прим. Процесс измерения дебита. Емкость 200 литров обеспечивает заполнение за 40 секунд. Москва, Пресненская наб.

Лехов Степан Михайлович

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва, trakky@mail.ru

Кустовые откачки в составе инженерно-геологических изысканий: трудности соблюдения методических и нормативных требований при постановке опытов.

Аннотация.

Сегодня опытно-фильтрационные работы проводятся организациями, выполняющими инженерно-геологические изыскания. В большинстве случаев такие организации не имеют ни опыта проведения таких исследований, ни квалификации персонала, ни технической обеспеченности для устройства гидрогеологических скважин. В отличии от разведочных скважин гидрогеологические бурятся большим диаметром (с остановкой для установления уровня), оборудуются обсадными колоннами, фильтрами, отстойниками, обсыпкой, затрубной цементацией при необходимости.

Проведение откачек еще на этапе планирования и бурения становится сложной задачей, поскольку требует с одной стороны технической обеспеченности, а с другой - квалификации и добросовестности исполнителя.

Ключевые слова. Гидрогеология. Кустовая откачка. Планирование. Диаметр бурения. Дебит. Наблюдения. Скин эффект.

В современных условиях сложилась практика проведения специальных гидрогеологических исследований в составе инженерно-геологических изысканий. При этом сами изыскания обычно не в состоянии обеспечить исследователя уровнями подземных вод, которые в итоговом отчете существенно меняются от скважины к скважине на метры и не дают представления о поверхности подземных вод. Использовать такие материалы для построения карты гидроизогипс невозможно. Причины хорошо известны - отсутствие квалифицированных кадров, отсутствие нормативных документов, регулирующих процедуру, халатность, сокращенные сроки работ. Это препятствует решению простой задачи установления уровня подземных вод.

В таких условиях проведение опытно-фильтрационных работ становится серьезным вызовом для организации исполнителя, требуя квалификации и опыта бурильщиков, наличия технического оборудования и специалистов гидрогеологов, принимающих участие, начиная с этапа планирования эксперимента.

Единственным достоверным методом определения геофильтрационных параметров являются кустовые откачки и наливы [7]. Это метод, в основе которого лежит обоснованная теория, а также многолетняя практика [5]. Тем не менее, его реализация требует специальной квалификации исполнителя и технической обеспеченности организации, проводящей работы.

Существенная проблема опытно-фильтрационных работ — это производство гидрогеологических скважин. Гидрогеологическая скважина должна буриться большим диаметром, оборудоваться отстойником, фильтром, обсыпкой, отмытой от глинистой фракции, иногда, затрубной цементацией. При наличии нескольких водоносных горизонтов делается переход диаметра в целях изоляции наблюдаемого горизонта от соседних. Опытные скважины оборудуются насосом и водоводом. Для насоса в центральной скважине необходимо обеспечить источник питания и согласованное место сброса. А для наблюдательных скважин необходимо обеспечить диаметр фильтра, позволяющий ее прокачать, и наблюдателей за уровнями.

Организации, проводящие инженерно-геологические изыскания оснащены, как правило, среднегабаритными буровыми установками. Наиболее распространена буровая установка УРБ-2А2, позволяющая бурить скважины максимального диаметра 190 мм [1]. Минимальный диаметр фильтра 168 мм согласно ГОСТ 23278-2014 [6], а минимальный диаметр бурения 219 мм, так как в случае дисперсных грунтов необходимо выполнять обсыпку фильтрового интервала. Если же необходимо изолировать первый от поверхности водоносный горизонт от целевого, то конечный диаметр фильтра снижается к 108 мм, непригодным для такого типа работ, а от обсыпки и вовсе приходится отказываться.

Требование обеспечить минимальный диаметр фильтра 168 мм отнюдь не праздное, а порой даже и недостаточное. Это обусловлено необходимостью добиться уверенного притока воды к скважине, что бывает затруднительно. Малая мощность водоносного горизонта, существенная кольматация скважины, возникающая в ходе ее производства, низкие фильтрационные свойства, отсутствие квалификации и опыта специалистов – все эти факторы каждый сам по себе, а порой и в совокупности, вынуждают планировать опыт «с запасом» [3]. Гидрогеолог, планируя откачку или налив с использованием средств численного моделирования (что, к слову, тоже является требованием вышеупомянутого ГОСТ), сталкивается с необходимостью учитывать будущие возможно возникающие производственные девиации.

