



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ПОДТАПЛИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ И ЗАГЛУБЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.131

АВТОР

ДМИТРИЕВ Д.А., канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ГП «Научно-исследовательский институт строительных конструкций»

АННОТАЦИЯ

В связи со строительством объектов с развитой подземной частью и на участках, которые могут подвергаться подтоплению, следует выполнять специальные исследования для определения фильтрационных параметров грунтов основания. В статье представлены требования к выполнению полевых исследовательских работ на таких площадках.

In connection with the constructions, facilities with advanced underground part or in areas that may be subject to flooding should carry out special studies to determine the flow parameters foundation soils. The paper presents the requirements for the implementation of field research at such sites.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

коэффициент фильтрации, откачка, кривая депрессии.

ВВЕДЕНИЕ

При строительстве зданий и сооружений с развитой подземной частью и на участках, которые могут подтапливаться, следует выполнять прогнозные расчеты изменения гидрогеологических условий на период строительства и эксплуатации объекта. При этом должны выполняться требования по сохранению существующего гидрогеологического режима, защите котлованов и подземных конструкций сооружений от подземных вод. Для этого выполняют расчеты, по результатам которых определяют расходы подземных вод, поступающих в котлованы, учитывают возможность возникновения суффозии, а при выполнении работ по водопонижению исследуют изменение кривой депрессии в зоне влияния строительных работ. Основной характеристикой водопроницаемости грунтов является коэффициент фильтрации, который служит исходным параметром для всех фильтрационных и гидрогеологических расчетов.

ОБЗОР ИСТОЧНИКОВ ПО ТЕМЕ И НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

При разработке мероприятий по защите подземных конструкций зданий от воздействия подземных вод и выполнении гидрогеологических расчетов руководствуются требованиями следующих нормативных документов:

- ДБН В.1.2-14-2009 «Общие принципы обеспечения надежности зданий, сооружений, строительных конструкций и оснований» [1];
- ДБН А.2.1-1-2008 «Инженерные изыскания для строительства» [2];
- ДБН В.1.1-25-2009 «Инженерная защита территорий и сооружений от подтопления и затопления» [3];
- ДСТУ Б В.2.1-23:2009 «Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации» [4];
- П-717-80 «Руководство по определению коэффициента фильтрации водоносных пород методом опытной откачки» [5].

Согласно [2], гидрогеологические изыскания выполняют в комплексе инженерно-геологических



изысканий или отдельно с целью получения сведений об инженерно-геологических условиях и данных для проектов строительства или проектов защиты зданий, сооружений и территорий от опасных процессов. При определении коэффициентов фильтрации часто используют табличные значения, приведенные в технической литературе. Также в практике проектирования для определения коэффициентов фильтрации грунтов пользуются эмпирическими формулами, которые приведены в технической литературе [6]. Реже выполняют специальные лабораторные или полевые исследования, которые должны выполняться в соответствии с требованиями [4, 5].

Целью определения фильтрационных параметров грунтов основания является получение исходных данных, необходимых для выполнения соответствующих фильтрационных и гидрогеологических расчетов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На территориях, осваиваемых человеком, на уровень грунтовых вод влияет наличие подземных инженерных сооружений. Это свайные поля под жилой застройкой, подземные паркинги, тоннели метро и т.п. В большинстве случаев это влияние отрицательное, так как нарушает естественную циркуляцию воды, затрудняет отток ее из тех районов, где в грунте есть преграды из бетона, поскольку уровень воды всегда поднимается, когда вода встречает препятствие. Это явление называется «барраж-ный эффект». Для выполнения фильтрационных и гидро-геологических расчетов, которые позволяют оценить влияние строительства на гидрогеологический режим, необходимы данные о фильтрационных параметрах грунтов. В таблицах, приводимых в технической литературе, значения коэффициентов фильтрации для одного и того же грунта значительно отличаются. Это приводит к тому, что полученные результаты могут привести к удорожанию проектных и строительных работ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время в действующих на Украине нормативных документах отсутствует четкое указание о необходимости определения коэффициентов фильтрации лабораторными или полевыми методами. В [2] указано, что опытные фильтрационные работы (откачки, наливки, нагнетания) включают в состав работ с целью получения гидрогеологических параметров для расчетов дренажей, водопонижающих систем, противofiltrационных завес, водопритока в котлованы и коллекторы, туннели, утечек из водохранилищ, накопителей, а также для разработки прогнозов. Требования к выполнению опытных фильтрационных работ должны быть отражены в техническом задании на выполнение изысканий и учитывать сложность инженерно-геологических условий, наличие на площадке опасных геологических процессов и сложность проектируемых сооружений [2, 3]. В нормативных документах следует предусмотреть обязательные требования к выполнению таких исследований.

