндрическими и диаметр скважины не сохраняет постоянную величину, изменяясь в зависимости от неравномерности подачи дроби и от неоднородности пород. Измерение диаметра скважины затрудняет или даже делает невозможной точную установку тампонов на требуемой глубине.

2. Диаметр опытных скважин для нагнетания должен быть не менее 76 мм. Наиболее удобно производить нагнетание в скважинах диаметром от 76—83 мм. В случае небольшой

трещиноватости пород и необходимости производить опыты с большими расходами воды надо по возможности бурить скважины большего диаметра. Для установки тампонирующего устройства, позволяющего производить замеры давления внизу непосредственно у входа в изолированный испытуемый участок скважины, диаметр последней должен быть, по указанию С. А. Коль, 97/90 мм.

3. Наблюдательные скважины за уровнем воды могут буриться дробовым бурением и ударным способом. Внутренний диаметр этих скважин может быть уменьшен до 47 и даже в некоторых случаях до 42 мм.

4. Все породы, лежащие выше толщи, назначенной к испытанию нагнетанием, должны быть закреплены обсадными трубами и тщательно затампонированы.

Толща пород, намеченная к испытанию нагнетанием, оставляется открытой, но в случае наличия слоев или участков неустойчивых, легко обваливающихся пород необходимо предусмотреть здесь крепление обсадными трубами, чтобы предохранить скважину от осыпавшихся вниз кусочков пород, могущих вызвать захват колец тампона и повлечь за собой серьезную аварию.

Все обсадные трубы должны быть тщательно измерены, пронумерованы и записаны в буровой журнал.

5. Бурение ведется с обратной промывкой обязательно чистой водой, не допуская зашламования трещин, вскрытых скважиной.

После окончания бурения скважина должна тщательно промываться путем нагнетания воды в нее или путем откачки, если ею вскрыты водоносные слои.

## **§ 12. Геологическая и гидрогеологическая документация по опытным скважинам**

В процессе бурения должна проводиться тщательная документация необходимых геологических и гидрогеологических данных: 1) отбор, нумерация и описание кернов и образцов пород, 2) регистрация проходимых водоносных горизонтов с определением установившегося уровня, температуры воды, отбором пробы воды на химический анализ, сокращенный или полный в зависимости от требований к данной скважине. Одновременно составляется разрез скважины.

2. При производстве колонкового бурения в буровом журнале отмечаются интенсивность проходки, провалы снаряда, расход промывной воды, выход керна.

3. В целях фиксации высотных отметок около скважины устанавливается репер, который может обслуживать несколько близко расположенных скважин. Все высотные измерения во время бурения и нагнетания производятся от метки на деревянном бруске, который укладывается горизонтально около скважины на затесы двух кольев, прочно забитых в землю. Репер и метка

на брус нивелируются до начала бурения с определением абсолютной или относительной высотой отметки.

### **§ 13. Выделение в скважине участков для нагнетания и установление способов и порядка испытания**

1. Выделение участков скважины для нагнетания и мест для закрепления тампонов обычно производят после окончания бурения, а в некоторых случаях и во время бурения, если будет принят способ нагнетания в процессе буровых работ.

2. После установления участков и порядка их опробования нагнетанием составляется чертеж конструкции опытной скважины, на котором отображаются диаметры и глубина колонн обсадных труб; здесь же наносится геологический разрез скважин с указанием уровня воды пройденных водоносных горизонтов. На чертеже также наносят места закрепления тампонов.

К чертежу скважины прилагается пояснительная записка, в которой указываются намечаемые способы и порядок работ по нагнетанию, тип тампонирующего устройства и насоса, установленная продолжительность отдельных испытаний и количество их, заданные давления воды, а также другие указания, предусматривающие различные особенности производства работ на данной скважине.

Изложенное выше указание отражается в проекте бурения и оборудования скважины для опытного нагнетания. Проект составляется для каждой скважины или для группы их.

Проект состоит из краткой записки и чертежа запроектированной скважины, он составляется прорабом и утверждается начальником партии или начальником группы опытных работ.

## **Глава IV**

### **ПРОИЗВОДСТВО НАГНЕТАНИЙ**

#### **§ 14. Состав работ по опытному нагнетанию**

В состав опытов по нагнетанию в подготовленные скважины входят следующие операции:

- 1) измерение уровня воды в скважинах перед нагнетанием;
- 2) установка тампонов и испытание герметичности обжатия их;
- 3) производство нагнетания;
- 4) замер расходов воды и давлений на манометре в процессе нагнетания;
- 5) выпуск воздуха из нагнетательных труб;
- 6) повторные замеры уровня воды в скважине при перестановке тампонов;
- 7) записи в журнале нагнетаний;
- 8) ликвидация скважин после испытания.

