

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

Всесоюзный научно-исследовательский
институт гидрогеологии
и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО)

*В.С.Алексеев ,
Л.А.Розлин , А.Г.Тесля*

ЭКСПРЕСС-ОПРОВОБОВАНИЕ
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

*Серия :
Гидрогеология и инженерная геология*



Москва 1972

Экспресс-опробование гидрогеологических скважин. Алексеев В.С., Рохлин Л.А., Тесля А.Г. Обзор. Серия: Гидрогеология и инженерная геология. ВИАМС, 1972, 50 стр.

Рассматриваются методы экспресс-опробования пластов и скважин путем использования опережающего опробования, испытателей пластов, расходомерии скважин, термометрических исследований, изучения поглощения промывочной жидкости в процессе бурения скважин, способа подкачки газа, проведения экспресс-налива или экспресс-оттартовывания. Приведены основные приемы обработки экспериментальных данных применительно к способу опробования и методике производства работ.

Приведена характеристика приборов для измерения расходов и уровней воды в скважинах; сформулирована рациональная область применения расходомерии как метода оценки зональной проницаемости пластов. Даны рекомендации по методике оценки достоверности различных методов опробования водонесных пластов, и на примере анализа достоверности результатов опережающего опробования установлено, что полученные данные о водопроницаемости сопоставимы с результатами опытных откачек.

ЭКСПРЕСС-ОПРОБОВАНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

В в е д е н и е

Возросшие требования к качеству и детальности гидрогеологических исследований предопределяют развитие и внедрение экспресс-методов опробования скважин. В настоящее время разработаны новые способы опробования одиночных скважин, которые нашли применение в практике гидрогеологических исследований и разведочных работ на нефть и газ.

Под экспресс-опробованием понимается кратковременное возмущение пластов с целью получения без больших затрат средств и времени предварительных сведений о небольшой по охвату площади пласта. Применяемые в настоящее время методы детального опробования весьма трудоемки. С помощью же несложных экспресс-методов возможно получить данные для обоснования объемов и объектов дальнейших детальных исследований. Экспресс-методы позволяют охарактеризовать строго определенную зону пласта и получить не обобщенную по скважине величину проницаемости пород, а дать характер изменения проницаемости пород в разрезе, а в отдельных случаях и в плане.

Сравнение результатов экспресс-опробования пластов с данными откачки, а также оценка точности экспресс-методов опробования с применением дисперсионного анализа показывают, что при соответствующем учете конструктивных особенностей скважины полученные значения параметров пластов близки к истинным.

Совершенствование техники опробования, уменьшение длительности откачек и опробования одиночных скважин предопределяют

усложнение методики обработки опытных данных. Поэтому определение рациональной области применения рассматриваемых методов опробования, несомненно, будет способствовать более широкому внедрению экспресс-методов в практику гидрогеологических работ.

ЭКСПРЕСС-ОПРОВАНИИ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ

Опережающее опробование

В последние годы для опробования водоносных горизонтов применяются новые способы и технические средства - испытатели пластов на трубах, опробователи на кабеле, регистрирующие глубинные манометры, термометры, расходомеры и другие приборы.

При опробовании рыхлых отложений (до IV категории пород по буримости) наиболее широкое распространение получил способ опережающего опробования водоносных пластов и опробование скважин с использованием резиновых тампонов, позволяющих изолировать фильтр от находящегося выше раствора при проведении кратковременных откачек из опробуемого интервала [I].

При опережающем способе опробования водоносных пластов фильтр-опробователь при расхаживании бурового снаряда или его вращении с одновременным нагнетанием через бурильные трубы чистой воды вводится в водоносный пласт, представленный рыхлыми породами (рис. I). Однако в большинстве случаев надежные данные о понижении - восстановлении уровня в ходе откачки или после ее остановки могут быть получены только с использованием пневматического уровнемера (ПУР).

Полученные значения расхода, понижения уровня при постоянном расходе и данные о восстановлении уровня, регистрируемые после остановки откачки с постоянным расходом, используются при расчетах величин коэффициента фильтрации и водопроводимости пласта с учетом сопротивления сетчатого фильтра. Поскольку длина фильтра-опробователя обычно не превышает двух метров, при обработке опытных данных, как правило, с достаточной точностью может быть использована формула Н.Н.Веригина [II]

$$K = \frac{0,366 Q \left(\lg \frac{1,47l}{\varepsilon r_c} + \varepsilon_2 \right)}{l S_p} \quad (I)$$

- где Q - расход скважины;
 l - длина фильтра-опробователя;
 r_c - радиус фильтра-опробователя;
 ξ_{Σ}^2 - показатель сопротивления фильтра;
 ξ - коэффициент равный 2 в случае, если фильтр касается кровли или подошвы пласта, и 1, если фильтр находится в середине пласта;
 S_p - расчетное понижение уровня с учетом потерь напора в бурильных трубах.

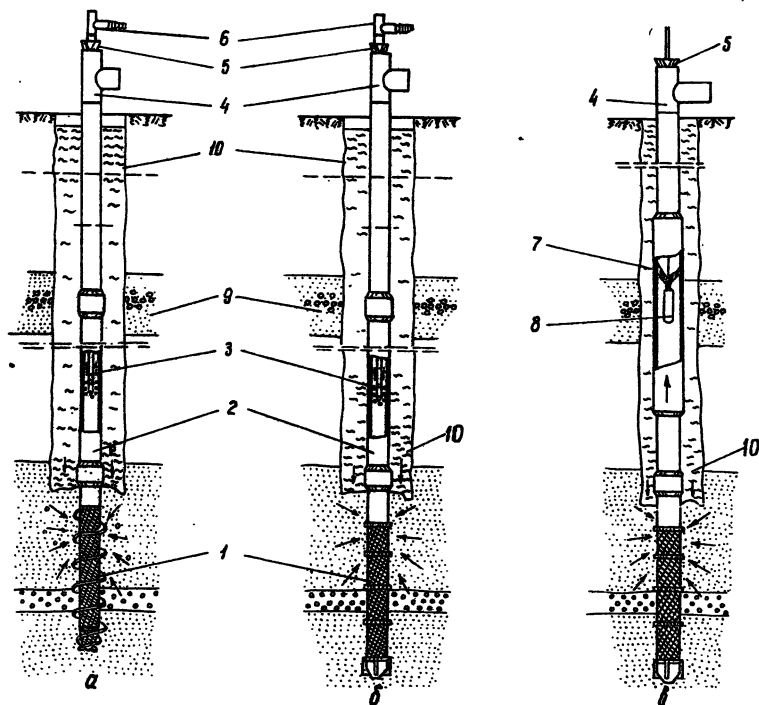


Рис.1. Схемы опробования водоносных пластов в рыхлых отложениях опережающим способом с фильтрами шнекового (а) и промывочного (б,в) типов

- I - фильтр-опробователь; 2 - бурильные трубы; 3 - воздухоподающие трубы; 4 - тройник для слива; 5 - пробка; 6 - тройник на воздушной линии; 7 - поршень; 8 - груз; 9 - пески с прослоями гравия; 10 - глинистый раствор

Приближенные данные о величине ξ_{72} (безразмерный показатель сопротивления стандартного фильтра-опробователя на контакте с породой) в зависимости от коэффициента фильтрации K пород пласта приведены ниже:

K , м/сутки	ξ_{72}
До 5	1,5
5-10	2,3
10-20	4,3
20-40	6,0
40-60	6,2
60-80	6,4
80-100	6,5

Расчетное понижение уровня S_p определяется как разность величины понижения в трубах S_0 и величины гидравлических потерь ΔS

$$S_p = S_0 - \Delta S \quad (2)$$

Примерные величины гидравлических потерь ΔS в зависимости от расхода воды, откачиваемой через буровые трубы диаметром 50 и 60,3 мм, длиной около 5 м, следующие:

Расход, л/сек	Потери давления ΔS , м
0,05	0,01
0,10	0,03
0,20	0,08
0,30	0,21
0,40	0,70
0,50	1,06

Величина гидравлических потерь на пути от фильтра-опробователя до датчика уровнемера в трубах длиной L равна произведению величины потерь в одной трубе ΔS на число труб.

Величина коэффициента фильтрации может быть уточнена методом последовательных приближений [17] с использованием уравнения

$$l S_p K - 0,366 Q \left(\lg \frac{1,47 l}{\xi r_0} - a_1 - b \lg K \right) = 0 \quad (3)$$

где α и β - коэффициенты, определяемые в зависимости от типов фильтровых сеток [1].

Уравнение (3) решается графически путем построения кривых $F_1(K)$ и $F_2(K)$

$$F_1(K) = \ell S_p K ; \quad (4)$$

$$F_2(K) = 0,366 Q \left(\lg \frac{1,47}{\epsilon r_0} - \alpha - \beta \lg K \right) . \quad (5)$$

Их пересечение дает значение K с достаточной для практических целей точностью.

Данные о восстановлении уровня после остановки откачки обрабатываются путем построения графиков $S=f(\ell n t)$, с использованием которых по формуле (I) определяются водопроницаемость Km и коэффициент проницаемости a .

Применение способа опережающего опробования сдерживается ненадежностью показаний ПУР и сложностью его эксплуатации, а также отсутствием надежного и простого прибора для замера величины понижения уровня при эрлифтной откачке через буровые трубы. Анализ материалов применения способа опережающего опробования в различных организациях показывает, что в большинстве из них он применяется только для качественной оценки водоносных пластов [34]. Практически этот способ успешно применяется на глубинах до 600 м. При наличии соответствующего оборудования и соблюдении методики опробования он может быть использован на глубинах до 1000 м. Случаи прихвата снаряда, обвалов пород и другие осложнения редки. Имеется опыт проведения в одной скважине до 10 опробований и более.

Существенный интерес при использовании способа опережающего опробования представляет возможность получения точных характеристик пласта, позволяющих оценить фильтрационную неоднородность пород в разрезе. Для оценки фильтрационной неоднородности пород перспективно применение опережающего опробования и расходомерии скважин после установки фильтра [3].

Разновидностью способа опережающего опробования является приближенная оценка параметров пластов простыми снарядами с использованием различных тампонов для изоляции испытуемого интервала от глинистого раствора в скважине. На рис. 2, а показана схема опробования водоносного пласта, сложенного гравийно-галеч-

никовыми породами. После спуска фильтра в скважину засыпают гравий на один-два метра выше фильтра. Затем засыпают глину и опилки, изолирующие фильтр от вышележащего раствора при проведении кратковременной откачки.

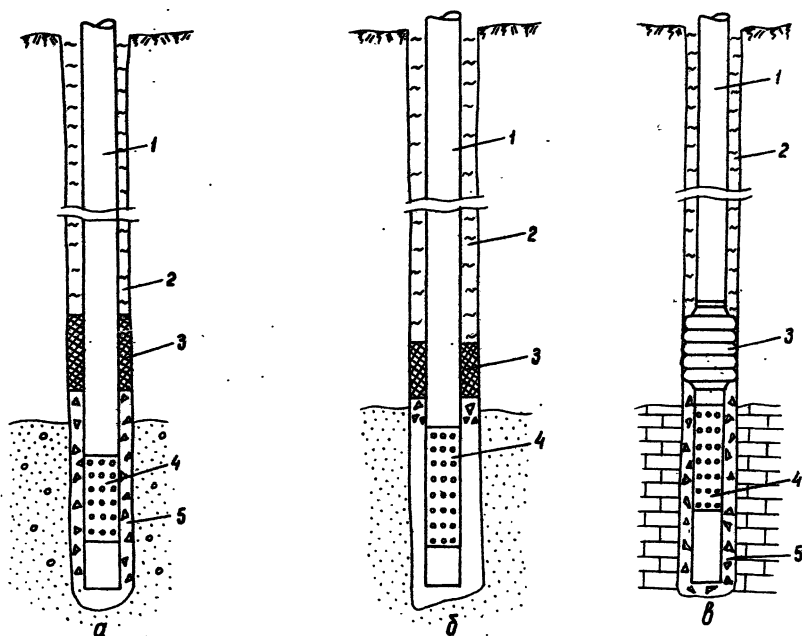


Рис.2. Схемы опробования в гравийно-галечниковых породах (а), мелкозернистых песках (б), известняках и других устойчивых породах (в)

1 - бурильные или обсадные трубы; 2 - глинистый раствор; 3 - тампон; 4 - фильтр; 5 - гравийная засыпка

При опробовании водоносных горизонтов, представленных мелкозернистыми песками (см.рис.2,б), пласт вскрывают наконечником, диаметр которого равен диаметру фильтра. Фильтр опускают в этот интервал скважины при одновременном нагнетании чистой воды. После создания над фильтром тампона из опилок, глины и других материалов стенки скважины сохраняют устойчивость при проведении кратковременной откачки.

При опробовании водоносных горизонтов в устойчивых породах можно применять снаряды с резиновыми тампонами и пакерами различных конструкций, что позволяет проводить пробные откачки без обсадки скважины трубами (см. рис. 2, в). В Краснодарской экспедиции для изоляции пластов в скважине при проведении кратковременных откачек успешно применяется брезентовый тампон, заполняемый перед спуском труб в скважину глинистым раствором, смешанным с цементом. Данные кратковременных откачек обрабатываются аналитически или графо-аналитически аналогично обработке результатов опережающего опробования водоносных пластов.