Для планирования опыта наиболее удобным инструментом является программный комплекс 1WELL, позволяющий не только спланировать эксперимент, но и вести операционный контроль и корректировку программы работ с учетом технических возможностей и особенностей строения разреза в ходе работ. Это касается и подбора величины скин эффекта на модели. Также с помощью 1WELL численным решением прямой задачи может быть проведена проверка корректности применения аналитических методов

при интерпретации, провести анализ влияния неучтенных ими факторов на фильтрационную схему.

Планирование опыта с использованием средств численного моделирования позволяет составить ориентировочные представления о будущем опыте. Тем не менее, это лишь ожидаемые результаты [4, 5]. Исходя из опыта автора модельное планирование на практике оказывается в несколько раз более оптимистичным по сравнению с результатами, которые получатся в поле впоследствии. Существует также требование п. 4.2.3 ГОСТ обеспечить понижение в дальней скважине не менее 30 см [6]. Это требование вызвано необходимостью судить о влиянии фоновых колебаний на опытные данные. Таким образом, исследователь, получив на модели при планировании понижение в дальней скважине 30-35 см, может столкнутся с реальными значениями в поле около 10-12 см и ниже.

В случае наличия запаса снижения уровня в центральной скважине необходимо лишь увеличить дебит. Это тоже может быть затруднено в случае, если выбранный насос уже работает с максимальным дебитом. Как правило, в арсенале инженерно-геологических организаций имеются лишь маломощные насосы для прокачки скважин. Покупка дополнительного оборудования, возникшая в ходе работ сметой не предусмотрена. Дополнительные расходы ложатся на плечи производителя работ [2].

Однако есть ситуация еще хуже. В случае, если запас напора в центральной скважине отсутствует, а понижения в дальней скважине достичь не удается, закономерно возникает необходимость перебуривания центральной скважины бóльшим диаметром, либо проходка дополнительной центральной скважины. Оба варианта не только предполагают существенное увеличение сметы, но и ожидание изготовки и доставки необходимых обсадных труб и фильтровых колонн (насосов, водоводов и другого оборудования). Удовлетворение внезапно возникших потребностей требует время, которое может не уложиться в сроки изысканий.

Отдельным пунктом стоит кольматация центральной скважины, которая относится как к технической стороне вопроса, так и к квалификации бурильщиков. Полностью избежать кольматации скважины невозможно. Однако, можно приложить максимум усилий по ее минимизации, это и находится в зоне ответственности производителя буровых работ. От бурильщиков требуется не просто владеть знаниями о производстве скважин на воду, но и знать особенности оборудования таких скважин (монтаж водовода, посадка фильтровой колонны, обсыпка, выстаивание уровней и др).

Вопрос кольматации скважин много раз поднимался в литературе, подробно останавливаться на нем не имеет смысла. Автор может лишь добавить, что рекомендации о прокачке скважины до появления «чистой воды» недостаточна. Визуально чистая вода появляется спустя несколько часов, когда содержание глинистых частиц существенно снижено в стволе и ближайшей прискважинной зоне. Однако процесс прокачки продолжается, что следует из динамики понижений центральной скважине, учитывая, разумеется, фоновые колебания уровней. На рис.1 приведен пример графика временного прослеживания понижений, когда при поддержании постоянного дебита происходит компенсация понижений.