## § 15. Измерения уровня воды в скважинах

1) Прежде чем приступить к нагнетанию в подготовленной к опробованию скважине измеряется установившийся естественный уровень воды.

Для этой цели в зависимости от глубины уровня и других местных условий применяется один из следующих приборов: 1) обыкновенная хлопушка на рулетке, 2) хлопушка, комбинированная со свистком и тарелочным измерителем—прибор Ранга, 3) штанговый измеритель, опускаемый в скважину на стальном тросике.

Первые два прибора пригодны для небольших глубин уровня воды—до 10 м не более; для более глубоких уровней следует применять штанговый измеритель с достаточно тяжелой штангой, удовлетворительно вытягивающий трос и не дающий ему задерживаться трением о стенки скважины.

Этими же приборами измеряются уровни воды в наблюдательных скважинах при нагнетании в центральную скважину опытного куста скважин.

Измерения уровня воды в скважине повторяют несколько раз, чтобы получить истинное положение статического уровня. Во избежание ошибок следует перед одним-двумя измерениями сделать небольшое контрольное повышение уровня путем налива воды в скважину, или понижение—откачкой.

2) Измерения уровня воды в скважине производят не только перед началом опытов нагнетания, но и в процессе их, повторяя замеры во время перестановки тампонов на разные глубины. Особенно необходимо измерять уровни при опробовании скважины в процессе ее бурения, когда постепенно вскрываются новые слои, могущие заключать на разных глубинах самостоятельные водоносные горизонты с различными уровнями воды.

3. Для более точного установления уровней воды при нагнетании, а также в процессе бурения необходимо учитывать естественные колебания уровня подземных вод, для чего оборудуются специальные наблюдательные скважины, предназначенные для стационарных наблюдений за режимом подземных вод.

## § 16. Установка тампона

1. Место для установки тампонов выбирается в процессе подготовки скважины к опробованию нагнетанием по признакам, описанным выше (гл. III, § 13).

В соответствии с глубиной установки тампона подбирается длина внутренней колонны труб так, чтобы она выступала над внешней колонной на 0,25—0,50 м. Для этой цели служит набор патрубков для внешних и внутренних труб длиной 0,5; 0,75; 1,0; 2,0 м.

Трубы должны быть тщательно измерены рулеткой, перенумерованы (нумератором) и записаны в журнал. Соединения труб должны быть совершенно герметичны и в случае необходимости поставлены на сурик с паклей.

В тампоне „Вашкур“ между внешней и внутренней трубами под тампоном устраивается сальник, не пропускающий воду и позволяющий заметить утечку воды через соединения внутренних нагнетательных труб. Постепенно наращивая колонны внешних и внутренних труб, их одновременно опускают в скважину. Внутренняя колонка при этом удерживается с помощью башмака внешней колонны и специального выступа во внутренней трубе.

При опускании тампона надо действовать осторожно, равномерным и не быстрым движением, чтобы не испортить уплотняющих резиновых колец.

2. После достижения требуемой глубины внешние трубы на поверхности закрепляются хомутом, и с помощью домкрата производят обжатие тампона. Качество обжатия проверяется кратковременным пробным нагнетанием (2—3 раза) в течение 10—15 мин. с небольшими перемещениями тампона.

Если при этом при заданном расходе давление не меняется, установка считается удовлетворительной, если же давление воды меняется, то выбирают такое положение тампона, при котором давление в трубах становится наибольшим, и в этом положении проводят испытание нагнетанием выделенного тампоном участка скважины.

3. Установить утечку воды в обход колец тампона очень важно. Если трещиноватость пород выше тампона несильная, вода, прорвавшаяся через тампон, обычно поднимается по затрубному пространству вверх и изливается на поверхность. Если же трещиноватость пород велика, вода будет поглощаться на участке скважины выше тампона и произойдет только повышение уровня воды в затрубном пространстве; при этом прорыв воды в обход тампона может быть установлен только непосредственными измерениями уровня воды в затрубном пространстве.