К методам скоростного опробования водоносных горизонтов, представленных рыхлыми породами, относится также метод задавливания специального фильтра с помощью самоходной установки статической пенетрации типа СУП-10 или СПКУ [6, 34]. В этом случае опробование производится с помощью фильтрового устройства, состоящего из фильтра и насоса с приспособлением для замера уровня в процессе откачки (Ю. Д. Буштетт, А. Г. Тесля, авт. св. № 173158).

Это устройство может применяться для исследования водоносных горизонтов при проведении изысканий для осушения и орошения, для сельскохозяйственного водоснабжения, при изысканиях под фундаменты гражданских и промышленных сооружений.

Определение основных гидрогеологических параметров пластов при опробовании скважин указанными фильтровыми снарядами с тампонами или при задавливании (вмывании) фильтра в пласт необходимо производить по методике, изложенной применительно к опережающему опробованию.

Опробование пластов испытателями на трубах и опробователями на кабеле

Пластоиспытатели и опробователи получили широкое применение в практике опробования скважин на нефть и газ. Если в 1965 г. в СССР испытателями пластов было опробовано 10,3% всех объектов, то в 1968 г. уже 32,9%. В США около 80% разведочных скважин на нефть и газ исследуется с помощью испытателей и опробователей пластов. При проведении гидрогеологических исследований опыт их использования невелик.

Пластоиспытатели и опробователи делятся на три группы: пластоиспытатели на бурильных трубах; опробователи на каротажном

кабеле или тросе и пластоиспытатели, опускаемые в бурильную колонну.

Пластоиспытатели на бурильных трубах в настоящее время изготавливаются в двух видах: с пакерующими элементами - комплект измерительных инструментов (КИИ) конструкции Грозненского и Уфимского нефтяных научно-исследовательских институтов - и без пакерующих элементов - испытатель пластов конструкции ВСЕГИНГЕО.

Преимуществами опробования водоносных горизонтов пластоиспытателями являются возможность опробования пластов без крепления скважин трубами и без удаления глинистого раствора, а также определение основных гидрогеологических параметров исследуемых пластов в процессе бурения.

К недостаткам существующих пластоиспытателей относятся необходимость проведения кавернометрии или профилирования скважины для выяснения интервалов, пригодных к установке резиновых элементов пакера, и возможность прихвата хвостовика пластоиспытателей после длительного стояния на притоке.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускаются испытатели пластов, предназначенные для нефтяных и газовых скважин. Однако при бурении глубоких скважин на промышленные, термальные и минеральные воды, а также при сооружении скважин для захоронения промстоков можно применять испытатели пластов, разработанные в нефтяной промышленности. Применение испытателей позволяет отобрать пробы воды и газа из исследуемых пластов, определить пластовое давление и приблизительно оценить основные гидрогеологические параметры пластов.

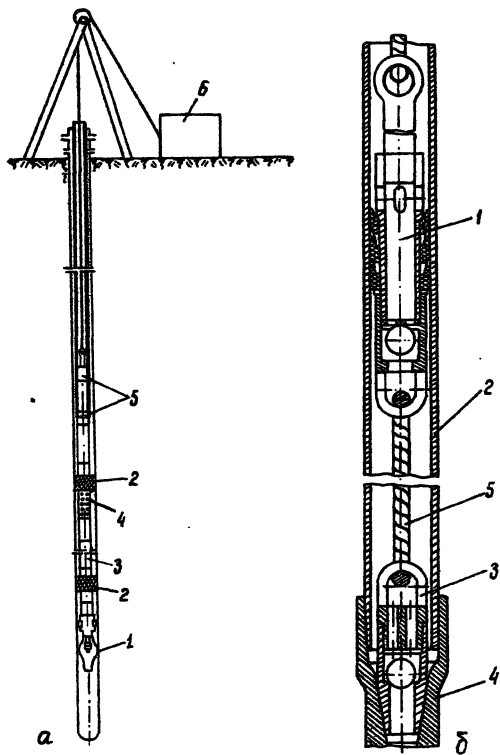
Для испытания интервала, находящегося значительно выше забоя, или для испытания одного пласта, когда скважиной уже вскрыто несколько пластов, применяют компоновку снаряда из серийных узлов КИИ с двумя пакерами [27].

В последние годы успешно внедряется опробователь пластов "Саратовец" общей длиной 8 м, диаметром 170 мм, состоящий из циркуляционного и предохранительного клапанов, двух пакеров ОПТС-8/10, переходника с манометром и узла для отбора пробы [26]. Разжатие пакеров осуществляется путем нагнетания через бурильные трубы избыточного давления от бурового насоса или цементировочного агрегата.

В последние годы разработан еще один типоразмер пластоиспытателя КИИ-127, который прошел успешные промышленные испыта-

ния на скважинах треста "Краснодарнефтегаз". КИИ-127 состоит из следующих узлов: фильтр-хвостовик, пакер, безопасный переходник, ясс, переходник с манометром на 840 ат, собственно испытатель пластов, запорно-поворотный клапан, 100 м бурильных труб и циркуляционный клапан [27].

Фирмой Ляйнз (США) разработан испытатель пластов многократного действия с насосом для раздувания гидравлических пакеров, позволяющий опробовать за один спуск несколько пластов. Насос



приводится в действие вращением колонны бурильных труб, а открытие и закрытие клапанов испытателя осуществляется натяжением и спуском колонны [40].

Помимо использования регистрирующих манометров, для получения сведений о гидродинамических характеристиках пластов можно также производить откачку через бурильные трубы [4]. Для этого при сборке инструмента на необходимой глубине можно по методу Э.И.Аракеяна устанавливать поршневый цилиндр и переходник для посадки нижнего клапана. Плунжер насоса и нижний клапан опускаются на тросе, который укрепляется на кривошипе вала подъемника (рис.3).

Выпускаемые отечественной промышленностью комплекты испытательных инструментов для скважин на нефть и газ комплектуются пакерами из жесткой резины, что в большинстве слу-

Рис.3. Схема насоса и откачки через бурильные трубы

а - схема откачки из скважины: 1 - направляющий фонарь; 2 - тампоны; 3 - бурильные трубы; 4 - фильтр; 5 - насосный узел; 6 - насосная качалка; б - схема насосного узла: 1 - плунжер насоса с нижним клапаном 3 на тросе 5; 2 - цилиндр; 4 - переходник для посадки нижнего клапана

чаев не позволяет создавать необходимые нагрузки для разжатия пакеров при бурении сравнительно неглубоких скважин на воду. Поэтому применение КИИ целесообразно в скважинах глубиной более 300-500 м или в тех случаях, когда имеется возможность создания дополнительного давления на колонну труб от лебедки с помощью гидросистемы бурового станка [36].

ВСЕГИНГЕО разработан испытательный снаряд ИСВ для послонно-го опробования водоносных горизонтов в процессе бурения скважин в устойчивых разрезах. Снаряд ИСВ состоит из хвостовика, цилиндрического секционного пакера, клапанных узлов и колонны водо-подъемных труб. В хвостовике и бурильных трубах устанавливаются глубинные манометры (рис.4). От испытателей пластов КИИ Грозненского и Уфимского научно-исследовательских нефтяных институтов для нефтяных и газовых скважин он отличается простотой конструкции и меньшей жесткостью резинового пакера. Широкое сечение проходного канала в пакере позволяет помимо получения с помощью манометра диаграммы давлений производить также микрооткачку воды из подпакерной зоны через бурильные трубы, как и при опережающем опробовании. Для опробования неглубоких скважин применяется упрощенная компоновка снаряда: хвостовик-фильтр, пакер и трубы. Колонна труб, на которых опускают в скважину снаряд, может быть комбинированной (см.рис.4,б). Применение такого снаряда сокращает время опытных работ, исключает необходимость закрепления скважины обсадными трубами и их цементацию.

Аналогичный снаряд СИП-3 разработан в Волго-Донском геологическом управлении и состоит из фильтра, пакера, безопасного переходника, уравнительного клапана и комбинированной колонны (бурильные и обсадные трубы). Обычно с помощью СИП-3 проводят поинтервальные откачки [31].

На рис.5 показана зависимость диаметра пакера D_{max} от нагрузки P для двух типов пакеров - ВСЕГИНГЕО и серийного. Основным преимуществом пакера в снаряде ИСВ является возможность его применения при небольших нагрузках снаряда.

Результаты стендовых и опытных работ с пакерующими элементами, полученные ВСЕГИНГЕО, показывают, что при нагрузке до 3 т испытательный снаряд ВСЕГИНГЕО можно применять в скважинах диаметром до 150 мм, в то время как серийные пакеры требуют в этих условиях нагрузок до 7 т.

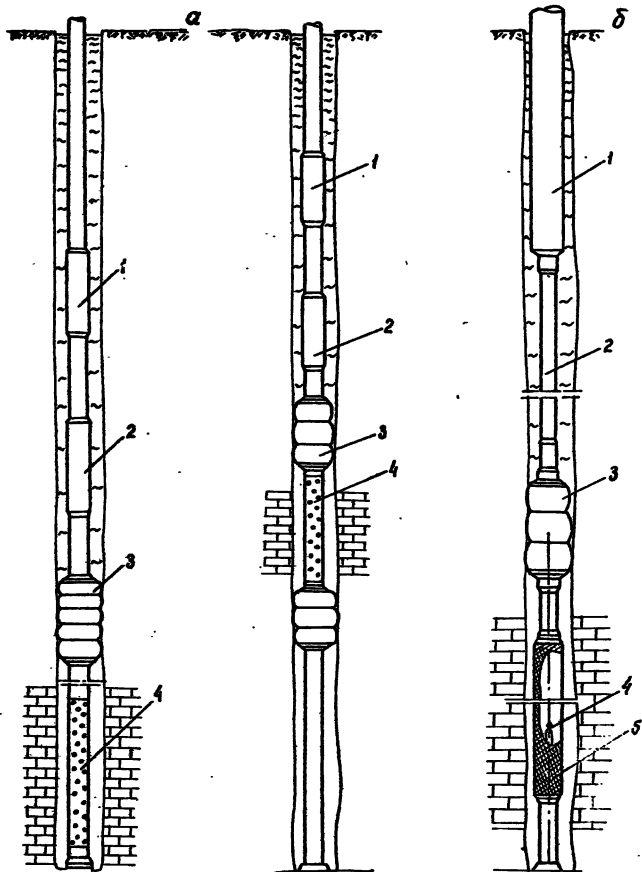


Рис. 4. Схемы применения прибора ИСВ

- а - прибор с одним и двумя пакерами: 1 - поплачковый клапан; 2 - узел с манометром; 3 - пакер; 4 - фильтр;
 б - прибор для откачки воды из подпакерной зоны:
 1 - обсадные трубы; 2 - буровые трубы; 3 - пакер;
 4 - манометр; 5 - фильтр-хвостовик

Прибор ИСВ рекомендуется применять для испытания гидрогеологических скважин в процессе бурения в устойчивых породах по мере вскрытия водоносных горизонтов. Пропущенные пласты можно опробовать после проходки скважины по схеме снизу вверх.

Представляет интерес применение для исследования водоносных горизонтов испытателя пластов со

струйным насосом (И.П.Грушевский, авт.св. № II0560).

Нагнетаемая по бурильным трубам вода раздувает резиновые манжеты пакера и идет далее в смесительную камеру водоструйного насоса. В процессе откачки регистрирующий манометр фиксирует изменение давления.

В Северокавказском нефтяном научно-исследовательском институте разработана новая конструкция испытателя пластов для скважин диаметром 190–295 мм. Типовая компоновка узлов этого испытателя с манометрами в фильтре, хвостовике, между яссом и испытателем обеспечивает многократные

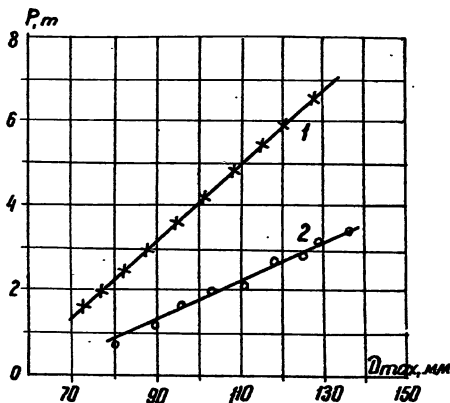


Рис. 5. Зависимость диаметра пакера от нагрузки

1 — серийный пакер; 2 — пакер ВСЕГИНГЕО

закрытые и открытые периоды с получением двух-трех и более кривых восстановления давления за один спуск. В этом снаряде впервые применен пакер с раздвижной опорой из металлических пластин, что позволило увеличить коэффициент пакеровки до 1,22 и улучшить проходимость пакера при спуске в скважину. Закрытие — открытие притока осуществляется не поворотом снаряда, а его поднятием на 1 м.

При производстве откачки через трубы из подпакерной зоны для определения основных гидрогеологических параметров можно применять методику, изложенную применительно к опережающему опробованию. Однако учитывая, что снаряды с резиновыми пакерующими элементами применяются в более глубоких скважинах, необходимо всегда учитывать гидравлические потери в бурильных трубах. Для учета гидравлических потерь можно пользоваться табличными данными справочника по гидравлическим расчетам в бурении [24].

Точность определения параметров опробуемых пластов в значительной мере зависит от показаний приборов для регистрации дав-

ления в скважине, уровня, температуры и минерализации воды, расхода скважины и др.