Основными фильтрационными параметрами являются: коэффициент фильтрации, водопроницаемость, коэффициент водоотдачи, удельная проводимость и пьезопроводность, перетекание, сопротивление подрусловых отложений. Эти параметры необходимы для определения водопритока в карьеры и котлованы, проектирования дренажных систем и гидроизоляции подземных сооружений. Основным фильтрационным параметром, необходимым при проектировании зданий и сооружений и мероприятий по их защите от действия подземных вод, является коэффициент фильтрации.

Коэффициент фильтрации k - это скорость фильтрации при напорном градиенте, равном единице, определяемый по формуле Дарси [6]

$$k = v/I = Q/(FI), \quad (1)$$

где v - скорость фильтрации; I - напорный градиент; Q - расход фильтрационного потока; F - площадь поперечного сечения потока.

Для сооружений в простых инженерно-геологических условиях значения коэффициента фильтрации допускается принимать по данным ранее выполненных изысканий, либо определять по формулам, приведенным в литературе. Существует большое количество эмпирических формул, предложенных разными авторами. Достаточно часто применяют формулу Хэзена [6], которая имеет вид

$$k = AC\tau d_s^2, \quad (2)$$

где A - коэффициент, учитывающий размерность величины k , если k измеряется в м/сут., то $A=1$; C - коэффициент, зависящий от степени засорения песка глинистыми частицами (с увеличением степени засорения песка глинистыми частицами C уменьшается): $C=500 \dots 1000$; τ - поправка на температуру воды: $\tau = 0,70 + 0,03t_o$; t_o - температура в градусах по Цельсию; d_s - диаметр частиц, вес которых вместе с весом частиц диаметром, меньше d_s составляет 10% от веса всего грунта, d_s называется эффективным, или действующим, диаметром частиц грунта.

Формула Хэзена применима для песков, имеющих d_s от 0,1 до 3,0 мм и для которых коэффициент неоднородности составляет меньше 5 (коэффициент неоднородности - это отношение d_{60}/d_s , где d_{60} - диаметр частиц, составляющий 60% от веса всего грунта).

В настоящее время эмпирические формулы в практике применяются редко. Достовернее определять коэффициент фильтрации при помощи прибора Дарси в лабораторных условиях [4, 6], при этом полученные результаты будут значительно точнее.

Наиболее точными методами определения коэффициентов фильтрации являются полевые, при которых выполняют опытные наливки или откачки из скважин. Откачки из кустов или одиночных скважин выполняют в соответствии с требованиями [5]. Полученные данные являются исходными для выполнения гидрогеологических расчетов.

К расчетам, которые основываются только на коэффициентах фильтрации, относятся:

- расчеты фильтрационных потерь под плотной и в обход ее;
- расчеты для построения сетки движения на



- участке плотины и для определения градиентов фильтрационного потока в нижнем бьефе;
- в) расчеты притока воды в строительные выемки;
- г) расчеты всех противофильтрационных мероприятий;
- д) расчеты по оценке изменения гидрогеологического режима на участке нового строительства.

Распределение напоров, скоростей, расходов и других параметров подземного потока внутри изучаемой области движения подземных вод определяется начальными и граничными условиями. Начальные условия включают: геологическое строение и условия залегания водоносных и граничащих с ними пластов; их водопроницаемость, условия питания и разгрузки водоносных горизонтов. Граничные условия определяются положением пласта в разрезе и в плане. Неограниченным в плане пласт считается, если плановые границы его не влияют на ход откачки. Ограниченный в плане пласт - если он расположен в пределах депрессионной воронки и граничит с водоупором.

Наилучшие результаты дают откачки, на ход которых не влияют граничные условия пласта.

- В зависимости от режима фильтрации различают:
- а) откачки при установившемся (стационарном) режиме;
 - б) откачки при неустойчивом (нестационарном) режиме.

При установившемся режиме откачки заданному постоянному значению расхода (или понижения) отвечает стабилизовавшееся понижение (или расход).