Это измерение ввиду узости промежутка между стенками скважины и внешней трубой довольно затруднительно и при относительно большой глубине уровня воды требует применения особых приборов. Таковым прибором является пневматический измеритель, состоящий из тонкой металлической трубки, погружающейся нижним концом в воду и соединенной сверху с ртутным манометром и воздушным насосом, с помощью которых определяется глубина погружения нижнего конца трубки в воду. Этот прибор позволяет хорошо наблюдать за изменениями уровня воды в затрубном пространстве в процессе опытов по нагнетанию.

Все данные по установке тампона записываются в журнале испытаний.



## § 17. Производство наблюдений в процессе нагнетаний. Измерение расхода воды и напора

1. Для определения удельного водопоглощения нагнетание производится при нескольких повышении давления (не менее трех-четырех), чтобы иметь возможность определить форму кривой в зависимости между напором (повышение уровня воды) и расходом воды. Максимальное давление должно соответствовать примерно высоте проектного напора на гидросооружении. Это требование бывает довольно трудно удовлетворить при сильной трещиноватости пород, так как расходы воды при этом могут достигать слишком больших величин, превышающих производительность насоса или создающих в трубах слишком большие гидравлические сопротивления.

В таких случаях приходится ограничиваться меньшими значениями максимального давления, а давление и расход, отвечающие проектной величине напора на сооружение, находятся путем интерполяции по кривой зависимости повышения уровня и расхода.

Промежуточные величины давления по повышению уровня берутся примерно через равные интервалы между нулем и максимальным давлением.

2. Нагнетание при каждом повышении ведется до установившегося состояния, т. е. до постоянного давления и расхода, после чего продолжается еще при таком состоянии не менее 0,5 часа. Общая продолжительность одного непрерывного нагнетания, следовательно, зависит от скорости достижения стационарного состояния. В закрытых трещиноватых пластах с напорной водой оно может быть достигнуто довольно быстро в течение первого часа, в других случаях может произойти после более длительного промежутка времени. В среднем общая продолжительность непрерывного нагнетания должна быть не менее 2—3 часов.

3. При производстве нагнетаний в головке тампонирующего устройства может скопиться воздух, мешающий производству опытов. Чтобы этого не было, в начале нагнетания воздушный кран должен быть открытым. Кран открывается периодически в процессе производства опыта, чтобы выпускать набравшийся воздух. Если воздух появляется непрерывно, надо установить причину его появления и устранить ее, так как при наличии воздуха в трубах результаты нагнетания получаются дефектными.

4. В случае производства нагнетания зимой необходимо отопить трубы (на поверхности земли) и измерительные приборы. Чтобы не допустить замерзания воды в трубах, ее также надо подогревать.

5. Наблюдения за давлением по манометру и за расходом воды в процессе производства опытов ведутся через равные промежутки времени: через каждые 10—15 минут.

Отсчеты по манометру ведутся с точностью до 0,1 атм. Если

при этом стрелка манометра колеблется, то отмечаются два крайних показания манометра, из которых определяется среднее значение. В случае неподвижного положения стрелки манометра (например при нагревании из напорного резервуара) вывести стрелку из равновесия можно легким давлением на шланг, подающий воду.

Отсчет по водомеру надо производить одновременно с наблюдением за манометром с точностью 0,2 л.

6. В процессе производства нагнетания измеряется температура нагнетаемой воды; зимой нужно измерять также температуру воздуха. Измерения ведутся через 1 час с точностью до 1° С.

7. Все наблюдения в процессе нагнетания записываются в журнале нагнетаний без каких-либо промежуточных черновых записей. Запись делается простым карандашом, причем стирание резинкой при исправлениях не допускается; исправления вносятся перечеркиванием исправленной записи так, чтобы ранее написанное было ясно видно, новая запись помещается сверху.

8. После окончания работ по опытному нагнетанию все материалы по опробованной скважине: буровой журнал, журнал нагнетания и данные предварительной обработки, подписанные производителем работ,—сдаются по акту начальнику партии или начальнику группы опытных работ.

9. Опробованная нагнетанием скважина ликвидируется с тщательным тампонажем ее цементным раствором, бетоном или пластичной глиной. После ликвидации составляется акт.

## **§ 18. Налив воды в скважины как метод исследования водопроницаемости**

1. Налив воды в скважины производится двумя способами: 1) с постоянным уровнем воды, поддерживаемым непрерывной подачей воды в скважину, и 2) с переменным уровнем, падающим после единовременного налива воды в скважину.

2. По первому способу определяется, как и в нагнетании, величина повышения уровня воды в скважине и соответствующий ему расход.