Глубинные манометры – основные приборы, с помощью которых получают диаграммы давления, необходимые для оценки качества испытания и определения основных гидрогеологических параметров пласта, для замера пластового давления и других целей. В настоящее время Ивано-Франковским заводом изготавливаются глубинные манометры типа МП и МТ на давления 100–160; 220–250; 400–600 ат, которые можно применять при температурах до 160°.

При сочетании обсадных колонн и насосов диаметрами 5 и 2,5", 6 и 3" применение стандартных глубинных приборов (диаметр 36 мм и более) не представляется возможным. Для таких случаев в УФНИИ разработан малогабаритный пружинно-поршневой манометр МПМ-4 с приводом от микроэлектродвигателя. В настоящее время завод "Нефтеавтоматика" (г. Октябрьский, БАССР) освоил промышленный выпуск манометров МПМ-4.

Глубинные геликсные манометры с местной регистрацией МГИ-1 входят в самоходную полевую лабораторию СПЛ-1 и предназначены для измерения давления в призабойной зоне и в трубах при исследовании скважин с помощью испытателей пластов. Отличительной особенностью манометров МГИ-1 является установка механизма задержки включения часового привода регистрации. Это позволяет получить увеличенный масштаб записи по времени, так как в период испытания пласта увеличенный масштаб регистрации обеспечивает получение более полной информации об исследованном пласте.

Исследованиями А.И.Петрова [28] установлено, что глубинные дифференциальные манометры целесообразно применять при измерении депрессий от 30 до 50% от максимального давления в скважине вместо серийных типов приборов поршневых и геликсных.

Если через пластоиспытатель производится откачка, то данные этих откачек при известном расходе и показаниях забойного манометра обрабатываются по методике, аналогичной расчету параметров по данным опережающего опробования с учетом несовершенства скважины. Диаграмма же давления, измеренного глубинным манометром под пакером, требует специальных методов интерпретации.

Количественная интерпретация участка кривой восстановления давления основывается на теории восстановления давления в скважинах, однако графики зависимости $S=(\ln t)$ в этом случае использовать нельзя, так как приток из пласта к моменту прослеживания

восстановления давления не является установившимся, а приток в скважину наблюдается в течение непродолжительного времени t . Кроме того, при поступлении жидкости в пустые бурильные трубы приток в скважину будет все время уменьшаться до тех пор, пока гидростатическое давление столба жидкости не уравнивается пластическому давлению. Следовательно, для обработки экспериментальных данных необходимо знать либо закон уменьшения расходов, либо определять его в период проведения опробования.

Для учета изменения величины расхода воды, притекающей в пластоиспытатель в процессе опробования, кривую изменения расхода аппроксимируют двух- или трехступенчатой ломаной линией и определяют параметры опробуемого пласта, основываясь на принципе сложения течений. Расчеты при этом выполняются так же, как и при обработке данных опытных откачек с переменным расходом. Однако наиболее точные значения параметров опробуемых пластов могут быть получены с использованием рекомендаций Э.Б.Чекалюка [21] и методики УФНИИ [22].

На основе сравнительных исследований точности различных методов обработки опытных данных, проведенных в УФНИИ [21], при расчетах предлагается использовать формулу Э.Б.Чекалюка

$$\frac{P_K - P_n}{q_n} = \frac{M}{4\pi Km} \left(\ln \frac{a}{r_c^2} + \ln t_n \right), \quad (6)$$

где P_K - давление на контуре пласта;
 $P_n = (0,93 S^* + 0,07) P_n$;
 S^* - отношение площади, ограниченной кривой $P(t)$ и ординатой P_n к $P_n \cdot t_n$;
 $q_n = \frac{V_n}{t_n}$ - средний дебит;
 V_n - накопленный объем жидкости;
 t_n - время от момента открытия выпускного клапана, сек;
 M - вязкость пластовой жидкости, спз.

Кроме того, оценка параметров пластов может быть произведена с использованием эталонной кривой, которая при предположении, что изменение дебита подчиняется экспоненциальной зависимости

$$q(t) = q_0 e^{-\alpha t}$$

(α - определяет темп падения дебита), может быть построена с использованием уравнения

$$\Delta P(t) = \frac{Mq(t)}{4\pi km} \left\{ \ln \frac{2,25a}{r_c^2} + [Ei(\alpha t) - Ei(\alpha)] \right\}, \quad (7)$$

где $Ei(\alpha)$ - интегральная показательная функция от аргумента α ;

q_0 и α - параметры экспоненциальной функции, которой аппроксимируется кривая уменьшения дебита в ходе опробования.

Для этих целей также могут быть использованы формулы Ф.М.Бочера для прогноза работы одиночной скважины, работающей с экспоненциально уменьшающимся дебитом [10].

Влияние технологии проведения опробования на точность полученных параметров пласта рассматривается в работах В.А.Колокольцева, Н.Н.Лапшина, А.И.Петрова [21,28].

Каротажные опробователи пластов конструкции Волго-Уральского филиала (ВУФ) ВНИИГеофизики обеспечивают герметизацию участка отбора пробы на определенной глубине, испытание в одной точке пласта и подъем пробы на поверхность с сохранением в ней пластового давления. Одним из существенных недостатков данного аппарата является недостаточный объем отбираемых проб (5-20 л) и наличие в них глинистого раствора.

Отечественные приборы типа ОПК (опробователи на кабеле) не могут быть применены для исследования неглубоких гидрогеологических скважин, так как они работают при давлении не менее 25 ат, т.е. на глубинах более 250 м [9]. В последние годы Волго-Уральским филиалом (ВУФ) ВНИИГеофизики разработан опробователь пластов с электродвигателем и системой прямой механической передачи (с выдвижной лапой), обеспечивающими большую надежность работы прибора и лучшую работоспособность его в скважине. ВУФ ВНИИГеофизики разработан также специальный гидрогеологический опробователь пластов ОПГ, предназначенный для отбора герметичных проб жидкости и газа из пластов. С его помощью можно определить также статический уровень исследуемого пласта [9].

Всесоюзным научно-исследовательским институтом буровой техники (ВНИИБТ) и УФНИИ разрабатываются опробователи для исследования пластов без подъема бурового инструмента на поверхность [40].

Применение опробователей пластов на кабеле также позволяет приблизительно оценить параметры пластов [45]. Поскольку при

использовании таких опробователей приток в баллон происходит только в одном перфорационном отверстии, течение жидкости вблизи этого отверстия оказывается весьма близким радиально-сферическому, а изменение давления во времени может быть выражено формулой

$$p(t) = p_k - \frac{M}{4\pi k} \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}} \cdot \frac{V}{T} \left(\frac{1}{\sqrt{\Delta t}} - \frac{1}{\sqrt{T + \Delta t}} \right), \quad (8)$$

где p_k - начальное пластовое давление;
 $\alpha = \frac{M c \pi}{k}$ (здесь c - коэффициент сжимаемости, π - коэффициент пористости);
 V - общий объем добытой жидкости;
 T - общий период пребывания опробователя открытым (длина периода снижения давления);
 Δt - время после закрытия опробователя (время восстановления давления).

Практически во всех случаях обработка данных восстановления давления при опробовании пластов опробователем на кабеле может производиться путем построения графиков зависимости $\Delta p_{от} \left(\frac{1}{\sqrt{\Delta t}} - \frac{1}{\sqrt{T + \Delta t}} \right)$ и определения величины проницаемости по уклону получаемой прямой.

Опробование пластоиспытателем ОПК позволяет получить зональные сведения о параметрах пластов в разрезе путем их точечного зондирования.

Следует отметить, что экспресс-методы опробования, к которым относятся описанные способы и технические средства, эффективны в комплексном применении с геофизическими исследованиями, а также с откачками, наливом и т.д. Только рациональное комплексирование различных методов в зависимости от целей и условий работ позволит повысить информативность сведений о вскрываемых пластах и снизить стоимость опытных исследований.

Исследования скважин методом расходографии^{х)}

В комплексе экспресс-методов опробования водоносных пластов скважинная расходография находит все большее распространение, причем, согласно имеющимся рекомендациям, полученные результаты

^{х)} Этот раздел написан при участии А.Д. Курманенко.

интерпретируются одинаково вне зависимости от способа бурения и конструкции скважины. Очевидно, что установление рациональной области применения расходомерии будет способствовать более широкому внедрению этого метода в практику гидрогеологических исследований.

Одним из условий использования расходомеров является обеспечение необходимой точности измерения скоростей осевого потока воды в стволе скважины. Для расходомерии скважин могут быть использованы приборы, выпускаемые для целей опробования нефтяных и гидрогеологических скважин. Технические данные скважинных расходомеров приведены в табл. I. Указанные приборы имеют достаточную точность и могут использоваться при опробовании гидрогеологических скважин в ходе опытных откачек. Диаметр датчиков позволяет производить опробование как одиночных, так и центральных скважин на опытных кустах, внутренний диаметр которых обычно не менее 100 мм [40].

В практике гидрогеологических исследований наиболее широко применяются расходомеры типа ТСР, изготавливаемые в Уральской геофизической экспедиции. Без диафрагмирования расходомеры этого типа, несмотря на малую инерционность крыльчатки, обеспечивают измерение скоростей потока, начиная с 0,8-1,0 см/сек, а при скоростях движения воды более 180-200 см/сек становится затруднительной настройка счетчика прибора и оценка его работы.

Расходомер электроимпульсный (скважинный) РЭИ конструкции УФНИИ предназначен для определения притока воды из пласта и зоны ухода промывочной жидкости в скважинах диаметром от 5 до 12". Прибор фиксирует расходы от 1,5 до 100 см³/сек, порог чувствительности 1,4 см³/сек.

Расходомер глубинный дистанционный РГД-1м предназначен для дебитометрических исследований в скважинах диаметром 5-6", работающих с расходом от 5 до 200 м³/час.

Глубинный дистанционный расходомер РГД-6Б конструкции УФНИИ предназначен для измерения приемистости отдельных пластов и пропластков в нагнетательных скважинах, а также для определения мест разрыва эксплуатационной колонны (см. табл. I).

Т а б л и ц а I

Наименование расходомера	Организация-изготовитель	Пределы фиксируемых расходов через канал датчика, л/сек	Точность измерения, %	Диаметр датчика, мм
Расходомер электроимпульсный РЭИ	Октябрьский завод "Нефтеавтоматика"	0,2-1,5	±2,5	120
Тахометрический скважинный расходомер ТСР-34Э	Уральская геофизическая экспедиция	0,01-1,0	±3-10	34
Тахометрический скважинный расходомер ТСР-70Э	То же	0,005-2,0	±3-10	70
Тахометрический скважинный расходомер (фотоэлектрический) ТСР-70Ф	"	0,005-2,0	±3-10	70
Расходомер скважинный тахометрический РСТ	Западно-Сибирское геологическое управление	0,003-2,0	±3-10	43
Индукционный скважинный расходомер ДАУ-3	Управление "Донбассантрацит"	0,015-2,0	±6,0	73
Расходомер РГД-6Б	УФНИИ	0,06-26,0	2,0	110
" РГД-1м	"Нефтеавтоматика" (г. Бугульма)	1,0-50,0	±2,5	120

Во ВСЕГИНГЕО и ВНИИ ВОДГЕО проведены работы по оценке пределов применимости расходомерии в зависимости от глубины опробуемой скважины, способа бурения и конструкции водоприемной части скважины. Возможность использования расходомеров нефтяного типа для опробования глубоких скважин не вызывает сомнений. Опыт же применения приборов типа ТСР с электрической и фотоэлектрической регистрацией импульсов оборотов не нашел отражения в литературе. Наиболее широко приборы этого типа осваиваются в скважинах глубиной до 300 м. Опытные работы, проведенные совместно с Первомайской гидрогеологической партией Второго гидрогео-

логического управления, показали возможность применения расходомера ТСР-70Э в скважинах глубиной до 1200 м.

В условиях проведения разведочных работ важно знать, чем определяется наблюдаемая существенная разница в водопритоках по длине фильтра (необсаженной части) скважин - фильтрационной неоднородностью скрытых пород или изменением проницаемости призабойной зоны скважины в процессе ее бурения, освоения и установки фильтра. Поэтому были проведены специальные исследования зависимости кривых расходомерии от способа бурения при различных конструкциях фильтров скважин. Расходомерические исследования проводились на скважинах, пробуренных роторным способом с глинистой промывкой и промывкой чистой водой, ударным, роторным при посадке фильтра гидрподъемом.

В результате этих исследований установлено, что кривая расходомерии в значительной степени определяется параметрами призабойной зоны, а не пласта в целом. Надежные расчеты гидродинамических параметров по этим данным можно получить только в том случае, если проницаемость пласта в призабойной зоне не изменяется или изменяется незначительно, либо величина искажения по мощности пласта постоянна. Поэтому метод расходомерии нецелесообразно использовать для определения гидродинамических параметров разрезов скважин, пробуренных вращательным способом с глинистой промывкой, так как степень разглинизации большинством способов, существующих в настоящее время, неравномерна по длине водоприемной части скважин.

На данном этапе изученности метод расходомерии можно рекомендовать в скважинах, пробуренных роторным способом с прямой или обратной промывкой чистой водой или ударным способом и оборудованных сетчатыми и гравийными фильтрами с каркасами любой конструкции, но равномерно перфорированными.

Отмеченное отклонение дифференциальной расходограммы в однородном пласте от прямой, параллельной оси скважин, связанное с конструктивными особенностями фильтров, может быть в первом приближении учтено в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе В.С.Алексеева, А.Д.Курманенко и др. [2].