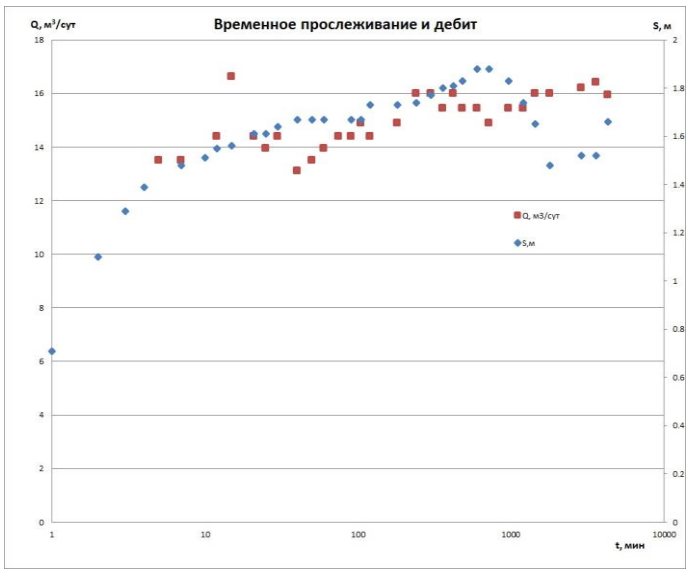

Рис.1 Снижение понижений в процессе откачки при постоянном дебите

По мнению автора, прокачка центральной скважины должна вестись несколько бригадосмен малым дебитом. Также неплохой результат показывают «стрессовые откачки», когда производится серия включений/остановок насоса средней мощности. Это наиболее актуально, если скважина выполнена с нарушениями, с использованием буровых растворов. Вместе с тем, желонирование скважины по мнению автора лишь сильнее заталкивает мелкие частицы в водоносный горизонт давлением. При наличии компрессора возможно произвести эрлифт, который вынесет существенную часть шлама во взвешенном состоянии из скважины [1].

Основная негативная особенность кольматации в том, что она переменна во времени. В ходе откачки скважина прокачивается, кольматация уменьшается. В случае, если ведутся наблюдения за уровнем в центральной скважине, данные искажаются [3].

Питание насоса не редко осуществляется при помощи генератора даже в условиях города. Это связано с административной стороной вопроса. В таком случае качество работы генератора напрямую влияет на успех опыта. Здесь речь идет не только о надежности самого устройства, которое требует регулярного обслуживания (замена ремней, свечей, масла, своевременная дозаправка и т.д.), что лежит в зоне ответственности технического персонала, но и о стабильности его работы. Изменяющееся напряжение влечет за собой изменение дебита откачки, что сказывается на чистоте опыта. Это особенно актуально при работе с большими генераторными станциями, обслуживание которых требует наличия инженера электрика. В случае наличия такового рекомендуется ведение регулярных наблюдений за напряжением на выходе. Наиболее предпочтительно питание насоса от сети, однако, в случае, если насос трехфазный необходимо помнить, что такое питание тоже может быть нестабильным, поскольку является промышленным и имеет свойство изменяться в конце и начале рабочего дня на различных предприятиях.

Все гидрогеологические скважины должны снабжаться отстойником [6]. Требование п.4.2.8 ГОСТ снабжать скважины отстойниками длиной не менее 1,5 м автор считает недостаточным, поскольку исходя из личного опыта при проведении кустовых опробований, предполагающих длительные прокачки и пробные откачки, ствол скважины существенно заиливался. В дисперсных породах после всех мероприятий фактический забой скважины поднимался на 2-3 м. Это ведет к уменьшению фактической длины фильтра, что в свою очередь уменьшает приемистость скважины. К величине длины отстойника 1,5 м следует относиться как к критическому минимуму.

При этом необходимо помнить, что, стремясь сделать длинный отстойник, важно учесть мощность водоупора. Гидрогеологическая скважина оборудуется фильтром, примыкающим к подошве водоносного горизонта. И, в случае, если подстилающий

водоупор маломощен, возникает вероятность его «проткнуть», вскрыв тем самым нижележащий водоносный горизонт с другим напором. Очистить отстойник от шлама, не извлекая его, довольно непросто. Возможно использование эрлифта может несколько улучшить ситуацию, о чем упоминалось выше.

Помимо возникновения описанной проблемы с центральной скважиной куста может также возникнуть необходимость перебуривания наблюдательных скважин. В случае необходимости уменьшения дебита насоса требуется монтаж системы с «тройником», позволяющей возвращать часть дебита обратно в скважину, регулируя дебит кранами (рис.2).

Рис.2 Пример использования двух тройников для двух центральных скважин. Слева – регулирующие краны, справа – возврат части дебита обратно в скважины.