При этом налив может производиться или просто в скважину через шланг с измерениями повышения уровня теми или иными приборами или же установкой тампонирующего устройства. В 1-м случае довольно затруднительно точное измерение повышенного уровня воды в скважине; наиболее пригодным для этого прибором будет пневматический измеритель, позволяющий наблюдать за повышением уровня воды в скважине, не прерывая подачи в нее воды.

3. Во 1-м случае наиболее удобен процесс налива воды в скважину, и наблюдения за уровнем воды выполняются при установке тампонирующего устройства типа С. А. Коль, в котором вода в скважину подается по затрубному пространству

между внутренней и наружной трубой, а уровень воды спокойно измеряется во внутренней трубе. При пользовании тампоном налив можно производить суммарно во всю скважину, а также в любую часть скважины, выделенную тампонами.

4. Как и при нагнетании, налив производится при 3—4 разных повышении уровня воды в скважине. При этом максимальное повышение ограничивается возможной высотой столба воды в самой скважине и зависит от степени водопроницаемости и водопоглотительной способности испытуемого пласта, а также от возможного размера подачи воды. Можно удовлетвориться повышением в несколько метров.

Промежуточные значения повышений берутся в таком количестве и на таких ступенях, чтобы можно было определить с достаточной достоверностью зависимость между расходом и повышением уровня воды в скважине. Всего для этой цели достаточно произвести 3—4 опыта с разными расходами воды.

Налив в скважину наиболее пригоден для опробования производительности пласта, если не предоставляется возможность произвести откачку.

При этом полагают, что удельный расход при поглощении приблизительно равен удельному расходу при откачке.

Налив применяется также для определения коэффициента фильтрации пласта и обладает в этом отношении некоторыми преимуществами сравнительно со способом нагнетания, так как не требует высоких напоров, которые осуществляются нагнетанием для определения водопоглощения.

## Глава V

### ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ОПЫТНОГО НАГНЕТАНИЯ

#### § 19. Предварительная обработка материала на месте работ

1. Обработка результатов опытного нагнетания должна проводиться в основном на месте во время производства опытов. Эта полевая обработка включает в себя следующие элементы:

- 1) подсчет действующих напоров или повышений,
- 2) определение расхода воды,
- 3) построение графиков измерения расходов и напора во время опытов, т. е. построение зависимостей:

$$S = f(t) \text{ и } Q = f(t),$$

- 4) построение графиков зависимости напоров от расходов:

$$S = \varphi(Q),$$

- 5) вычисление удельного водопоглощения,
- 6) построение графика водопоглощения и нанесение их на разрез.

2. Действующий напор или повышение  $S$  в произведенном

показании манометра в единицах водяного столба  $S_m$  и превышения манометра  $h$  над естественным уровнем воды в скважине:

$$S = S_m + h$$

Превышение манометра над уровнем воды определяется как сумма из глубины уровня воды от устья скважины и высоты манометра над устьем. Все высоты и напоры выражаются в метрах.

3. При нагнетании в сухую породу превышение манометра исчисляется от середины испытуемого интервала, если длина его невелика, или от нижней границы испытуемого участка или от забоя скважины при нагнетании через ординарный тампон. Для неравномерно трещиноватой толщи пород это превышение при нагнетании в сухую породу может определяться по графику зависимости между расходом и уровнем воды, как величина напорного уровня при расходе, равном нулю, т. е. по точке пересечения кривой уровня с осью ординат (о построении этого графика см. ниже § 19).

4. Расход воды определяется, в зависимости от имеющегося оборудования, следующими способами:

1) по разности показаний водомера, разделенной на соответствующий промежуток времени,

2) по разности отсчетов на водомерном стекле резервуара, из которого забирается вода насосом. Отсчеты по водомерному стеклу пересчитываются на объемы воды согласно данным градуировки бака. Определенный таким путем израсходованный объем воды делится на соответствующий отрезок времени,

3) по непосредственному измерению расхода воды мерным сосудом, которое может производиться у регулирующего резервуара, если таковой применяется в данном случае для поддержания напора.

5. Полученные по вышеуказанным способам величины напоров и расходов записываются в соответствующие графы журнала и наносятся на миллиметровку для построения графика, в котором по горизонтальной оси откладывается время, а по вертикальной—расходы и напоры, применяя для последних разные виды пунктирных линий.

Этот график служит для наглядного изображения на одном чертеже колебаний расходов и напоров воды в течение всего опыта, а в дальнейшем—для сопоставления этих величин и для установления зависимости между расходами и действующими напорами.