С использованием решения Э.А.Грикевича [16] дифференциальная кривая расходомерии выражается формулой

$$V_{\text{вх}} = V_0 ch \frac{566 \frac{M^* \eta}{D} \ell}{D}, \quad (10)$$

где $V_{вх}$ - скорость входа воды в любом сечении ℓ по высоте фильтра, м/сек;

V_0 - скорость входа воды в начальном сечении фильтра, м/сек;

M^* - коэффициент расхода;

η - коэффициент скважности фильтра;

D - диаметр фильтра, см.

При относительно больших значениях выражения $566 \frac{M^* \eta \ell}{D}$ для скоростей входа можно записать

$$V_{вх} = V_0 \frac{\frac{566 M^* \eta \ell}{D}}{2} \quad (II)$$

Следовательно, чтобы оценить неравномерность нагрузки фильтра скважины и судить о неоднородности пласта в разрезе, необходимо в каждом случае наряду с опытной дифференциальной кривой расходомерии строить теоретическую. Для этого необходимо знать величину V_0 , которая берется из опытного графика расходомерии, и величину $M^* \eta = C$, определяемому конструктивными особенностями фильтра и влиянием контакта фильтр - порода.

Согласно лабораторным исследованиям, величина $M^* \eta$ с учетом контактных потерь напора в зоне фильтр - гравийная обсыпка для проволочных фильтров со скважностью $\eta = 0,2$ находится в пределах от $4 \cdot 10^{-2}$ до $4 \cdot 10^{-1}$; для щелевого фильтра с выступающими кромками при $\eta = 0,048$ величина $M^* \eta = 2,7 \cdot 10^{-2} \div 4,2 \cdot 10^{-2}$. Приведенные значения $M^* \eta$ характеризуют неравномерность нагрузки фильтров, находящихся в контакте с гравием с размером зерен от 1,4 до 20 мм. Близкие к этим значения $M^* \eta$ были получены ВНИИ ВОДГЕО при исследованиях фильтров на Горьковском стационаре.

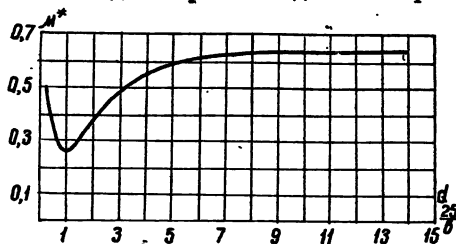


Рис.6. График зависимости коэффициента расхода M^* от $\frac{d_{25}}{B}$

При построении теоретической кривой с использованием параметра $M^* \eta$, кроме того, может быть использован график, приведенный на рис.6, (опыты Г.В.Донского [19]), характеризующий зависимость коэффициента расхода M^* от соотношения $\frac{d_{25}}{B}$ (d_{25} - размер частиц гравийной обсыпки

или водоносных пород, соответствующий 25%-ному содержанию их в пробе, δ - ширина щели или диаметр круглого отверстия). При оценке $M^*\eta$ величина скважности принимается в долях единицы.

Только после сравнения опытной и теоретической кривых расходомерии можно с полной уверенностью говорить о наличии фильтрационной неоднородности пород в разрезе.

Для оценки водопроницаемости пород по данным расходомерии можно предложить следующую последовательность расчетов.

1. На основе опытной кривой расходомерии строится дифференциальная кривая изменения скоростей входа при прекращении расходов по высоте фильтра.

2. Анализируется вид кривой и выделяются на ней точки перегиба, свидетельствующие о смене водопроницаемости пород в разрезе. По положению точки перегиба, что может быть установлено путем построения графиков зависимости $\ell q_{вх}$ от ℓ/D , определяется мощность слоев различной проницаемости.

3. В пределах каждого прослоя при закономерном росте входных скоростей по высоте фильтра, который ранее интерпретировался как постепенное увеличение проницаемости пород в разрезе, производится построение теоретической кривой с использованием формулы (II) и параметра $M^*\eta$, полученного ориентировочно по данным экспериментальных исследований.

При совпадении теоретической и экспериментальной кривых делается вывод об однородности изучаемого слоя по вертикали.

4. Определяется средний коэффициент фильтрации опробованной слоистой толщи по формуле Дюпюи. При этом величина радиуса влияния на предварительных стадиях разведки принимается по эмпирическим зависимостям, а на стадии детальной разведки - по данным кустовых откачек.

5. Производится корректирование расходограммы с результатами точечного опробования водоносных пластов в процессе бурения. Точечное опробование в рыхлых отложениях осуществляется опережающим методом, в устойчивых породах - с применением пластоиспытателей. Оценивается проницаемость отдельных прослоев, полагая, что

$$\bar{K}_{\text{ср}} = \frac{K_1 m_1 + K_2 m_2 + \dots + K_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}, \quad (I2)$$

где $\bar{K}_{ср}$ - средний коэффициент фильтрации пласта;
 $K_1, K_2 \dots$ - коэффициенты фильтрации различных прослоев;
 $m_1, m_2 \dots$ - мощности этих прослоев.

Далее, при известном значении проницаемости в одной точке пласта и средневзвешенной проницаемости опробуемого разреза пород на основании данных расходомертрии могут быть рассчитаны проницаемости остальных прослоев. При этом величины коэффициентов фильтрации отдельных пластов можно приближенно считать прямо пропорциональными количествам воды, поступающим из этих пластов в единицу времени.

Зональная проницаемость водоносных пород может быть определена и без точечного опробования, а непосредственно с использованием данных расходомертрии. Для этого после построения опытной и теоретической кривых расходомертрии в каждой опытной точке вычисляется отношение $\frac{V_{вх}}{V_{вк,г}}$ и производится построение графика его изменения по длине фильтра скважины. При известном соотношении опытных и теоретических входных скоростей в различных прослоях опробуемой неоднородной толщи и рассчитанном средневзвешенном значении ее проницаемости (водопроницаемости) нетрудно оценить проницаемость каждого слоя в отдельности.

6. При различных положениях пьезометрического уровня в прослоях в расчет следует принимать значения статических уровней, полученные по данным экспресс-опробования пластов в процессе бурения или по результатам расходомертрии при нескольких понижениях [15,29].

7. В многослойной системе методика интерпретации расходограмм остается прежней. Следует лишь предусматривать возможность раздельного опробования методом расходомертрии отдельных пластов для оценки их неоднородности в разрезе. Без дополнительных затрат это возможно при установлении колонны с фильтрами, разобоченными цементными пробками, которые разбуриваются сверху вниз по мере проведения опробования в процессе освоения опытной скважины.

Применение термометрии для оценки параметров пластов

Термометрические исследования в последнее время находят все более широкое применение при гидрогеологических исследованиях не только как методы качественных суждений о миграции и режиме

подземных вод, но и при решении инженерных задач. Этому способствует разработка новых, более точных термометров. Глубинные геликсные термометры с местной регистрацией ТТИ-1 конструкции ВНИИКАНефтегаз входят в состав самоходной полевой лаборатории СПЛ-1 для измерения и записи температуры в скважине при исследовании объектов с помощью трубных испытателей пластов.

Помимо приборов ТТИ-1 и ММТ-6, разработанных в последнее время, при исследовании скважин широко используются электротермометры, краткая характеристика которых дана в табл.2.

В последние годы все более широкое применение получают терморезисторы, позволяющие измерять температуру в диапазоне до 30°C с точностью до $0,05^{\circ}$. По характеру термограммы определяют направление потока и устанавливают интервалы притоков и поглощений; более точные термометры уже успешно применяют для выявления затрубной циркуляции, даже спустя продолжительное время (до двух недель) после закачки жидкости в скважину.

Большинство отечественных термометров с местной регистрацией может быть использовано в среде с температурой до 150°C . В США фирмой "Кастер" разработаны приборы, применяемые при температурах до 400°C .

ВНИИКАНефтегаз разработал конденсационный (парожидкостный) термометр для измерения температур до 400°C . Для увеличения чувствительности и уменьшения погрешности температурная шкала разбита на три диапазона: $50-150$; $150-250$; $250-400^{\circ}\text{C}$.

В последние годы разработаны приборы, позволяющие одновременно производить измерения нескольких параметров. Глубинный снаряд аппаратуры "Поток-4" конструкции ВНИИНефть, предназначенный для одновременного дистанционного измерения давлений и температуры по стволу скважины, забойных и пластовых давлений, позволяет производить построение профиля притока жидкости по мощности пласта. Прибор состоит из манометра, термометра, дебитомера, измерителя соотношения фаз, электронного блока давлений и температуры, блока дебита и состава жидкости и пакерующего узла с приводом. В скважину прибор опускают на бронированном однопровольном кабеле.

Наиболее широко термометрические исследования применяются при определении параметров слабопроницаемых отложений, разделяющих водоносные пласты, и скорости вертикального перемещения между горизонтами, имеющими существенно различные напоры.

Т а б л и ц а 2

Наименование	Тип, марка	Габариты (в числителе диаметр, в знаменателе длина), мм	Точность измерения, °С	Погрешность, °С	Пределы измерения температуры, °С	Завод-изготовитель, стоимость
Электротермометр	ЭТМИ	42/980 60/980	$\pm 0,2-0,5$	$\pm 0,3$	10-120	Трест "Грознефтегеофизика", 44 руб.
То же	ЭСО-2	60/	$\pm 0,5$	-	10-120	-
"	ЭТС-2М	42/542	$\pm 0,2-0,5$	$\pm 0,1$	20-120	Уфимский завод геофизического приборостроения, 100 руб.
"	ЭТО-2	73/	$\pm 0,3$	-	10-160	-
Электронный одножильный термометр	ЭТО-3	68/2750	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	-	Трест "Азнефтегеофизика", г.Баку, 400 руб.
Электротермометр каротажный	ТЭГ-2	73/1960	$\pm 0,1$	1%	-	Трест "Грознефтегеофизика", 350 руб.
Электронный аномалий-термометр одножильный	ЭАТО	48/1735	$\pm 0,1$	$\pm 0,01$	-	Трест "Грознефтегеофизика", 800 руб.

Для случая вертикального установившегося потока подземных вод через слабопроницаемый пласт слоистой системы Бредехофтом и Пападопулосом [41] получено решение, описывающее конвективный теплоперенос в следующем виде:

$$\frac{T_2 - T_0}{T_H - T_0} = f\left(\beta; \frac{r}{H}\right) \quad (13)$$

где T_2 , T_0 и T_H - измеренные температуры;
 β - параметр, зависящий от удельной теплоемкости пластовой жидкости, ее плотности и коэффициента теплопроводности разделяющего слоя;

H - мощность разделяющего слоя, м.

Функция $f\left(\beta; \frac{r}{H}\right)$ табулирована Бредехофтом и Пападопулосом и составлены эталонные кривые зависимости $f\left(\beta; \frac{r}{H}\right)$ от $\frac{r}{H}$ при разных значениях величины β . По виду этих кривых можно судить о направлении перетока, а также использовать их при оценке скорости перетока и коэффициента фильтрации слабопроницаемых отложений.

Положительный опыт оценки проницаемости разделяющих слоев на опытном участке Джафарханской дренажной системы (северная часть Муганской равнины АзССР) изложен в работе П.П.Сейидова и И.Т.Гаврилова [33].

Близкие по значениям коэффициенты фильтрации юрских глин в пределах Мещерской низменности получены Н.А.Лебедевой и Д.И.Ефремовым [23] различными методами: термометрическим, опытными откачками и путем моделирования.

Экспресс-откачки и наливы в одиночные скважины

В гидрогеологической практике нашли применение кратковременные наливы (мгновенный подлив) или откачки (мгновенное отгартовывание) воды в скважинах для оценки коэффициентов водопроводимости и водоотдачи опробуемых пластов.

Технологические мероприятия по мгновенному подъему уровня воды в скважине осуществляются либо путем одновременного налива воды в заданном объеме, либо погружением под уровень воды емких сосудов. Мгновенное снижение уровня оказывается эффективным в породах с малой проницаемостью, когда график понижения - восстановления уровня может быть снят с достаточной точностью.

Для опытных нагнетаний или наливов воды можно применять разработанный в институте Гидропроект комплект унифицированного оборудования УКН-1М или комплект ОНВ-1. В состав комплекта УКН-1М входит тампон с набором сменных резиновых колец для изоляции участков скважин, распределительное устройство для регулирования нагнетаемого расхода, напорные рукава для соединения насоса с этим устройством, мерные баки для измерения расхода и для налива из них при отсутствии насоса.

Комплект ОНВ-1 предназначен для испытания сухих властов путем нагнетания в них воздуха, однако он может быть успешно применен и для экспресс-налива. В большинстве случаев для этого достаточно использовать тампоны из комплекта ОНВ.

При мгновенных подливах или оттартовываниях в совершенных скважинах понижение уровня в любой момент времени может быть определено по следующей зависимости [36, 42]:

$$S_0 = S_0' R^*(f_0; M), \quad (I4)$$

где S_0' - понижение уровня в скважине при мгновенной откачке или повышении уровня;

$R^*(f_0; M)$ - функция, зависящая от безразмерного параметра

$$f_0 = \frac{at}{r_c^2};$$

M - коэффициент водоотдачи.

