

Лехов М.В., Лехов С.М.

МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, лаборатория охраны геологической среды и взаимосвязи
поверхностных и подземных вод, г. Москва, mvlekhov@geol.msu.ru

ОПЫТНЫЕ ОТКАЧКИ: НАЗНАЧЕНИЕ, ПЛАНИРОВАНИЕ И ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

Опытные откачки из скважин в инженерных изысканиях являются единственным методом определения фильтрационных свойств горных пород, для которого при известных условиях можно ожидать относительной обоснованности. С формальных позиций обработка данных откачек как процедура решения обратной задачи фильтрации имеет и балансую характеристику, и реакцию водоносного горизонта в виде изменения потенциальной функции – напора. Это действительно полноценная обратная задача, обеспеченная тремя необходимыми условиями знанием геологического строения, расходом потока и изменениями напоров. Четвертое условие – граничные условия на скважине и на внешней границе принимают волевым образом, в сторону упрощения.

Однако достаточными исходные данные назвать никак нельзя ни по одному показателю. Строение, как правило, характеризуется по описанию скважин вблизи точки возмущения, да и то, не всегда качественно. Разведочная скважина редко вскрывает водоупор на достаточную мощность, а часто и не доходит до него. Покровные образования, верхнюю зону разреза глубокие скважины «проскакивают», уровни воды фиксируют безобразно (не следует искать смягчающих выражений, когда речь идет о подготовке дорогостоящего эксперимента). От знания этих характеристик принципиально зависит конструкция опытных и наблюдательных скважин.

Измерения расхода – это более или менее надежный показатель, но, как правило, он всегда меняется, существенно осложняя обработку. Существует и детерминировано обусловленное изменение расхода притока к фильтру за счет осушения ствола при постоянном дебите на устье.

Точки измерения напоров (точнее – фильтровые интервалы скважин) малочисленны в кустах, а в одиночных откачках – это тот же интервал фильтра, через который поступает приток к скважине. В скважинах измеряют не напор потока, а уровень воды в скважине. Они могут отличаться за счет кольматажа фильтра. Для одиночных откачек этот факт является фатальным, приводит к ложному результату. При слоистой (зональной) неоднородности малочисленные наблюдательные скважины, размещенные без предварительного планирования с использованием имитационного моделирования, могут не справиться с задачей определения не только проницаемостей слоев, но и суммарной проводимости.

Кустовые откачки

Об обоснованности фильтрационного опробования можно говорить только относительно кустовых опытов длительностью не менее 0,5–1 сут. Их преимуществом (хотя и не бесплатным) является соблюдение необходимых условий для корректного решения обратной задачи – места возмущения и наблюдений разнесены в пласте и известен расход, опробуется представительный по размерам массив, слой, пласт горных пород.

Однако эти условия далеко не достаточны. Осторожность в определении обоснованности обусловлена влиянием множества факторов, природных (неоднородность, режим подземных вод, перетекание, водоотдача, водная граница) и техногенных. При этом реакция потока подземных вод фиксируется всего лишь в двух-трех точках, редко более четырех.

К причинам технического свойства относятся небрежность в оборудовании скважин фильтровыми колоннами (несоответствие планируемых, реальных и документируемых интервалов фильтров, отсутствие обсыпки, необеспеченная изоляция фильтровых интервалов от перетока по затрубью), невосстановленный статический уровень воды в скважинах, техногенное возмущение в зоне влияния откачки (дренаж, сброс откачиваемой воды), кольматаж фильтров. Кольматаж определяет непредсказуемый скачок напоров в центральной скважине и инерционность реакции наблюдательных.

Самое последнее место в ряду причин занимает неправильная обработка опытных данных и сам расчет. Эта процедура поправима. Но - в том случае, если опыт сопровождается добросовестной документацией. Тогда может быть произведена повторная интерпретация.

В практике штатных инженерных изысканий кустовая откачка в пласте ограниченной мощности может определить проводимость T , упругую емкость S , коэффициент перетока χ . Теоретически, при большой длительности (ненарушенном изменением режима) и иногда это удается, может быть произведена оценка гравитационной емкости S_g . Расчеты параметров производятся графоаналитическими методами.