6. Зависимость между действующими напорами или повышением при нагнетании и расходами воды на водопоглощение устанавливается с помощью построения другого рода графика, на котором по горизонтальной оси откладывается расход, а по вертикальной—действующий напор (повышение).

По полученным при этом построении точкам проводится плавная линия, которая бывает прямой или кривой. Здесь могут быть следующие случаи:

1-й случай. Точки располагаются по прямой или плавной кривой, обращенной выпуклостью вверх. Такие кривые считаются правильно или закономерно отражающими зависимость между расходом и повышением.

Прямая выражает собой зависимость между указанными величинами при ламинарном движении. Выпуклая кривая отображает развитие в той или иной степени турбулентного движения. На практике чаще получается прямая. Выпуклая кривая получается при больших расходах воды. Отклонения от прямолинейной зависимости обычно создаются здесь не столько развитием турбулентного движения воды в трещинах испытываемой толщи пород, сколько от побочных гидравлических сопротивлений в трубах тампонирующего устройства. При пользовании нагнетательными установками, где эти вредные сопротивления удается избежать при определении действующих давлений, преимущественно получаются прямолинейные зависимости между расходами и напорами.

2-й случай. Точки оказываются беспорядочно рассеянными, и какую-либо закономерную кривую (выпуклую или вогнутую) через них провести нельзя. В этом случае следует опыт считать неудавшимся и испытание надо повторить.

3-й случай. Точки образуют вогнутую кривую, обращенную вверх вогнутой стороной.

Испытание следует считать неудавшимся, так как вогнутая кривая показывает, что приращение расхода с возрастанием напора возрастает, что может быть лишь при увеличении в процессе опробования водопроницаемости или водопоглощаемости пород. Последнее может происходить при размывании трещин или промывки их мягких минеральных частиц. В этом случае надо продолжать нагнетание при максимальном давлении до более совершенной промывки трещин и повторить испытание при более низком давлении. Обычно после такого повторения опытов удается достигнуть более приемлемых результатов.

4-й случай. Одна из точек не попадает на прямую или выпуклую закономерную кривую. В таком случае повторяют опыт для тех значений давления и расхода, которые отвечают выпадающей точке.

Графики вычерчиваются на миллиметровке и вклеиваются в журнал, если в нем нет вшитых заранее нескольких листов клетчатки для графических изображений.

## § 20. Вычисление удельного водопоглощения

1. Удельное водопоглощение для случая прямолинейной зависимости расхода от напора вычисляется по формуле:

$$W = \frac{Q}{l \cdot S} \quad (1),$$

где  $W$  — удельное водопоглощение в литрах в минуту  
 $Q$  — расход воды в литрах в минуту  
 $l$  — длина опробуемого участка скважины в метрах  
 $S$  — повышение уровня воды в метрах.

2. В случае криволинейной зависимости расхода от напора удельное водопоглощение вычисляется по той же формуле, но лишь для некоторого определенного напора. Обычно вычисление удельного водопоглощения производится для проектного или максимального напора, осуществленного в опытах, и для других выбранных по тем или иным соображениям значений напора.

Обыкновенно величина максимального напора принимается равной проектному действующему напору проектируемого гидротехнического сооружения. В том же случае, когда вследствие большого водопоглощения не удастся достигнуть проектного напора, расход воды, соответствующий проектному напору, определяется интерполяцией по графику зависимости между этими величинами, и по полученным значениям  $Q$  и  $S$  вычисляется удельное водопоглощение.

## § 21. Камеральная обработка материалов опытных нагнетаний

1. Дальнейшая, более полная обработка материалов опытных нагнетаний проводится в камеральный период.

Сюда относятся следующие работы: 1) построение графиков или диаграмм водопоглощения, 2) вычисление коэффициентов фильтрации опробованных нагнетанием пород, 3) общий анализ полученных результатов опытных нагнетаний с точек зрения инженерно-геологической и инженерно-технической и, наконец, 4) составление отчета о всех работах по опытному нагнетанию, как полевых, так и камеральных.