Функция $R^*(f_0; M)$ наиболее подробно табулирована в работе Купера и др. [42], на основе расчетов которых построены графики, приведенные на рис. 7. Для определения коэффициента фильтрации следует фактические данные наблюдений за повышением уровня в скважине после окончания откачки нанести на график в координатах $S_0 - \ln t$ и полученную таким образом кривую совместить с одной из кривых $R^*(f_0; M) - \ln f_0$ при известном значении M . При этом ось абсцисс эталонных кривых и фактического графика будет смещена на величину $t^0 = \frac{r_c^2}{a}$, откуда

$$a = \frac{r_c^2}{t^0}.$$

Зная величины M и a и используя основные выражения для коэффициента пьезопроводности, находят водопроводимость

$$Km = a \cdot M$$

и далее коэффициент фильтрации.

При длительных наблюдениях, когда $t > 2 \cdot 10 \frac{4r_c^2}{a}$, вместо выражения (I4) оказывается справедливым следующее:

$$S_0 = \frac{S_0' r_c^2}{4\mu a t} \quad (15)$$

откуда, учитывая, что $\mu a = Km$, получаем

$$K \approx \frac{S_0' r_c^2}{4m S_0 t} \quad (16)$$

Если принять, что в ближайшей к скважине зоне водоносного горизонта в процессе опыта устанавливается жесткий режим фильтрации, то водопроницаемость может быть определена непосредственно из соотношения

$$\pi r^2 \frac{dS}{dt} = 2\pi K m \frac{dS}{dr} \quad (17)$$

Учитывая, что левая часть его в этом случае равна расходу, постоянному по времени, можно записать

$$\pi r_c^2 \frac{dS}{dt} = Q \quad (18)$$

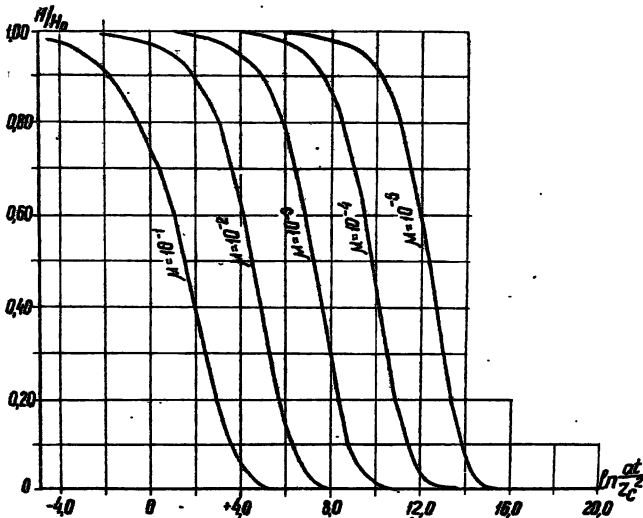


Рис. 7. График зависимости отношения текущего напора в скважине к первоначальному от параметра Фурье

$$\left(f_0 = \frac{a t}{r_c^2} \right)$$

Принимая $Q = \frac{2\pi km S_0}{N}$, где N - некоторое безразмерное фильтрационное сопротивление (для совершенной скважины в пласте с радиусом контура питания r_K , $N = \ell n \frac{r_K}{r_c}$), получаем

$$K = \frac{r_c N \ell n \frac{S_1}{S_2}}{\pi m (t_2 - t_1)} \quad (19)$$

где S_1 и S_2 - понижения уровня в моменты времени t_1 и t_2 .

Для расчета проницаемости несовершенных фильтров - пьезометров блочного типа - зависимость (19) использовалась В.М. Шестаковым [10].

Исследования скважин способом подкачки газа

При этом способе в скважину, устье которой герметично закрыто, компрессором или от баллона подкачивается сжатый воздух или газ с расчетом оттеснения уровня на несколько метров. Темп подкачки газа может быть произвольным, только по данным наблюдений необходимо знать $\Delta H(t)$ - изменение уровня во времени и $Q(t)$ - объемный дебит скважины в пластовых условиях или $V(t)$ - общее изменение объема жидкости в стволе скважины.

Для обработки опытных данных может быть использован любой из методов обработки кривых восстановления уровня с учетом притока воды в скважину. Рассмотрим, в частности, возможность применения способа Г.И. Баренблатта [5, 12].

$$\psi(\beta) = \frac{\Delta H(\beta)}{\beta V(\beta)} = 0,183 \frac{M}{km} \left(\lg \frac{1,26a}{r_c^2} - \lg \beta \right); \quad (20)$$

$$\Delta H(\beta) = \int_0^{\infty} \Delta H(t) e^{-\beta t} dt; \quad (21)$$

$$V(\beta) = \int_0^{\infty} V(t) e^{-\beta t} dt, \quad (22)$$

где β - постоянное число, рассматриваемое как параметр, выбираемый в зависимости от продолжительности исследований $сек^{-1}$.

Пусть имеются кривые изменения напора в скважине в результате вытеснения жидкости газом и изменения объема жидкости в стволе. Для построения графика уравнения (20) необходимо выбрать несколько значений параметра β . Обычно принимают три-четыре значения: минимальное, максимальное и промежуточные,

Исходя из следующих условий:

минимальное значение

$$\beta_{min} = \frac{2+3}{T},$$

где T — общая продолжительность исследования, сек;

максимальное значение

$$\beta_{max} = (2,5+3) \beta_{min};$$

промежуточные значения β определяются из приближенных равенств

$$\frac{\beta_{min}}{\beta_2} = \frac{\beta_2}{\beta_3} = \frac{\beta_3}{\beta_{max}}$$

Для каждого значения β надо вычислить значение несобственных интегралов (21) и (22). Для этого в кривые $\Delta H(t)$ и $V(t)$ необходимо вписать ломаные линии или наметить точки излома. Все точки излома проектируются на ось абсцисс и нумеруются в направлении слева направо (0, 1, 2, ..., j , $j+1$, K). Для всех точек определяются абсциссы t_j и соответствующие ординаты $\Delta H(t_j)$ и $V(t_j)$.

Интегрирование осуществляется по приближенной формуле

$$\Delta H(\beta) = \frac{1}{\beta^2} \sum_{j=0}^{j=K} \frac{\Delta H_{j+1} - \Delta H_j}{t_{j+1} - t_j} (e^{-\beta t_j} - e^{-\beta t_{j+1}}). \quad (23)$$

Вычислив для каждого значения β величины $\Delta H(\beta)$ и $V(\beta)$ и получив отношение $\psi = \frac{\Delta H(\beta)}{\beta V(\beta)}$, получают исходные данные для построения графика уравнения (20)

$$\begin{array}{l} \beta_1 - \psi_1; \quad \beta_3 - \psi_3; \\ \beta_2 - \psi_2; \quad \beta_4 - \psi_4 \end{array}$$

и расчета величины Km и $\frac{a}{r_c^2}$.

Приближенная оценка зональной проницаемости пластов
по данным о поглощении промывочной жидкости
в процессе бурения

Поглощение промывочной жидкости в процессе роторного бурения позволяет косвенно судить о сравнительной приемистости (водобильности) различных горизонтов, вскрываемых в разрезе скважины, и соответственно выбирать перспективные горизонты для опробования. В соответствии с принятым суждением о том, что при опробовании одиночной скважины величина водопроницаемости опре-

деляется параметрами призабойной зоны, оценивать фильтрационные характеристики пластов оказывается возможным только по данным о поглощении чистой воды.

Наиболее предпочтительно проведение такого рода исследований при бурении опытных и разведочных скважин роторным способом с обратной промывкой. При этом способе бурения обеспечивается наиболее надежное определение гранулометрического состава вскрываемых пород вследствие практически полного отсутствия дифференциации рыхлых образований в восходящем потоке пульпы [46]. Анализы гранулометрического состава водоносных пород позволяют сделать косвенные выводы о разной проницаемости водоносных отложений. Кроме того, эти данные могут быть проверены на основе анализа поглощения воды в различных интервалах проходки скважины.

При роторном бурении с обратной промывкой устойчивость стенок скважины обеспечивается избыточным давлением столба воды над статическим уровнем в скважине. При этом, как правило, в скважине поддерживается постоянный уровень, превышающий на 3 м и более отметку статического напора в пласте.

Поглощения воды в ходе бурения и после остановки различны по величине, и закономерности изменения расходов поглощаемой промывочной жидкости могут быть использованы для характеристики фильтрационной неоднородности пород в разрезе. Однако наиболее предпочтительно проведение наблюдений в период остановки бурения, когда производятся спуско-подъемные операции по наращиванию буровой колонны. В этот период, когда известно положение забоя скважины, иначе говоря, степень ее несовершенства, величина водопроводимости вскрытых пород может быть определена двумя путями.

В первом случае в системе циркуляции воды, в отстойнике и желобах поддерживается постоянный уровень, при этом фиксируется расход подаваемой в отстойник воды. При стабилизации расхода и постоянном уровне воды в скважине величина водопроводимости рассчитывается по формуле Дюпюи с поправкой на несовершенство по степени вскрытия пласта. Далее желоб, соединяющий скважину с отстойником, может быть перекрыт и, по данным о падении уровня, по обычной методике рассчитывается величина Km при известных параметрах графика $S - lnt$.

Во втором случае производятся наблюдения за падением уровня в скважине при предположении, что в нее произведен мгновенный налив. Для этого после вскрытия водоносного пласта и проходки его

на небольшую глубину, которая производится в течение нескольких минут, желоб, подводящий воду из отстойника, перекрывается, и проводятся наблюдения за падением уровня во времени. Эти данные используются при расчетах проницаемости опробуемого слоя.

Таким образом, при бурении скважин роторным способом с обратной промывкой представляется возможность оценки коэффициента фильтрации вскрытых пород уже в процессе ее сооружения. При этом следует отметить, что данные о снижении уровня в скважине после налива с постоянным расходом и снижении уровня при экспресс-наливе (вскрытии водоносного пласта) позволяют получить величину коэффициента фильтрации водоносных отложений без влияния изменения проницаемости пород в призабойной зоне. При проведении наблюдений в ходе бурения необходимо обращать внимание на то, чтобы разность динамического и статического уровней в скважине в конце опробования была не менее 3 м.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СКВАЖИН И МЕТОДЫ ИХ ОЦЕНКИ

Параметры пласта, получаемые при экспресс-опробовании однорочных скважин в процессе их сооружения и по окончании бурения, в значительной степени зависят от сопротивлений призабойной зоны. В связи с этим при расчетах параметров пластов оказывается необходимым учитывать сопротивления самой скважины и потери напора на фильтре и в прифильтровой зоне. При массовом опробовании пластов скважинами одинаковой конструкции достаточно оценить сопротивление в некоторых из них с тем, чтобы рассчитать определяемые параметры пласта вне зависимости от способа сооружения и конструкции скважины.

При расчетах скважин гидравлическое сопротивление оказывается удобным представлять в виде сопротивления пласта, определяемого его фильтрационными свойствами, геометрическими особенностями, условиями на его контуре, режимом откачки и дополнительными сопротивлениями, обусловленными несовершенством скважин по степени и характеру вскрытия пласта. Под гидродинамически несовершенными по степени вскрытия пласта скважинами понимаются скважины, не полностью вскрывающие пласт (длина вскрытой части пласта меньше его мощности). Влияние этого вида несовершенства прослеживается в однородных изотропных пластах на расстояниях, равных

или несколько больших мощности пласта. Несовершенство по характеру вскрытия пласта в соответствии с определением В.Н.Щелкачева [38] оказывается связанным с конструкцией фильтра и, так же как несовершенство по степени вскрытия, зависит от геометрических особенностей водоприемной части скважины. Деформация линий токов в связи с наличием фильтра, согласно данным электро моделирования, не превышает двух-трех радиусов скважины [44].

В соответствии с принятой схематизацией фильтрационное сопротивление при притоке воды в скважину (рис.8) равно

$$R_{\phi} = \frac{\Delta H}{Q}$$

и может быть представлено суммой внешнего и внутреннего сопротивлений

$$R_{\phi} = R_{\phi \text{ внешн}} + R_{\phi \text{ внутр}}$$

при $R_{\phi \text{ внешн}} = \frac{H_e - H_0}{Q}$ и $R_{\phi \text{ внутр}} = \frac{H_0 - H_{\text{скв}}}{Q}$,

где H_e - первоначальный уровень подземных вод до откачки;
 H_0 - уровень воды в некотором сечении на расстоянии R_0 от скважины;
 $H_{\text{скв}}$ - уровень воды в скважине;
 Q - расход скважины;
 $\Delta H = H_e - H_{\text{скв}}$.

Размеры зоны с радиусом R_0 , в которой имеют место дополнительные потери напора, определяются сгущением линий токов, связанных с наличием перфорационных отверстий, нарушением проницаемости пород в процессе бурения и прокачки и несовершенством скважины по степени вскрытия пласта. Результаты вскрытия при-фильтровых зон скважин показывают, что размеры зон цементации и обрушения малопроницаемых пород находятся в пределах трех-четырех радиусов фильтра [13]. Следовательно, величина R_0 определяется степенью несовершенства скважины, и ее можно принять $R_0 = (1 \div 1,5) r$.