Формальный расчет коэффициента фильтрации k пласта делением T на мощность m как итогового результата полевого опыта, по сути, не имеет смысла. И в аллювиальном горизонте с резким переходом от базального слоя до пляжной фации, и во флювиогляциальной толще песчано-глинистых пород, и в трещиноватом массиве осредненный по мощности параметр k – параметр бесполезный. В прогнозной задаче эта величина пересчитывается на проводимость. Если же он участвует в расчетах непосредственно, результат будет ошибочным.

Можно говорить о коэффициенте фильтрации породы в точке разреза (или же о коэффициенте фильтрации образца идеальной однородной дисперсной смеси), но не о коэффициенте фильтрации водоносного горизонта.

Однородных водоносных горизонтов в природе не бывает. При относительно небольшом изменении состава в разрезе и отсутствии глинистых прослоев может быть принята схема однородного пласта.

Упругая емкость S в задачах строительного проектирования не используется (может быть, лишь в единичных случаях), но ее значение весьма важно для проверки расчетной части обработки данных откачки. Она входит в определение коэффициента пьезопроводности $a^*=T/S$, который, например, используется для оценки критерия квазистационарности в методе Джейкоба.

Попытка отдельного определения коэффициентов фильтрации слоев возможна при устройстве большого числа наблюдательных скважин с ярусным размещением фильтров. Обработка таких откачек может дать ориентировочный результат только при использовании численного моделирования в профильно-радиальной постановке. Такая программа 1WELL разработана одним из соавторов. Непременным условием корректного применения моделирования является внимательное отношение к разбивке по цилиндрическим координатам. Моделирование же притока к скважине в декартовых координатах дает грубые погрешности в искомым параметрах.

Наиболее приемлемым типом кустовой откачки в штатных инженерных изысканиях является схема «малого куста», предложенная одним из соавторов при составлении свода правил по инженерно-геологическим изысканиям 2018 г. Малый куст имеет центральную скважину и 3–4 наблюдательных. Для определения перечисленных параметров этого вполне достаточно. Длительность откачки – порядка одних суток. Однако строгие правила в отношении длительности, а также конструкции сформулировать трудно и даже вредно. Откачка – эксперимент в непознанной среде с точечными (по разведочным скважинам) данными. Подход к постановке должен быть творческим. Для успешного планирования, проведения и интерпретации необходима квалификация. И нельзя забывать то обстоятельство, что неизбежно часть скважин по той или иной причине может оказаться нерабочими.

Понятными позициями планирования опыта является обеспечение в наблюдательных скважинах достаточных понижений (в самой дальней - не менее 40-50 см). Для этого производится предварительный расчет и подбор пробными откачками дебита. При этом ствол центральной скважины не должен осушаться. Планирование откачки и обработка данных могут использовать программу 1WELL (описание в журнале «Инженерная геология» в 2015 г.), позволяющую имитировать слоистый неоднородный пласт со свободной поверхностью, с кольматацией, осушением фильтра, несовершенством и другими осложняющими факторами.

Одиночные откачки

Откачки из одиночных скважин по-прежнему преобладают в объеме инженерно-геологических изысканий. Причин много. Их проще делать, меньше затрат на бурение, подготовку, проведение и интерпретацию. Для того, чтобы в разведочную скважину опустить фильтр, насос, измерить дебит и понижение в течение одного-двух часов не нужны квалифицированные специалисты. То, что параметры, рассчитанные по одиночным опытам непредставительны, существенно отличаются от результатов кустовых откачек, доказывать не надо. Это известно любому практику. Почему же продолжают «*делать откачки*», а не *изучать фильтрационные свойства методом откачки*?

Индальгенцию на трату средств на опыты с заведомо ложными результатами обеспечивают ведомственные нормативы и руководства, которые ставят в один ряд одиночные и кустовые опыты. Изыскатель избегает сложных кустовых опытов, заменяя равными по объему бурения одиночными. Количество одиночных откачек никак не может компенсировать ущерб, причиненный отказом даже от одного кустового опыта.