2. Диаграмма водопоглощения составляется для целей наглядного представления об изменении удельного водопоглощения по глубине и для сопоставления полученных величин водопоглощения с геологическим разрезом испытанной нагнетанием толщи пород. С этой целью на вертикальной оси наносятся границы опробованных нагнетанием участков или зон, а по горизонтальному направлению откладываются соответствующие значения удельного водопоглощения. Полученная таким построением ступенчатая линия и называется диаграммой водопоглощения. Вертикальный масштаб для этой диаграммы принимается такой же, как и для геологического разреза скважины. Целесообразно диаграмму водопоглощения сопоставлять также с графиком выхода керна, построенным аналогичным образом, и с электрокароттажной диаграммой скважин. Кароттаж скважин даст довольно правильную картину электрического сопротивления пройденных скважиной пород, по которому можно судить также об изменении состава пород, их трещиноватости и водопроницаемости.

## § 22. Определение коэффициента фильтрации нагнетанием и наливом воды в скважины

1. Для определения коэффициента фильтрации по изложенным ранее в параграфе соображениям участковые нагнетания мало пригодны, так как дают преувеличенные значения расходов воды на водопоглощение, а следовательно, и коэффициенты фильтрации будут преувеличенными.

Для этой цели более пригодны данные суммарных нагнетаний.

Опытное нагнетание для определения коэффициента фильтрации пласта производится при относительно невысоких напорах с повышением в несколько метров. Здесь нет надобности достигать максимального проектного напора, как при испытании на водопоглощение. Вместо нагнетания для определения коэффициента фильтрации лучше применять налив.

Для определения коэффициента фильтрации, как и при опробовании на водопоглощение, нагнетание или налив приводятся до установившегося положения уровня и продолжаются при установившемся уровне не менее 2—3 часов. Продолжительность одного опыта при определении коэффициента фильтрации в напорном пласте должно быть несколько больше, чем при испытании на водопоглощение, и в общей сложности не менее 4—6 час.

При определении коэффициента фильтрации напорных водоносных пластов продолжительность может быть несколько меньше.

Опыты повторяются 3—4 раза при разных повышениях, как и при определении удельного водопоглощения.

2. В применении формул для вычисления коэффициента фильтрации здесь могут быть следующие случаи:

1-й случай. Испытуемый пласт водоносный с покрывающим водонепроницаемым слоем и с напорной водой.

При этом возможно во многих случаях, для относительно невысокой и средней проницаемости трещиноватых пород, пользоваться формулами Дюпюи, основанными на законе Дарси. Формулы Дюпюи вполне возможно применять для результатов нагнетания, когда получается прямолинейная зависимость между расходом и напором.

Для сильно трещиноватых пород с водопоглощением порядка нескольких литров в секунду следует пользоваться формулами Краснопольского, основанными на законе Шези. Основанием для применения последних формул может служить криволинейная (параболическая) зависимость между расходом и напором.

Применяя те или иные формулы, надо помнить, что коэффициент фильтрации по Дарси и по Шези имеет различные значения и в дальнейшем может применяться для расчетов лишь в соответствующих формулах, также основанных или на законе Дарси или на законе Шези.

Для вычисления коэффициента фильтрации по Дарси, в случае нагнетания в напорный водоносный пласт, применяются следующие формулы Дюпюи:

1) для одиночной опытной скважины

$$K = \frac{Q (\ln R - \ln r)}{2 \pi M S} \quad (2)$$

где  $K$  — коэффициент фильтрации,

$Q$  — расход воды при суммарном нагнетании,

$S$  — повышение уровня воды в скважине при нагнетании,

$R$  — радиус влияния,

$r$  — радиус скважины,

$M$  — мощность водоносного пласта

2) для опытной скважины с одной наблюдательной:

$$K = \frac{Q (\ln x - \ln r)}{2 \pi M (S - S_1)} \quad (3)$$

где  $x$  — расстояние от оси опытной скважины до наблюдательной,

$S_1$  — повышение уровня в наблюдательной скважине.

Остальные обозначения те же, что и выше.

Для тех же случаев нагнетания в напорный водоносный пласт применяется формула Шези-Краснопольского:

$$K_{ш} = \frac{Q}{2 \pi M} \sqrt{\frac{1}{r} \frac{1}{R}} \quad (4)$$

В формуле (4) можно  $\frac{1}{R}$  принять равным нулю в виду большой величины  $R$  сравнительно с  $r$ , вследствие чего получается более простая формула, которая не требует знания величины радиуса влияния:

$$K_{ш} = \frac{Q}{2 \pi M \sqrt{r S}} \quad (5)$$

2-й случай — испытываемый пласт водоносный, с свободной поверхностью грунтовых вод.