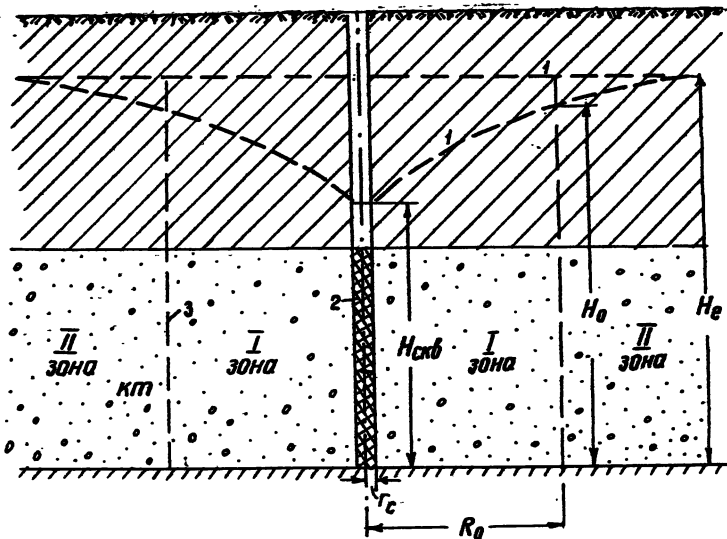


Рис.8. Схема к определению фильтрационных сопротивлений

Для характеристики избыточных потерь напора в прифильтровых зонах скважин в расчетные зависимости, описывающие приток к скважине, Херстом и Ван Эвердингенем [43,47] была введена безразмерная величина ξ - показатель скин-эффекта, учитывающий в совокупном виде гидравлические потери, обусловленные несовершенством скважины по характеру вскрытия и нарушением структуры пород в процессе бурения и прокачки. С введением ξ понижение S_0 в буровой скважине, работающей с постоянным расходом Q для времени t , представляется в виде

$$S_0 = S_c + \Delta S_{нс} = \frac{Q}{4\pi k_m} \left(\ln \frac{2,25at}{r_c^2} + 2\xi \right), \quad (24)$$

где S_c - понижение уровня, обусловленное откачкой из совершенной скважины;

$\Delta S_{нс}$ - дополнительное понижение уровня в результате несовершенства скважины.

Поскольку в прифильтровых зонах скважин практически уже через небольшие промежутки времени при постоянном расходе откачки формируется квазистационарный режим, для определения показателя обобщенного сопротивления можно с достаточным основанием применить формулы Дюпюи-Форхгеймера

$$S_0 = \frac{Q}{2\pi Km} (N + \xi) . \quad (25)$$

Показатель гидравлического сопротивления N определяется в зависимости от граничных условий в пласте или системе пластов, а также от конструкции водозабора. Значения этого показателя приводятся в работе Ф.М. Бочевера, И.В. Гармонова и др. [10].
Дополнительное сопротивление в соответствии с принятой ранее схематизацией потока может быть представлено в виде двух слагаемых

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 , \quad (26)$$

где ξ_1 и ξ_2 - показатели сопротивления, определяемые соответственно несовершенством по степени и характеру вскрытия пласта.

Данные по величине сопротивлений, обусловленных несовершенством скважины по степени вскрытия пласта (ξ_1), могут быть получены в зависимости от соотношения длины, диаметра фильтра и мощности водоносного пласта по графикам, приведенным в работе Ф.М.Бочевера и др. [10].

Второе слагаемое (ξ_2) в выражении (26) представляет собой комплексную характеристику вскрытия пласта. То обстоятельство, что величина ξ_2 зависит от конструкции фильтра скважины, его гидравлических особенностей, изменений в структуре и водопроницаемости пород вблизи скважины, а иногда от частичного или полного замещения их малопроницаемыми породами кровли в процессе бурения и эксплуатации, цементации пород в прифильтровой зоне и зарастания отверстий фильтра, турбулизации потока у скважины, предопределяет исключительную сложность получения точного решения для полной оценки этой части сопротивления. В общем виде величина ξ_2 складывается из следующих составляющих [8]:

$$\xi_2 = \xi_{2\phi} + \xi_{2n} + \xi_{2н.л} . \quad (27)$$

Здесь индексами "ф", "п", "н.л." обозначены сопротивления, обусловленные соответственно фильтром, породой и отклонением от линейного закона фильтрации. В частном случае, при сохранении линейного закона течения на всем пути фильтрации показатель обобщенного сопротивления ξ_2 является суммой сопротивления фильтра и прифильтровой зоны с измененной проницаемостью.

Показатели, входящие в уравнение (27), фактически характеризуют параметры скважин, качество работ по их бурению и освоению. Но такие параметры как проницаемость призабойной зоны, показатель обобщенного сопротивления фильтра и прифильтровой

зоны и удельный дебит необходимо определять не только при оценке эффективности бурения и освоения скважин, но и при расчетах параметров пластов по одиночным скважинам и практически любом методе экспресс-опробования. Показателями гидравлического сопротивления скважины могут являться: обобщенное сопротивление фильтра и прифильтровой зоны скважины, приведенный диаметр или коэффициент фильтрации пород в зоне, прилегающей к фильтру. Все эти показатели характеризуют дополнительные гидравлические сопротивления призабойной зоны и, по сути дела, эквивалентны друг другу. Наиболее надежные значения величины показателя обобщенного сопротивления фильтра и прифильтровой зоны скважины могут быть получены при наличии затрубной скважины, расположенной на расстоянии 0,5–1 м от возмущающей скважины. При таком расположении наблюдательной скважины (затрубного пьезометра) представляется возможным учесть потери напора, обусловленные наличием фильтра и связанные с изменением проницаемости водоносных пород в процессе бурения и эксплуатации скважин.

Приближенная величина показателя обобщенного сопротивления может быть получена с использованием пьезометров, устанавливаемых одновременно с фильтром эксплуатационной скважины. При этом во всех случаях предпочтительнее затрубный пьезометр устанавливать на максимально возможном удалении от стенок фильтра, например, привязывая к направляющим фонарям. Очевидно, что в данном случае мы можем получить лишь величину $\xi_{2\varphi}$, которая также будет ниже обобщенного сопротивления прифильтровой зоны.

Поскольку вблизи скважины поток имеет радиальный характер, то в этих условиях справедлива формула Дюпюи и коэффициент фильтрации пород в прифильтровой зоне скважины может быть рассчитан при имеющихся данных о расходе и уровнях в пьезометре и скважине по формуле

$$K_n = \frac{q \ln \frac{r_n}{r_c}}{2\pi m (S_0 - S_n)}, \quad (28)$$

где K_n — коэффициент фильтрации пород во фрагменте пьезометр-скважина, который характеризует и сопротивление фильтра;

r_n — расстояние от оси скважины до пьезометра;

S_n — понижение уровня в пьезометре.

При известном коэффициенте фильтрации пород в прифильтровой зоне скважины может быть рассчитан показатель обобщенного сопро-

тивления фильтра и прифильтровой зоны при предположении, что проницаемость постоянна во всем рассматриваемом фрагменте скважина-пезометр

$$\xi = \left(\frac{K}{K_n} - 1 \right) \ln \frac{r_n}{r_c}, \quad (29)$$

где K - коэффициент фильтрации пласта.

Определение безразмерного показателя обобщенного сопротивления прифильтровой зоны (показателя скин-эффекта) может быть произведено путем анализа кривых снижения-восстановления уровня.

Теоретической основой использования данных опробования скважин при неустановившемся режиме является решение задачи о фильтрации в пласте с кольцевой неоднородностью, причем внутренняя зона, в центре которой располагается скважина, имеет диаметр $2R$, а внешняя, граничащая с ней, простирается на весьма значительное расстояние (теоретически до бесконечности). Эта задача в СССР впервые исследовалась В.Н.Шелкачевым [38].

Приближенное решение В.Н.Шелкачева представляется в виде

$$S_1 = \frac{Q}{2\pi(Km)_1} \left[\ln \frac{1,5\sqrt{a_2 t}}{r} + \ln \left(\frac{R}{2} \right)^{\xi K^{-1}} \right] \quad (30)$$

при $(r_c \leq r \leq R)$;

$$S_2 = \frac{Q}{2\pi(Km)_2} \cdot \ln \frac{1,5\sqrt{a_2 t}}{r} \quad (31)$$

при $(R \leq r \leq \infty)$,

здесь S_1 и S_2 - понижения уровня соответственно во внутренней и внешней зонах неоднородного пласта при постоянном дебите скважины Q ;

$(Km)_1$ и $(Km)_2$ - водопроницаемости этих зон;

a_2 - коэффициент пезопроницаемости внешней зоны;

r - радиус-вектор точек, в которых определяется понижение уровня.

Формулы (30) и (31) применимы при значительной длительности откачки [38]. По ним могут быть определены величина водопроницаемости внешней зоны пласта $(Km)_2$, а при наличии одной наблюдательной скважины - и водопроницаемость внутренней зоны $(Km)_1$. Далее, при известной величине $(Km)_1$, представляется возможность оценить сопротивление прифильтровой зоны скважины.

Более строгое решение этой задачи получено Г.И.Баренблаттом

и В.А.Максимовым [5]. Ими установлено, что при больших $\frac{k}{\sqrt{at}}$ (т.е. при больших радиусах призабойной зоны или малых t) функция напора выражается соотношением

$$H(t) = \frac{Q}{4\pi(Km)_1} \ln t - \frac{Q}{2\pi(Km)_1} \ln \frac{r r_c}{2\sqrt{a}} \quad (32)$$

при $\ln \gamma = 0,9771$,

соответствующим параметрам призабойной зоны. Однако следует заметить, что в рассмотренных Г.И.Баренблаттом и В.А.Максимовым численных примерах зависимость (32) оказывается справедливой для очень коротких промежутков времени и выходит на асимптоту, соответствующую параметрам внешней зоны через очень малые t (рис.9). Это свидетельствует о больших, чисто технических трудностях как снятия, так и обработки начальных графиков прослеживания уровня в возмущающей скважине. Расчеты показывают, что при наличии призабойной зоны радиусом 2 м с проницаемостью, вчетверо меньшей проницаемости всего пласта, начиная с $t = 100$ сек., кривая $H(\ln t)$ уверенно выходит на асимптоту, наклон которой соответствует проницаемости внешней зоны. Очевидно, что даже в таких неблагоприятных условиях получить кривую прослеживания, характеризующую прифильтровую зону, очень трудно. Но этот метод может быть использован при анализе данных опробования пласта с незначительными коэффициентами фильтрации водоносных пород и ухудшенной проницаемостью прифильтровой зоны. Если результаты обработки дадут кривую $H(\ln t)$, обращенную вогнутостью вниз, то можно утверждать, что вокруг скважины имеется весьма существенная (по величине или по степени загрязненности) прифильтровая зона. Определение величины приведенного радиуса скважины позволяет рассчитать проницаемость прифильтровой зоны в некотором заданном радиусе. Рассматриваемое направление определения характеристик прифильтровой зоны по графикам прослеживания изменения уровня отражено в работах Ю.П.Желтова и А.Ф.Блинова [7,20].

Анализ графиков понижения-восстановления уровня, обычно проводимый при оценке параметров водоносных пластов (коэффициентов водопроницаемости и пьезопроводности), также может быть использован для определения показателя обобщенного сопротивления прифильтровой зоны по отрезку, отсекаемому на оси ординат. Очевидно, что определение ξ_2 возможно либо при известном коэффициенте пьезопроводности, либо при наличии графика прослеживания хотя бы по одной наблюдательной скважине. Методика оценки ξ_2 в

этом случае аналогична способу его определения по данным опытных и эксплуатационных откачек, однако гидравлическое сопротивление пласта здесь является переменным во времени ($N = \frac{2,25 \text{ ат}}{r^2}$).

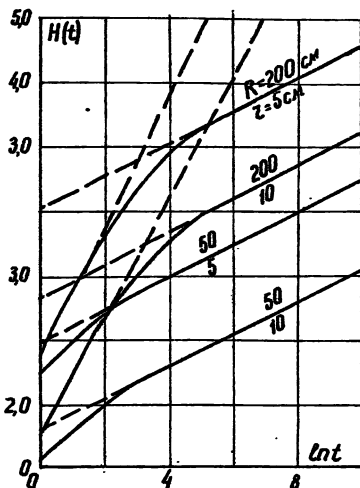


Рис.9. Графики восстановления уровня в скважине с измененной проницаемостью призабойной зоны

При значительных размерах зоны пласта с измененной проницаемостью у фильтра скважины или малом значении ее коэффициента фильтрации параметры внутренней зоны могут рассчитываться, как в случае однородного пласта по начальному участку изменения уровня подземных вод.

Определение ξ_2 по начальному участку графиков восстановления уровня производилось при обследовании работы скважин, оборудованных бескаркасными керамическими фильтрами, в Краснодарской комплексной геологической экспедиции. Восстановление уровня в центральных скважинах фиксировалось пневматическим уровнемером.

В результате опытов величина $\xi_{2\phi}$ в двух скважинах составила соответственно 1,8 и 1,93, а коэффициент фильтрации керамических блоков - 0,368 и 0,130 м/сутки. По данным откачек, при установившемся режиме фильт-

рации, при известных параметрах пластов значения коэффициента фильтрации керамических блоков составили соответственно 0,42 и 0,130 м/сутки. Следовательно, возможность оценки величины ξ_2 как по начальному участку графика восстановления уровня, так и по участку, соответствующему параметрам внешней зоны пласта, является достаточно обоснованной.

Оценка параметров призабойной зоны (сопротивлений фильтров, находящихся в контакте с водоносными породами) может производиться по данным расходомерии. От величин $M^* \eta$, рассчитанных при известном распределении входных скоростей, можно перейти к значениям ξ_2 . Величины ξ_2 и $M \eta$, определенные в лабораторных и полевых условиях для стандартных конструкций фильтров и скважин, необходимо учитывать при экспресс-опробовании водоносных пластов, учитывая, что небольшое возмущение пласта определяет получение совместных характеристик и призабойной зоны скважин и пласта.