Потребность в использовании «тройника» возникла, когда практика снижения дебита водопроводными кранами стала приводить к сгоранию насоса. Сгоревший насос в ходе опыта требует остановки наблюдений, восстановлению уровней до статических, что также может занимать существенный период времени, если опыт был внезапно прерван спустя значительное время.

Наблюдения за изменением уровней подземных вод в ходе опыта осуществляется при помощи уровнемеров. Как правило, в небольших инженерно-геологических организациях отсутствуют даже простейшие механические уровнемеры, так называемые «хлопушки». Уровни подземных вод, которые фиксируются в журналах бурения, определяются по уровню смачивания штанг, либо при помощи самодельных инструментов, с точностью немногим выше. Для производства кустового опыта с минимальным количеством скважин уже требуется 3-4 уровнемера. В некоторых случаях, например, при большой глубине залегания подземных вод или в ситуации, когда звук, издаваемый хлопушкой, слишком слаб (пластиковые трубы, близко работающий генератор, урбанистический шум) требуется использование электроуровнемера либо датчиков. Электроуровнемеры - основное оборудование, которое используют организации, работающие в сфере водоснабжения, тем не менее крайне редко встречаются в инженерных изысканиях. Датчики, которые в силу стоимости еще более редкое явление, дополнительно требуют калибровки, а также времени на обработку массива наблюдений и фильтрацию данных.

Ведение наблюдений за дебитом несколько проще, однако, имеет свои технические особенности. Наиболее распространен объемный способ, здесь лишь надо помнить о необходимости выбора емкости, которая заполняется не менее 20 секунд, что отвечает требованию п. 4.4.2 ГОСТ [6]. Идеальным является объем, заполняемый 30-40 секунд, что существенно снижает ошибку в ходе смены дежурных наблюдателей. Хоть верхний порог заполнения мерной емкости не определен, но, желательно чтобы он также не превышал одной минуты. Мерная емкость, которая заполняется слишком долго, не позволяет

приурочить измерение дебита к какому-то определенному значению времени, что сказывается на чистоте данных начального периода откачки, когда эти наблюдения наиболее чувствительны. По этой же причине иногда используют две мерные емкости, что тоже может быть затратно, если откачка ведется большим дебитом. Изредка для наблюдений за дебитом используются водомерные счетчики. Их использование оправдано лишь в случае наливов, так как в случае с откачкой даже незначительного количества взвешенных в воде частиц будет достаточно для выхода счетчика из строя. Засорение счетчика может не привести к выходу его из строя, однако замедлит вращение вертушки внутри, что в свою очередь приведет к неверным представлениям о дебите откачки и скажется в дальнейшем в ходе интерпретации опытных данных.

Особенностью устройства системы водоотведения является не только поиск точки сброса откачиваемой воды, что в случае крупных городов может быть затруднено необходимостью согласования с различными инстанциями, а в случае работы в поле могут не позволять условия (к примеру, когда куст скважин находится в понижении рельефа), но и сама техническая конструкция. Главным требованием к конструкции водовода является необходимость обеспечить минимальное сопротивление. Наиболее уязвимым местом системы водоотведения является устье скважины, где, как правило, выходит шланг. Даже армированные шланги на изломе в ходе работы опытной скважины существенно сжимаются в диаметре, что не только создает дополнительную нагрузку на насос, но и делает эту нагрузку динамической во времени – меняется дебит откачки в ходе самого опыта. Таким образом, использование жесткой системы водоотведения более предпочтительно.

В случае же большого удаления места сброса дополнительно необходимо обеспечить уклон системы водовода, что в случае с откачкой в существенном понижении рельефа требует создание значительного перепада высот, монтаж водоотведения подобно акведуку (рис.3). В противном случае сопротивление системы водовода будет значительным.

Рис.3 Пример правильной системы водовода при значительном перепаде высот. Нижегородсквая область, о. Ревякский

Однако, в таком случае пункт наблюдения за дебитом откачки существенно смещается, что требует дополнительных наблюдателей и согласованности наблюдений с ними посредством хронометража или системы связи.

Главная сложность технических особенностей не столько в их стоимости и, порой уникальности, сколько во внезапности возникновения потребности в них! Все

вышеперечисленное влечет за собой увеличение сметы в ходе производства работ, а также к срыву сроков [2].