Откачки в условиях неустойчивого режима целесообразно производить по следующим схемам:

- а) при постоянном дебите и изменяющихся во времени уровнях;
- б) при постоянном уровне и изменяющихся во времени расходах.

По соотношению длины рабочей (водоприемной) части скважины, называемой в дальнейшем фильтром, и мощности водоносного горизонта, опытные откачки разделяются на откачки из совершенных скважин, длина фильтра которых равна мощности водоносного пласта, и на откачки из несовершенных скважин, длина фильтра которых меньше мощности водоносного пласта.

По условиям размещения фильтра в безнапорных водах различают:

- а) несовершенные скважины с затопленным фильтром, когда динамический уровень при откачке располагается выше фильтра;
- б) несовершенные скважины с незатопленным фильтром, когда динамический уровень при откачке располагается в пределах фильтра.

Откачки из совершенных скважин проводят в однородных пластах мощностью до 15 м.

Откачки из несовершенных скважин применяют при:

- а) значительной мощности водоносного пласта, когда по техническим причинам установка фильтра на всю мощность затруднена;
- б) неоднородном строении водоносного пласта и необходимости определения коэффициента фильтрации определенного слоя (зоны);
- в) определении водопроницаемости пород, зале-

гающих под руслом реки.

При изысканиях для гидротехнического строительства обычно проводят два основных вида откачек: одиночные и кустовые. Перед каждой опытной откачкой проводят пробную откачку для получения ориентировочной характеристики водопроницаемости водоносного горизонта. Пробная откачка, как правило, является кратковременной. После пробной откачки проводят наблюдения за восстановлением уровня воды в скважине до статического положения. По результатам пробной откачки предварительно определяют значения коэффициентов фильтрации и вносят коррективы в схему откачки, уточняют значения возможных дебитов и т.п.

Опытные откачки из одиночных скважин применяют при изучении водопроницаемости однородных по простиранию пород. При изучении разреза по глубине в одной и той же скважине могут проводиться две-три откачки на разных интервалах глубины. Откачки, проводимые последовательно по всей длине скважины по мере ее углубления, называют зональными. Результаты зональных откачек, дающие поинтервальную характеристику для грунтов разреза, используют для обоснования проектов дренажных мероприятий и противофильтрационных завес. Одиночные откачки являются наиболее распространенным видом гидрогеологических исследований, их должны выполнять на всех стадиях проектирования.

Опытные кустовые откачки проводятся на кусте скважин, включающем центральную скважину, из которой откачивают воду, и наблюдательные, по которым фиксируют развитие депрессионной воронки в водоносном слое. Кустовые откачки позволяют определять гидрогеологические параметры на большей площади и с большей точностью, так как при их выполнении исключается влияние фильтра и призабойной зоны, а при расчетах не требуется принимать условное значение радиуса влияния.

При кустовых откачках помимо коэффициента фильтрации могут быть определены коэффициент пьезопроводности, характер формирования депрессионной воронки, степень взаимосвязи водоносных горизонтов.

Число и направление лучей при кустовых откачках зависят от особенностей геологического строения, направления фильтрационного потока, а также от задач, решаемых откачкой. Количество наблюдательных скважин на луче определяется гидрогеологическими условиями водоносного горизонта и принятой в расчете схемой. В однородных породах можно ограничиться двумя скважинами на луче, при неоднородном строении пласта количество скважин может возрасти до четырех и более. При наличии на одном луче двух и более наблюдательных скважин можно рассчитать по ним коэффициент фильтрации более достоверно.

Для выявления и учета возможных изменений естественного режима подземных вод в период откачки проводят наблюдения по одной - двум скважинам, расположенным вне области влияния опытной откачки.

Все методы обработки результатов опытных откачек основаны на решениях уравнений фильтрации, учитывающих особенности гидрогеологических



условий.

Продолжительность откачки определяется гидрогеологическими условиями, принятым видом откачки и ее назначением. Обычно продолжительность кустовой откачки установлена не менее 3 сут., а продолжительность одиночной откачки - не менее 0,5 сут.

С учетом этих требований при определении коэффициента фильтрации продолжительность одиночной откачки на одно понижение в однородных грунтах рекомендуется принимать не менее 1 сут. и заканчивать после стабилизации уровней при постоянном дебите. Понижения уровня воды в каждой опытной и наблюдательной скважине должны отсчитываться от изменяющихся статических уровней воды в процессе откачки. Установившимся статическим уровнем считается такой, который изменяется не более чем на 2 см за 4...6 ч около определенной отметки.