Однако необходимость внесения поправок на сопротивления призабойных зон и фильтров скважин возникает обычно лишь при ухудшенной их проницаемости в сравнении с проницаемостью пласта. При строгом соблюдении технологии вскрытия водоносного пласта, обеспечивающей минимальную деформацию водоносных пород, и правильном подборе фильтров с большой скважностью потери напоров в призабойных зонах незначительны и не оказывают существенного влияния на рассчитываемые параметры пласта. Это подтверждается результатами оценки достоверности получаемых параметров водоносных пластов, по данным экспресс-опробования скважин.

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПРЕСС-ОПРОВОБОВАНИЯ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ

Для оценки результатов экспресс-опробования водоносных горизонтов можно использовать дисперсионный анализ, применяющийся при изучении степени влияния нескольких методов на результаты их исследований [25]. Для проведения анализа составляется комбинационная таблица, в которой приводятся данные о величинах исследуемого параметра пласта, рассчитанного по результатам двух или более методов. Совокупность всех значений параметра, размещенных по клеткам комбинационной таблицы, представляет статистический

комплекс данной структуры. По своей структуре комплекс может быть однофакторным, двухфакторным и т.д.

При подсчете запасов и проектировании разведки месторождений подземных вод необходимо знать среднее значение параметров пласта, например, коэффициента фильтрации. Очень часто объем исходного фактического материала бывает ограниченным. При этом может наблюдаться случай, когда имеется несколько определений коэффициента фильтрации K , рассчитанного по результатам применения нескольких методов опробования – откачек, экспресс-методов и т.д. В таких условиях определение среднего значения K по данным откачек или по данным экспресс-методов не может считаться достаточно надежным в связи с малым числом отдельных определений. В то же время объединение разнородных по своему происхождению данных в общую группу повысило бы надежность определения средней величины за счет увеличения числа отдельных значений K . Но объединение разнородных данных возможно лишь тогда, когда метод определения K не влияет на величину полученных значений фильтрации.

Таким образом, возникает задача оценки влияния различных методов определения на величину коэффициента фильтрации. Решение этой задачи методом дисперсионного анализа (однофакторный комплекс) можно проследить на конкретном примере.

Для оценки влияния возьмем данные определения коэффициента фильтрации опережающим методом и пробной откачкой в песчано-глинистых отложениях. По этим данным построим комбинационную таблицу.

Т а б л и ц а 3

Коэффициент фильтрации, м/сутки	
опережающее опробование	пробная откачка
1,23	1,29
1,62	2,09
1,95	5,01
2,75	8,71
3,39	9,33
3,47	11,22
4,90	13,18
5,01	13,49

Коэффициент фильтрации, м/сутки	
опережающее опробование	пробная откачка
5,25	13,80
5,37	14,13
6,31	14,45
6,46	15,14
7,59	15,49
10,23	17,38
10,47	18,20
18,20	19,95
33,11	21,38
36,31	21,88
<hr/>	<hr/>
$n_1=18$	$n_2=20$
$\sum K' = 163,62$	$\sum K'' = 288,02$

Средние значения коэффициента фильтрации по результатам опережающего опробования $M_{оп}$, по данным откачки $M_{от}$ и общая средняя из определений обоими методами M оцениваются с использованием данных, приведенных в табл.3.

$$M_{оп} = \frac{\sum K'}{n_1} = \frac{163,62}{18} = 9,1;$$

$$M_{от} = \frac{\sum K''}{n_2} = \frac{288,02}{20} = 14,4;$$

$$M = \frac{\sum K' + \sum K''}{n_1 + n_2} = \frac{163,62 + 288,02}{18 + 20} = 11,9.$$

Затем находятся следующие величины:

$\sigma = K - M$ - отклонение каждого из значений коэффициента фильтрации от общей средней (независимо от метода определения);

$\sigma_{оп} = K' - M_{оп}$ - отклонение каждого из значений коэффициента фильтрации, определенных по данным ОП, от своей средней;

- $\sigma_{\text{от}} = K'' - M_{\text{от}}$ - отклонение каждого из значений коэффициента фильтрации, определенного по данным откачки, от своей средней;
- $\sigma_{M_{\text{оп}}} = M_{\text{оп}} - M$ - отклонение средней, определенной по данным ОП, от общей средней;
- $\sigma_{M_{\text{от}}} = M_{\text{от}} - M$ - отклонение средней, определенной по данным откачки, от общей средней.

Полученные величины отклонений приведены в табл.4.

Отклонения σ характеризуют общее рассеяние всех 38 значений коэффициента фильтрации около общей средней, возникшее как в результате применения различных методов определения K , так и в силу других причин.

Отклонения $\sigma_{\text{оп}}$ и $\sigma_{\text{от}}$ характеризуют рассеяние отдельных значений K около частных средних $M_{\text{оп}}$ и $M_{\text{от}}$. Эти отклонения возникают независимо от метода определения K и связаны с другими причинами (изменчивостью проницаемости по площади и разрезу, наличием ошибок измерений и т.п.). Они характеризуют случайное рассеяние.

Отклонения $\sigma_{M_{\text{оп}}}$ и $\sigma_{M_{\text{от}}}$ характеризуют отклонение значений коэффициента фильтрации от общей средней, вызванное влиянием только различий в методах определения K .

Для того, чтобы количественно охарактеризовать эти три вида рассеяния, надо найти соответствующие дисперсии, для чего, в свою очередь, необходимо найти суммы квадратов перечисленных отклонений. Используя данные табл.4, находим величины сумм квадратов, характеризующих общее рассеяние S :

$$S = \sum (K' - M)^2 + \sum (K'' - M)^2 = 1898,8 + 1059,6 = 2958,4.$$

Сумма квадратов S_0 отклонений, характеризующих случайное рассеяние K , определяется выражением

$$S_0 = \sum \sigma_{\text{оп}}^2 + \sum \sigma_{\text{от}}^2 = 1755,4 + 933,9 = 2689,3.$$

Сумма квадратов отклонений S_M , обусловленных влиянием метода определения K , определяется как

$$S_M = \sum \sigma_{M_{\text{оп}}}^2 + \sum \sigma_{M_{\text{от}}}^2 = 141,0 + 105,8 = 246,8.$$

Проверка правильности вычисления сумм квадратов производится по следующему соотношению:

$$S = S_M + S_0.$$

Т а б л и ц а . 4

K'	$K'-M$	$(K'-M)^2$	$\phi_{\text{Моп}}$	$(\phi_{\text{Моп}})^2$	$\phi_{\text{от}}$	$(\phi_{\text{от}})^2$	K''	$K''-M$	$(K''-M)^2$	$\phi_{\text{от}}$	$(\phi_{\text{от}})^2$	$\phi_{\text{от}}$	$(\phi_{\text{от}})^2$
1,23	-10,67	114,5	-2,8	7,84	-7,87	31,9	1,29	-10,31	112,4	+2,3	5,29	-13,11	171,3
1,62	-10,26	106,1	-2,8	7,84	-7,46	55,9	2,09	-9,61	96,2	+2,3	5,29	-12,31	151,3
1,95	-9,95	99,0	-2,8	7,84	-7,15	51,1	5,01	-3,89	47,5	+2,3	5,29	-9,39	88,2
2,75	-9,15	83,7	-2,8	7,84	-6,35	40,3	8,71	-3,19	10,2	+2,3	5,29	-5,69	32,4
3,39	-8,51	72,4	-2,8	7,84	-5,71	32,6	9,33	-2,57	6,6	+2,3	5,29	-1,07	23,7
3,47	-8,43	71,1	-2,8	7,84	-5,53	31,7	11,22	-0,63	0,5	+2,3	5,29	-3,12	9,7
4,90	-7,00	49,0	-2,8	7,84	-4,20	17,6	13,18	+1,28	1,6	+2,3	5,29	-1,22	1,5
5,01	-6,89	47,5	-2,8	7,84	-4,09	16,7	13,49	+1,59	2,5	+2,3	5,29	-0,91	0,8
5,25	-6,65	44,2	-2,8	7,84	-3,85	14,8	13,80	1,90	3,6	+2,3	5,29	-0,60	0,4
5,37	-6,53	42,6	-2,8	7,84	-3,73	13,9	14,13	2,23	5,0	+2,3	5,29	-0,27	0,1
6,31	-5,59	31,2	-2,8	7,84	-2,79	7,8	14,45	2,35	6,5	+2,3	5,29	+0,05	0,0
6,46	-5,44	29,6	-2,8	7,84	-2,64	7,0	15,14	3,24	10,5	+2,3	5,29	+0,74	0,5
7,59	-4,31	18,6	-2,8	7,84	-1,51	2,3	15,49	3,59	12,9	+2,3	5,29	1,09	1,2
10,23	-1,67	2,8	-2,8	7,84	+1,13	1,3	17,38	5,48	30,0	+2,3	5,29	2,98	8,9
10,47	-1,43	2,05	-2,8	7,84	+1,37	1,9	18,20	6,30	39,7	+2,3	5,29	3,80	14,4
18,20	+6,30	39,7	-2,8	7,84	+9,10	82,8	19,95	8,05	64,8	+2,3	5,29	5,55	30,8
33,11	+21,21	449,4	-2,8	7,84	+24,01	576,0	21,38	9,48	89,9	+2,3	5,29	6,98	48,7
36,31	+24,41	595,4	-2,8	7,84	+27,21	739,8	21,88	9,98	99,6	+2,3	5,29	7,48	55,9
163,62	-50,58	1898,8	-50,4	141,0	-0,18	1755,4	22,39	10,49	110,2	+2,3	5,29	7,99	63,8
							29,51	17,01	309,8	+2,3	5,29	15,11	228,0
							286,02	+50,02	1059,6	+46,0	105,8	+0,08	933,9

В рассматриваемом примере $S = 2959,2$, а $S_H + S_0 = 2689,3 + 246,8$, т.е. практически получаем весьма близкие значения.

Незначительное расхождение объясняется ошибками при округлении.

Для вычисления дисперсий необходимо кроме сумм квадратов знать еще соответствующие числа степеней свободы. При общей дисперсии число степеней свободы равно

$$C = n_1 + n_2 - 1 = 18 + 20 - 1 = 37.$$

Для характеристики рассеяния, обусловленного влиянием методов, $C_1 = 1$, так как при вычислении соответствующих отклонений использовались две величины: $M_{оп}$ и $M_{от}$.

При характеристике случайного рассеяния вычислялись отклонения отдельных определений K на базе данных опережающего опробования и откочки от соответствующих средних. Для каждой группы данных свободно может меняться $n_1 - 1$ и $n_2 - 1$ значений коэффициента фильтрации. Следовательно, для всего объема анализируемых данных число степеней свободы равно

$$C_0 = n_1 - 1 + n_2 - 1 = n_1 + n_2 - 2 = 18 + 20 - 2 = 36.$$

Определив суммы квадратов отклонений и соответствующие им числа степеней свободы, вычислим значения дисперсий. Общая дисперсия

$$\sigma^2 = \frac{S}{C} = \frac{2959,2}{37} \approx 80,0;$$

дисперсия, обусловленная влиянием методов,

$$\sigma_1^2 = \frac{S_M}{C_1} = \frac{246,8}{1} = 246,8;$$

случайная дисперсия, не связанная с методом определения коэффициента фильтрации,

$$\sigma_0^2 = \frac{S_0}{C_0} = \frac{2689,3}{36} \approx 74,7.$$

Для установления влияния метода определения коэффициента фильтрации на величину K необходимо сравнить величину дисперсии, вызванную различием методов, со случайной дисперсией. С этой целью вычисляется показатель фактической достоверности

$$\theta_{\Phi} = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_1^2} = \frac{74,7}{246,8} \approx 0,303.$$

Полученное значение θ_{ϕ} сравнивают с теоретическим θ_T [39]. Если $\theta_{\phi} < \theta_T$, расхождение между дисперсиями можно считать случайным, несущественным.

В нашем примере значение θ_{ϕ} , равное 0,303, вычислено при $C_0=36$ и $C_1=1$. Для теоретических чисел степеней свободы $K_{T_1}=C_0 = \infty$ и $K_{T_2}=C_1=1$ помещены следующие два значения θ_T [18]:

$$\theta_T 0,5 = 2543 (P=0,5);$$

$$\theta_T 0,1 = 6366 (P=0,01).$$

Отсюда видно, что θ_{ϕ} , равное 0,303, значительно меньше всех значений теоретической достоверности θ_T . Следовательно, определение коэффициента фильтрации по данным опережающего опробования не дает результатов, существенно отличающихся от данных, полученных при анализе откачек. Отсюда следует, что результаты определения коэффициента фильтрации, по данным ОП и откачек, однородны и могут быть объединены при вычислении среднего K по площади исследуемого участка.

Этот вывод подтверждает результаты предыдущих исследований [31] о равнозначной достоверности результатов применения опережающего опробования и пробных откачек, что очень важно при поисковых работах на воду.

З а к л ю ч е н и е

Увеличение объема гидрогеологических исследований приводит к значительным затратам средств и времени на проведение опытно-фильтрационных работ в скважинах. В этой связи особую актуальность приобретает метод экспресс-опробования скважин для их предварительного исследования и получения приближенных сведений о фильтрационных свойствах пород.