В этом случае применяются следующие формулы Дюпюи для грунтового совершенного колодца:

1) для одиночной опытной скважины:

$$K = \frac{Q (\ln R - \ln r)}{\pi (h^2 - H^2)} \quad (6)$$

где  $h$  — уровень воды в опытной скважине при нагнетании, считая его от забоя скважины,

$H$  — уровень воды до нагнетания, тоже от забоя;

2) для опытной скважины с одной наблюдательной:



$$K = -\frac{Q (\ln x - \ln r)}{\pi (H^2 - y^2)} \quad (7)$$

где  $x$  — расстояние до наблюдательной скважины от опытной,  
 $y$  — уровень воды в наблюдательной скважине, отсчитываемый от того же горизонта, что и уровень воды в центральной скважине.

Остальные обозначения те же, что и в предыдущей формуле.

При больших расходах воды, когда можно предполагать развитие при испытании турбулентного движения, применяются формулы Шези-Краснопольского:

$$K_{\text{ш}} = \frac{Q}{2\pi} \sqrt{\frac{\frac{1}{r} - \frac{1}{R}}{\frac{1}{3} (h^3 - H^3)}} \quad (8)$$

Полагая в этой формуле  $\frac{1}{R} = 0$ , получим формулу:

$$K_{\text{ш}} = \frac{Q}{2\pi} \sqrt{\frac{3}{r (h^3 - H^3)}} \quad (9)$$

### § 23. Составление отчета о произведенных работах

1. Камеральная обработка материалов опытных нагнетаний завершается составлением отчета, в котором систематически излагаются как все фактические данные, так и результаты их обработки вместе с выводами, дающими ответы на поставленные при организации нагнетания вопросы. Отчет составляется про- рабом.

Содержание отчета, в общем случае, может быть охарактеризовано следующим примерным подразделением на главы: 1) введение, 2) местонахождение и физико-географические условия района работ, 3) геологическое строение, 4) гидрогеологические условия, 5) описание произведенных опытов по нагнетанию (с полным изложением всех фактических данных по каждой скважине), 6) характеристика водопоглощаемости и водопроницаемости по данным произведенных опытных нагнетаний, 7) выводы о значении полученных данных для освещения вопросов, служащих целью изысканий.

2. В введении дается краткая формулировка задач, поставленных перед произведенными опытными работами, и место этих работ в общем комплексе ведущихся геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических исследований. Затем излагаются краткие сведения об объеме и видах выполненных работ, о примененных методике и аппаратуре.

3. В главе „Физико-географические условия“ описываются местонахождение участка, метеорологические условия в период

производства работ, местные условия водоснабжения опытного участка и рельеф местности.

4. В главе „Геологическое строение“ кратко сообщаются сведения об испытываемых породах, их геологическом возрасте, тектонике, трещиноватости, литологии.

5. В главе „Гидрогеологические условия“ характеризуются проходимые опытными скважинами водоносные горизонты, уровень вод, основные сведения о режиме вод, о колебаниях уровня в естественных условиях, о химическом составе вод.

Далее следует описание произведенных работ: буровых и опытных, с приложением всех фактических данных—буровых журналов, журналов нагнетаний, графиков, полученных в процессе полевой обработки. Здесь же описывается примененная аппаратура, организация водоснабжения, конструкция тампонов.

7. В следующей, 6-й главе излагаются результаты камеральной обработки, расчеты водопоглощения и коэффициентов фильтрации, сопоставление полученных данных с геологическим разрезом. Для иллюстрации этой главы прилагаются диаграммы водопоглощения. Расчетный материал излагается в таблицах.

8. В заключительной главе излагаются выводы о произведенных исследованиях, о практическом значении полученных данных для разрешения поставленных перед исследованиями практических задач.

9. Составленный производителем работ отчет представляется на просмотр и утверждение начальнику партии или начальнику группы опытных работ и после соответствующего оформления и изготовления копий передается для использования в другие группы и в проектирующую или строительную организацию, по заказу которой данная работа производилась.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Батыгин В. И. и Павлов В. П. Методические указания к производству опытных нагнетаний. Сб. Гидроэнергопроекта № 3, 1938.

2. Инструкция по водно-энергетическим изысканиям. Вып. III—Инженерная геология. Москва, 1934.

3. Керкис Е. Е. Методика опытных работ на фильтрацию в трещиноватых породах. Труды Центральн. научно-исследовательского геолог.-разведочного института (ЦНИГРИ), вып. 40, Ленинград—Москва, 1936.

4. Люжон М. Плотины и геология. СНТН. Москва—Ленинград, 1936.