Наблюдения за восстановлением уровней подземных вод проводят не только после окончания откачки, но и во время пауз в испытаниях. По данным наблюдений за восстановлением уровней подземных вод могут быть определены ориентировочные значения коэффициентов фильтрации.

При размещении опытных скважин для проведения одиночных откачек, надо избегать влияния границ пласта, а также участков, где резко меняются мощность и водопроницаемость водоносного слоя. Располагать опытные скважины следует так, чтобы они характеризовали наиболее распространенные слои пород, неблагоприятные участки, изучение которых необходимо для проектирования сооружений, котлованов, противофильтрационных устройств и пр.

Расчет коэффициента фильтрации по данным одиночных и кустовых откачек из совершенных скважин для неограниченного в плане пласта производится по формулам Дюпюи [4, 6]. При этом для расчета по кустовой откачке средних значений коэффициентов фильтрации рекомендуется проводить графоаналитическую обработку опытных данных.

При одиночной откачке с несколькими понижениями расчетный коэффициент фильтрации следует определять по первому понижению, значение которого должно быть не меньше 1,5 м.

Водопроницаемость неоднородного пласта может изменяться постепенно или резко. В зависимости от литологических особенностей строения неоднородного пласта при откачках определяют коэффициенты фильтрации для отдельных слоев или средний для массива.

Одиночные и кустовые откачки рассчитывают несколькими методами: методом подбора, графоаналитическим, произвольных точек, эталонных кривых и др. Когда аналитические методы расчетов оказываются неприемлемыми, используют методы математического моделирования.

Для выполнения опытной откачки составляют проект производства работ, в котором определяют местоположение опытной скважины, вид откачки и технологию ее проведения. При кустовых откачках устанавливают количество, расположение и конструкцию наблюдательных скважин.

Частота измерения расхода и динамических уров-

ней воды в процессе откачки должна быть достаточной для обработки материала.

Измерения уровня воды в наблюдательных скважинах куста следует всегда проводить в одной и той же последовательности, чтобы промежутки времени между замерами в каждой скважине были одинаковыми.

Завершение кустовой откачки при установившемся режиме фильтрации выполняют при условии постоянства во времени разности понижений уровней воды в наблюдательных скважинах, а при откачках из одиночной скважины при стабилизации понижения. Срок окончания откачки при неустановившемся режиме определяется по графикам временного, площадного и комбинированного прослеживания прямолинейных расчетных участков. После окончания откачки проводят наблюдения за восстановлением уровня воды в центральной скважине, а также во всех наблюдательных скважинах.

Все результаты заносят в журнал и используют для выполнения фильтрационных и гидрогеологических расчетов. Выполненные скважины в дальнейшем используют для наблюдений за изменением гидрогеологического режима на участке строительства и прилегающей территории в составе общей системы мониторинга за строящимся объектом.

Для повышения надежности и эффективности проектирования и строительства сооружений с развитой подземной частью и расположенных на подтапливаемых территориях, выполнение опытных фильтрационных (полевых) работ, для расчета изменения гидрогеологических условий и проектирования мероприятий по водоотведению из котлованов, дренажей и гидроизоляции, является необходимым условием. При разработке нормативных документов или дополнений к ним это требование должно быть учтено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ: ДБН В.1.2-14-2009. – [Чинні від 2009-01-12]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 37 с. - (Будівельні норми України).
2. Інженерні вишукування для будівництва: ДБН А.2.1-1-2008. – [Чинні від 2008-05-02]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 76 с. - (Будівельні норми України).
3. Інженерний захист територій та споруд від підтоплення і затоплення: ДБН В.1.1-25-2009. – [Чинні від 1997-01-07]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 30 с. - (Будівельні норми України).
4. Методи лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації: ДСТУ Б В.2.1-23:2009. – [Чинний від 2010-01-10]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2009. - (Національний стандарт України).
5. Руководство по определению коэффициента фильтрации водоносных пород методом опытной откачки: П-717-80. - М.: Энергопроект, 1981.
6. Чугаев Р.Р. Гидравлика / Р.Р. Чугаев. - М.-Л.: Гостэнергиздат, 1963.