Отдельным разделом стоит выделить обеспеченность квалифицированным техническим персоналом при производстве гидрогеологических исследований. Здесь имеет смысл говорить не столько о халатности отдельно взятых исполнителей, сколько о специализации в целом. Для обеспечения всего вышеперечисленного требуется большое количество персонала (бурильщики, геодезисты, механики, монтажники, электрики, наблюдатели, гидрогеологи).

Практика показывает, что отсутствие централизованной школы бурильщиков приводит к тому, что каждый применяет свой подход к производству гидрогеологических скважин. Это часто приводит к отрицательному результату. Как пример, можно привести уверенность некоторых исполнителей буровых работ в полной растворимости гелевых растворов (гипан) или в выкачивании глинистых растворов (бентонит).

Дополнительно стоит отметить, что в современных условиях бурильщики имеют оплату по метражу выработки. Оклад, как правило, отсутствует. Это приводит к тому, что все дополнительные работы приходится согласовывать отдельно вплоть до мелочей, что порой приводит к абсурдным ситуациям. Обычно бурильщикам просто не выгодно быть наблюдателями за уровнями подземных вод, заниматься монтажом водоподъемного оборудования, его обслуживанием. Поиск наблюдателей в ночной период опыта может в таких условиях обернуться отдельной проблемой, тормозящей все производство работ.

В докладе затронуты только производственные технические аспекты работы инженера гидрогеолога. Помимо них исполнитель сталкивается с необходимостью проводить гидрогеологические расчеты, выполнять прогноз, интерпретировать опытные данные.

Выводы напрашиваются сами собой – подобные работы должны проводиться специализированными организациями, имеющими в своем арсенале необходимое оборудование, инженеров гидрогеологов и бурильщиков, квалифицированных на производстве гидрогеологических скважин. Либо гидрогеологические исследования должны быть выведены в отдельный вид изысканий, которым займутся вновь созданные или перепрофилированные организации. Это позволит таким организациям прогнозировать риски будущих трудностей и брать на себя ответственность.

Список литературы

1. Беляков В.М., Краснощеков Г.М., Попков В.А. Справочник мастера по бурению скважин на воду. М.: Колос, 1984. 127 с.
2. Боревский Б. В., Лехов М. В. Место гидрогеологических исследований в инженерных изысканиях в строительстве. Причины деградации и пути преодоления // Материалы XV Общероссийской научно-практической конференции Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации, г. Москва, 26-29 ноября 2019 г. — М.: М., 2020. — С. 525–528.
3. Лехов М. В. Гидрогеологические изыскания и моделирование в городском строительстве: критические комментарии // Инженерные изыскания. — 2013. — № 1. — С. 24–29.
4. Лехов М. В. 1well программа моделирования профильной осесимметричной фильтрации в пласте со свободной поверхностью в окрестности скважины при откачке и наливе с возможностью интерпретации опытных данных // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ). — 2014. — № 9. — С. 2014618752.
5. Лехов С.М., Лехов М.В. Опытные откачки: назначение, планирование и достоверность результатов // Современные полевые и лабораторные методы

исследования грунтов – изыскания и проектирование. Материалы докладов Общероссийской научно-практической конференции. — ООО Геомаркетинг Москва, 2018. — С. 103–108.
6. ГОСТ 23278-2014 «Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости».
7. СП 446.1325800.2019 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ».

S. Lekhov

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, trakky@mail.ru

Cluster pumping tests as a part of modern geological surveys: technical difficulties and methodological and regulatory requirements when design of experiment.

Abstract. Today there is a practice of conducting hydrogeological researches as a part of geological surveys. At the same time, the surveys themselves are often unable to provide the researcher with groundwater levels, which change from well to well by meters and do not give us a view of the groundwater surface. Use such materials to build a depth-to-water map is impossible. The reasons for this are well known - shortage of qualified personnel, lack of normative acts regulating the procedure, negligence, reduced terms of work. This prevents solving the simple task of establishing the groundwater levels.

Field hydrogeological researches, mainly consisting of well tests, require technical equipment on the one hand, and the qualifications and conscientiousness of the contractor on the other hand.

Key words. Hydrogeology. Cluster pumping tests. Technical difficulties.