Внутренние нормативы остались от эпохи внедрения в практику методов, исходя из наличия формул, а не анализа реальных условий их проведения. По сути, они снимают ответственность за некачественные виды изысканий. Неверные параметры приводят к ошибочным прогнозам, что в свою очередь, приводит к ошибочным проектным решениям. Одиночные откачки, согласно действующему государственному стандарту ГОСТ 23278-2014 [1], следует проводить для получения ориентировочных параметров (что тоже неправильно и следует изменить, возможно, на «анализ режима для последующего планирования кустовых опытов», придав одиночной откачке статус пробной). В действующем ГОСТ 23278-2014 [1] отмечено, что кустовая откачка – основной и наиболее обоснованный метод.

Причиной ошибочных результатов является существенное искажение режима понижения в скважине, который каноническими решениями рассматривался, исходя из идеальных условий.

Нарушение прискважинной зоны приводит к значительному скачку напоров на стенке, увеличению участка высачивания и осушению фильтра. Характеристики сопротивления зоны, расчетный радиус скважины для одиночной откачки определить невозможно. Кроме того, сопротивление может меняться со временем.

Представляется глубоко ошибочным сам по себе принцип измерения реакции среды в той же точке (скважине), в которой производится возмущение. Неизбежно влияет искажение свойств пород и технически несовершенное исполнение работ.

Другим осложнением является влияние емкости ствола скважины на замедление понижения. Ошибочно в полулогарифмических координатах

график понижений этого периода принимают за квазистационарную прямую Джейкоба. Расчет дает существенно заниженную проводимость.

При откачке в горизонтах со свободной поверхностью (актуальной в инженерных изысканиях) быстро активизируется перетекание со свободной поверхности. Понижения замедляются и квазистационарный период «съедается» ложной стабилизацией. В этом случае применить метод Джейкоба невозможно. А это единственный метод, который свободен от учета кольматажа скважины. При удачном стечении обстоятельств этим методом может быть определена суммарная проводимость пласта, и только она (что вполне достаточно для большинства задач строительного проектирования).

На очевидное возражение о том, что разработаны и алгоритмизированы аналитические решения, учитывающие все перечисленные факторы, ответ простой. Характеристик много, и они связаны в комплексные параметры. Расчет коэффициента фильтрации требует знания остальных параметров. В противном случае, интерпретация одиночного опыта всегда дает многовариантный набор искомых величин.

Полный отказ от одиночного опробования, скорее всего, будет крайностью. При должной подготовке (чего ожидать можно, но не надеяться) откачки дают искаженный результат, который не следует называть коэффициентом фильтрации. Но поинтервальное опробование скважин на участке исследований может послужить хорошей основой для анализа неоднородности горных пород в плане и разрезе. Следует предостеречь от поиска корреляционных связей значений коэффициента фильтрации, полученных одиночными и кустовыми откачками. Такие модели никогда не бывают «чистыми» в плане представительности выборки. Многое зависит и от техники проведения опытов, и от субъективных огрехов в обработке тех и других.

Относительно планирования одиночных откачек главными представляются требования обеспечить должные значения длины 3–5 м и диаметра > 4–6" фильтра, прокачку, установление статического уровня перед пуском откачки, длительность не менее 8 ч, предварительный подбор дебита для понижения не менее 1 м и не более величины, которая приводит к осушению фильтра на 30%.

Экспресс-откачки

Этот ложный метод определения коэффициента фильтрации не напрасно был назван В.А. Мироненко «самым дешевым способом получить неверные параметры» (со слов В.М. Шестакова). Тем не менее, экспресс-откачки и экспресс-наливы именно в период разрухи 90-х гг. XX века приобрели громадную востребованность у изыскателей и были закреплены в

ведомственной нормативной литературе. Этому содействовала и растущая за рубежом их популярность (slug tests).

Изыскателя они привлекают. Объяснение еще проще, чем с одиночными откачками. Не требуется водоподъемное оборудование, электропитание, прокачка, водоотвод, устройство наблюдательных скважин. Не нужны специалисты. Экспрессы делают в любой скважине (нормативные требования для них, к счастью, не успели узаконить), оборудованной и не оборудованной фильтром, или просто в забитую в землю трубу.