При бурении скважин в рыхлых породах с применением глинистого раствора можно рекомендовать применение опережающего опробования для получения качественной и приближенной количественной характеристики водоносных горизонтов. Его применение особенно перспективно при выполнении поисково-съёмочных и разведочных работ в условиях чередующихся песчано-глинистых отложений. Для исследования водоносных горизонтов в рыхлых породах на глубинах до 100 м целесообразно проводить кратковременные откачки с ис-

пользованием простых тампонов для изоляции пластов от раствора в скважине.

При бурении глубоких разведочных скважин в устойчивых породах применение испытателей пластов и опробователей на кабеле позволит получить качественную характеристику вскрытых скважиной пластов и дать приближенную оценку фильтрационных свойств водовмещающих пород.

Эффективно применение расходомерии для выявления глубины залегания и мощности пластов или зон водопроявлений, для выяснения наличия перетока или зон поглощений в скважине. Расходомерия также дает возможность оценить приближенное значение зональной проницаемости и оценить статический напор водоносного пласта, гидравлически связанного в скважине с горизонтами, имеющими существенно отличные напоры.

Надежные значения параметров водоносных пород могут быть получены при производстве экспресс-налива или экспресс-откачки, а также при применении способа подкачки газа.

Широкое внедрение в практику бурения скважин на воду роторного способа бурения с обратной промывкой чистой водой предопределяет необходимость использования данных о поглощении промывочной жидкости для оценки зональной проницаемости вскрываемых в разрезе пластов.

При расчетах параметров пластов, по данным экспресс-опробования, могут быть качественно и количественно оценены гидравлические потери в призабойных зонах опытных скважин с использованием показаний затрубных пьезометров, а также путем анализа начальных участков графиков понижения-восстановления уровня.

Экспресс-методам опробования присущи недостатки, характерные для опробования одиночных скважин, когда искажение фильтрационных свойств водоносных пород может сказаться на полученных параметрах пластов. Поэтому определение рациональной области применения каждого метода в этом случае особенно важно.

Большое значение приобретает задача оценки несовершенства скважин по характеру вскрытия пласта, которая может быть однозначно решена только при стандартизации средств опробования. Опыт оценки достоверности опережающего опробования водоносных пластов в сравнении с данными кустовых откачек указывает на его перспективность.

В равной степени перспективно и внедрение других, описанных в обзоре методов опробования водоносных пластов в процессе бу-

рения и по окончании сооружения скважин. Можно с уверенностью полагать, что более широкое их использование в практике будет способствовать повышению общего уровня гидрогеологических исследований.

Л и т е р а т у р а

1. АЛЕКСЕЕВ В.С., ТЕСЛЯ А.Г. Временные методические указания по определению фильтрационных свойств пород при опережающем опробовании водоносных горизонтов. М., ВСЕГИНГЕО, 1967.
2. АЛЕКСЕЕВ В.С., КУРМАНЕНКО А.Д., СУХАЮВ Е.Ф. О методике оценки зональной проницаемости водоносных пластов по данным расходомерии. - "Разведка и охрана недр", 1970, № 5.
3. АЛЕКСЕЕВ В.С., ТЕСЛЯ А.Г., КУРМАНЕНКО А.Д. Перспективы комплексного применения экспресс-опробования и расходомерии для оценки параметров водоносных пластов. - Материалы XII конференции ВСЕГИНГЕО. М., 1970.
4. АРАКЕЛЯН Э.И. Эффективность исследования скважин испытателями пластов. М., ОНТИ ВИЭМС, 1968.
5. БАРЕНБЛАТТ Г.И., МАКСИМОВ В.А. О влиянии неоднородности на определение параметров нефтяного пласта по данным нестационарного притока жидкости к скважинам. - "Известия АН СССР. ОТН", 1958, № 7.
6. БАШКАТОВ Д.Н., ТЕСЛЯ А.Г. Гидрогеологические наблюдения при бурении и опробовании скважин. М., "Недра", 1970.
7. БЛИНОВ А.Ф. Определение параметров призабойной зоны нагнетательных скважин по кривым восстановления давления. - "Труды ТатНИИ", 1961, вып.3.
8. БОЧЕВЕР Ф.М., АЛЕКСЕЕВ В.С. Оценка сопротивления водозаборных скважин по опытным и эксплуатационным откачкам. - "Разведка и охрана недр", 1965, № 3.
9. БРОДСКИЙ П.А., ТАЛЬНОВ В.Б., ФЕОНОВ А.И., ТУМЕНЕВ Л.Н., КУПОВЫХ П.Н. Каротажные опробователи пластов. М., "Недра", 1968.
10. БОЧЕВЕР Ф.М., ГАРМОНОВ И.В., ЛЕБЕДЕВ А.В., ШЕСТАКОВ В.М. Основы гидрогеологических расчетов. М., "Недра", 1965.
11. ВЕРИГИН Н.Н. Методы определения фильтрационных свойств горных пород. М., Госстройиздат, 1961.

12. Временное руководство по исследованию скважин экспресс-методами. М., ВНИИ нефтедобывающей промышленности, 1964.

13. ГАВРИЛКО В.М., АЛЕКСЕЕВ В.С. О некоторых результатах вскрытия фильтров скважин горными выработками. - "Разведка и охрана недр", 1965, № 6.

14. ГАРБУЗОВ М.С. Глубинные термометры для исследования высокотемпературных скважин. - "Нефтяное хозяйство", 1969, № 10.

15. ГЕРШАНОВИЧ И.М. О количественной интерпретации данных расходомерии гидрогеологических скважин. - "Разведка и охрана недр", 1970, № 8.

16. ГРИКЕВИЧ Э.А. Влияние гидравлических сопротивлений скважин на приток воды. Рига, "Зинатне", 1969.

17. ГРИКЕВИЧ Э.А., АЛЕКСЕЕВ В.С. Расчеты коэффициента фильтрации по данным опережающего опробования. - "Разведка и охрана недр", 1968, № 7.

18. ДЕМЕНТЬЕВ А.Ф. Статистические методы обработки и анализа промыслово-геологических данных. М., "Недра", 1966.

19. ДОНСКОЙ Г.В. Исследования пропускной способности водоприемной поверхности горизонтального трубчатого дренажа. - "Труды ВНИИ ВОДГЕО. Инженерная гидрогеология", 1969, вып.22.

20. ЖЕЛТОВ Ю.П. О восстановлении давления при различной проницаемости пласта в призабойной области и вдали от скважины. - "Труды института нефти АН СССР", 1958, № II.

21. КОЛОКОЛЬЦЕВ В.А., ЛАПШИН Н.Н. Оценка точности методик определения параметров пласта по кривым притока, полученным при работе с пластоиспытателем. - "Труды УФНИИ", 1965, вып.16.

22. ЛАПШИН П., РЕПИН С., ХАМЗИН К. Испытание разведочных скважин пластоиспытателями КИИ-Гроз.УФНИИ. Уфа, 1964.

23. ЛЕБЕДЕВА Н.А., БУРЕМОВ Д.И. Предварительная оценка условий взаимосвязи водоносных горизонтов через слабопроницаемые слои в пределах Мещерской низменности. - Тезисы докл. IУ науч. отчетной конф. геол. фак-та Моск. ун-та. М., 1969.

24. МИТТЕЛЬМАН Б.И. Справочник по гидравлическим расчетам в бурении. Гостоптехиздат, 1963.

25. Математические методы в геологии. - Межведомственный геологический конгресс, XXIII секция. М., "Наука", 1968.

26. МОЛДАВСКИЙ О.П., ЛЕЩИНСКИЙ Э.Б., ЭФРОС В.Л. Опробование пластов ОПТС-8/10. - "Нефтяное хозяйство", 1969, № 9.

27. ПАНОВ Б.Д., СИДКИН В.Б. и др. Результаты применения нового пластоиспытателя КИИ-127. - "Бурение", 1969, № 10.

28. ПЕТРОВ А.И. О влиянии погрешности измерения забойных давлений на результаты исследований скважин. - "Нефтяное хозяйство", 1969, № 7.

29. ПРЕЙС В.Ф., РОВИНСКИЙ М.С. Временное руководство по проведению гидрокаротажных работ методом расходографии. Уральское геологическое управление. Свердловск, 1966.

30. ПРЯНИШНИКОВ В.А., БРУЦКИЙ А.Б. Вклад разведчиков Волго-Донского геологического управления в дело развития новой техники и технологии геологоразведочных работ. - "Труды Волго-Донского геологического управления", Ростов-на-Дону, 1964.

31. РОХЛИН Л.И. Анализ достоверности результатов применения опережающего опробования в рыхлых породах. - "Разведка и охрана недр", 1969, № 8.

32. РОХЛИН Л.И. Вопросы математического анализа эффективности буровых работ при гидрогеологических исследованиях. - "Труды ВСЕГИНГЕО", М., 1969, вып.17.

33. СЕЙДИДОВ П.П., ГАВРИЛОВ И.Т. Об изучении взаимосвязи горизонтов геотемпературным методом. - "Разведка и охрана недр", 1970, № 8.

34. ТЕСЛЯ А.Г. Прогрессивные методы опробования скважин на воду. ЦБТИ Минтяжспецстроя СССР, серия У, 1968, вып.4 (40).

35. ЦЕЙТЛИН В.Г. Испытатель пластов с двойным гидравлическим пакером Среднеазиатского филиала ВНИМГАЗ. Центр.ин-т НТИ АН УзССР, 1962.

36. ШЕРЖУКОВ Б.С., ГАМАКНОВ Н.И. Методика расчета гидрогеологических параметров водоносных пластов при опробовании их опытной скважиной. - "Известия высш.учебн.заведений. Геол. и разведка", 1964, № 5.

37. ШМЕЛЕВ В.И., ТРАУБЕ Ю.А. Применение компоновки из двух пакеров и фильтра между ними при опробовании скважин с помощью испытателей пластов. - "Нефтяное хозяйство", 1967, № 9.

38. ЩЕЛКАЧЕВ В.Н. Применение операционных методов к решению задачи о движении упругой жидкости в упругом пласте. "Докл. АН СССР", 1951, т.79, № 5.

39. ЯКОВЛЕВ А.М. Математическая обработка результатов измерений. М., Госстатиздат, 1958.

40. ЯСАШИН А.М., ЯКОВЛЕВ А.М. Испытание скважин. М., "Недра", 1967.

41. BREDEHOEFT I.D., PAPADOPULOS I.S. Rates of vertical ground water movement estimated from the Earth's Thermal Profile—"Water Resources Res.", 1965, 1, # 2, p.325-328

42. COOPER H.H., BREDEHOEFT I.D., PAPADOPULOS I.S. Response of finite-diameter well to an instantaneous charge of water.—"Water Resources Res.", 1957, # 1.

43. HURST W. Establishment of the skin effect and impediment to fluid flow into a well bore. —"The Petroleum Engineer", 1953, 25, # 11.

44. MILLER F.G. Pressure distribution about a slotted liner in a producing oil well.—"Petroleum Technology", 1940, # 8, p.1-15.

45. ODEH A.S., NABOR I.W. The effect of production history on determination of formation characteristics from flow tests.—"Petroleum Technology", 1966, 18, # 10, p.1343-1350.

46. SCHNEIDER H. Verticalbrunnen-Horizontalbrunnen (eine Vergleichstudie) "Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau", 1961, # 9.

47. Van EVERDINGEN A.F. The skin effect and its influence on the production capacity of a well.—"Petroleum Trans AIME", 1953, vol. 198.

С о д е р ж а н и е

Введение.	I
Экспресс-опробование водоносных горизонтов.	2
Опережающее опробование	2
Опробование пластов испытателями на трубах и опробователями на кабеле.	7
Исследования скважин методом расходомерии.	16
Применение термометрии для оценки параметров пластов	22
Экспресс-откачки и наливы в одиночные скважины.	25
Исследования скважин способом подкачки газа.	28
Приближенная оценка зональной проницаемости пластов по данным о поглощении промывочной жидкости в процессе бурения	29
Гидравлические сопротивления скважин и методы их оценки	31
Оценка достоверности результатов экспресс-опро- бования водоносных горизонтов	39
Заключение.	45
Литература.	47

Владимир Сергеевич Алексеев
Леонид Александрович Рохлин
Анатолий Григорьевич Тесля

Экспресс-опробование гидрогеологических скважин

Редактор Е.А.Ананьева
Технический редактор В.А.Скосырев
Корректор Н.А.Морякова

Подписано к печати 25/У-1972 г. Т07678 Сдано в печать 26/У 1972 г.
Формат 60x84/16 Усл.печ.л. 3,22 Уч.-изд.л. 3,00
Тираж 900 экз. Заказ 1666 Цена 31 коп.

ООНТИ ВИЭМС, Москва, Г-21, Zubовский бульвар, 13
Экспериментальная полиграфическая лаборатория ВИЭМС,
Москва, Б.Грузинская, 4/6

Алексеев В.С., Рохлин Л.А., Тесля А.Г.

Экспресс-опробование гидрогеологических скважин. Обзор. Серия: Гидрогеология и инженерная геология. ВИЭМС, 1972, 50 стр.

Рассматриваются новые методы и технические средства при опережающем опробовании водоносных пластов, испытатели нефтяных пластов и гидрогеологические. Даются приемы оценки параметров при известном характере поглощения промывочной жидкости при бурении скважин чистой водой. Приведена характеристика приборов для измерения расходов и уровней воды в скважинах; сформулирована рациональная область применения расходомерии как метода оценки зональной проницаемости пластов. Даны рекомендации по методике оценки достоверности различных методов опробования водоносных пластов.

Табл. 4. Илл. 9.