5. Коль С. А. Инструкция для определения водопроницаемости горных пород и водопоглощения нагнетанием вод в буровые скважины. Фонды Спецгидростроя.

6. Коль С. А. Приборы для нагнетания воды в буровые скважины. „Геотехсо“, вып. IX, № 90—130, 1941, Комитет по делам геологии при СНК СССР.

1. Скважина .....
2. Опытный участок или исследуемая площадка (название) .....
3. Местонахождение (селение, район, область) .....
4. Абсолютная отметка устья скважины .....
5. Конструкция и глубина скважины .....
6. Характеристика пород, опробуемых скважиной .....
7. Источники и общая схема водоснабжения .....
8. Насосы .....
9. Приборы и способы измерения расхода воды (водомеры, градуированные баки, медные сосуды) .....
10. Способы и порядок испытания скважины нагнетанием .....
11. Тип тампона .....
12. Опробуемый участок, глубина от ..... до .....
13. Уровень воды в скважине до обжатия тампона (глубина от устья) .....
14. Уровень воды после обжатия тампона .....
15. Высота манометра над устьем скважины .....
16. Температура воды, нагнетаемой в скважину .....
17. Температура воды в скважине .....
18. Время нагнетания (число, месяц, час) начало—конец .....
19. Фамилия производителя работ .....

**Ф о р м а 2**

[illegible]

[illegible]

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение. Исторический обзор развития опытного нагнетания, как метода исследования фильтрационных свойств горных пород .....	3
Глава I. Способы нагнетания и порядок испытания отдельных участков (зон, слоев) исследуемой толщи пород .....	8
§ 1. Участковые и суммарные нагнетания и соотношения их с процессом бурения опытных скважин .....	8
§ 2. Участковые нагнетания в процессе бурения по методу „нисходящих зон“ Люжона .....	8
§ 3. Нагнетание в процессе бурения при постоянном положении тампона на верхней границе исследуемой толщи .....	10
§ 4. Суммарные и участковые нагнетания в скважину, законченную бурением, с переменным положением тампона и постоянным забоем. . .	11
§ 5. Нагнетание в отдельные участки скважины, законченной бурением, в восходящем порядке с последующей цементацией опробованных зон .....	11
§ 6. Участковое нагнетание с изоляцией испытуемых участков сдвоенными тампонами .....	12
§ 7. О выборе способа, порядка нагнетания и участков для установки тампонов. ....	13
Глава II. Оборудование для производства опытных нагнетаний .....	15
§ 8. Перечень основного оборудования для производства опытного нагнетания .....	15
§ 9. Тампонирующие устройства и манометры .....	15
§ 10. Организация водоснабжения. Напорные баки и резервуары, насосы и трубопроводы .....	18
Глава III. Бурение и подготовка скважины для опытного нагнетания .....	20
§ 11. Бурение и крепление скважины .....	20
§ 12. Геологическая и гидрогеологическая документация по опытным скважинам .....	21
§ 13. Выделение в скважине участков для нагнетания и установление способов и порядка испытания .....	22
Глава IV. Производство нагнетаний .....	22
§ 14. Состав работ по опытному нагнетанию .....	22
§ 15. Измерение уровня воды в скважинах .....	23
§ 16. Установка тампона .....	23

§ 17. Производство наблюдений в процессе нагнетаний. Измерение расхода воды и напора .....	25
§ 18. Налив воды в скважины как метод исследования водопроницаемости .....	26
Глава V. Обработка материалов опытного нагнетания .....	27
§ 19. Предварительная обработка материала на месте работ .....	27
§ 20. Вычисление удельного водопоглощения .....	29
§ 21. Камеральная обработка материалов опытных нагнетаний .....	30
§ 22. Определение коэффициента фильтрации нагнетанием и наливом в скважины .....	31
23. Составление отчета о произведенных работах .....	33

---

Редактор *М. В. Семенова*

Техн. редактор *Р. Аронс*

Сдано в набор 30/IX 1946 г.

Подписано к печати 15/XI 1946 г.

Зак. № 893

Формат бумаги 60х92 $\frac{1}{16}$

М07290

Тираж 3000

Печ. листов 2 $\frac{1}{2}$

Цена 2 р- 50 к.

Типография Картфабрики Госгеолиздата

# О П Е Ч А Т К И

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать	По чьей вине
7	6 снизу	битумизация	битуминизация	редактора
26	4 сверху	нагревания	нагнетания	"
27	9 снизу	измерения	изменения	"