Экспресс-опыты всегда дают существенно заниженную проницаемость. Главная причина – по данным восстановления уровня воды после его подъема или снижения определяется не параметр пласта, а некий расчетный показатель, на который влияет и измененная при бурении горная порода, и кольматация стенок, и несоответствие идеализированных расчетных моделей притока к скважине реальным условиям, осложненным неоднородностью, анизотропией. Накладывает также влияние далеко не мгновенное понижение или повышение уровня. Практически все экспресс откачки производятся при недовосстановленном уровне в неподготовленных скважинах.

Расчеты коэффициента фильтрации по данным экспресс-опробования не могут быть названы достоверными. Даже при отсутствии кольматации этот факт проверить невозможно. Подробный анализ приведен в 2017 г. в статье авторов в журнале «Инженерные изыскания» [2].

Планировать и проводить такие опыты, тем не менее, можно. Но, без нормативного давления, и ставя задачи исключительно исследовательские – для фильтрационного расчленения разреза по ходу бурения скважины, опуская в интервалы легкие фильтры с обязательным полным восстановлением уровня воды перед откачкой или наливом.

В качестве дополнительной информации расчетный «условный коэффициент фильтрации» может быть полезен, но лишь в том случае, если подготовка опыта будет максимально тщательной.

Соображения, изложенные выше, авторы предполагают опубликовать в развернутой статье в рецензируемом ВАК журнале «Инженерные изыскания» издательского центра ООО «Геомаркетинг», сопроводив ее примерами и графическими иллюстрациями.

Список литературы

1. ГОСТ 23278-2014 Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости.
2. Лехов С.М., Лехов М.В. Методы расчета и причины ошибочных результатов экспресс-откачек из скважин // Инженерные изыскания. 2017. № 2. С. 38–50.

Материалы докладов Общероссийской научно-практической конференции
«Современные полевые и лабораторные методы исследования грунтов – изыскания
и проектирование»

Современные полевые и лабораторные методы исследования грунтов – изыскания и проектирование (Материалы докладов Общероссийской научно-практической конференции). М.: Издательство «Геомаркетинг». 2018. – 191 с.

20 и 21 сентября 2018 года в бизнес-отеле «Бородино» (г. Москва) редакцией журнала «Инженерные изыскания» совместно с ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве» (ООО «ИГИИС»), СРО Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве» («АИИС») и Союзом изыскателей была проведена Общероссийская научно-практическая конференция **«Современные полевые и лабораторные методы исследования грунтов – изыскания и проектирование»**.

В конференции приняли участие 110 представителей проектно-изыскательских организаций, научно-исследовательских институтов, крупнейших производственных организаций и вузов из 16 городов РФ и Республики Узбекистан: Москва, Санкт-Петербург, Грозный, Дедовск, Ижевск, Екатеринбург, Краснодар, Нижний Новгород, Новосибирск, Оренбург, Пенза, Ставрополь, Темрюк, Томск, Уфа, Ханты-Мансийск, Ташкент. Заслушано 33 доклада.

В материалах докладов Общероссийской научно-практической конференции **«Современные полевые и лабораторные методы исследования грунтов – изыскания и проектирование»** представлены публикации по различным аспектам полевых и лабораторных исследований грунтов, инженерно-геологическим изысканиям и проектированию.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов в области грунтоведения, механики грунтов, инженерно-геологических изысканий, проектирования, строительства, для студентов и аспирантов профильных вузов.

Редакционная группа: Журавлева Н.А., Висхаджиева К.С.

ООО «ГЕОМАРКЕТИНГ»
ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве»
СРО АССОЦИАЦИЯ «ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»
НП «СОЮЗ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ»



Саморегулируемая организация



Общероссийская научно-практическая
конференция

«СОВРЕМЕННЫЕ ПОЛЕВЫЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВ – ИЗЫСКАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ»

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

20 – 21 сентября 2018 г.

г. Москва
2018