

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук Шарафутдинова Рафаэля Фаритовича
на диссертационную работу **Башмакова Ивана Борисовича**
**«Влияние воздействия слабых водонасыщенных пылевато-глинистых
грунтов на ограждения котлованов с учетом избыточных поровых
давлений»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения

Актуальность темы исследования связана с освоением подземного пространства городов и устройством котлованов в нестабилизированных водонасыщенных глинистых грунтах. Данная проблема актуальна для районов распространения сильнодеформируемых грунтов, характерных для условий Санкт-Петербурга, Сочи, Калининграда и других прибрежных территорий. Нормативные документы предписывают выполнять расчеты ограждений котлованов в эффективных и полных напряжениях (за вычетом и без вычета порового давления). Однако, в процессе устройства котлована в основании возникает нестабилизированное состояние, характеризующееся наличием избыточного порового давления, рассеивающегося во времени, что де-факто является промежуточным состоянием, предписываемом нормативными документами. Также в процессе устройства распорных конструкций и последующей экскавации котлована будет изменяться напряженное состояние основания по сложной траектории нагружения и вызывать избыточные положительные и отрицательные поровое давление, а напряженно-деформированное состояние основания будет отличаться от «традиционного» решения. Актуальность проблемы повышается в условиях наличия окружающей застройки, особенно исторической или являющейся памятниками федерального или регионального значения, где имеются весьма жесткие допуски к дополнительным деформациям оснований. Выполнение более точного расчета с учетом реального распределения порового давления в основании позволяет исключить избыточные запасы надежности, однако требует аккуратности в выполнении строительных работ и соблюдения проектных сроков исполнения. Таким образом, тема диссертации вне всяких сомнений актуальна.

Структура и содержание работы. Диссертация включает введение, четыре главы, заключение, список литературы и трех приложений. Диссертация состоит из 173 страницы машинописного текста, содержит 78 рисунков и 14 таблиц. Список литературы включает 136 источников, в том числе 28 иностранных.

Во введении приведена общая характеристика работы в соответствии с требованиями ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В первой главе приведены результаты литературного обзора по исследуемой проблеме. Изложены основные принципы проектирования и устройства подземных сооружений в условиях слабых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов. Сделан акцент на инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга, как наиболее характерного региона подземного строительства в условиях слабых грунтов. Приведен анализ современных методов расчета ограждающих конструкций котлованов и подходов по учету особенностей слабых грунтов при расчете ограждений котлованов.

Во второй главе приведены результаты экспериментальных исследований влияния избыточного порового давления на прочность сильнодеформируемых водонасыщенных глинистых грунтов. Исследования выполнены с использованием широко известного подхода А. Скемптона для недренированного поведения глинистых грунтов, основанного на двух коэффициентах порового давления: B – отвечающего за гидростатическое нагружение и A – за девиаторное нагружение. При этом, рассматривается случай трехосного сжатия без привязки к напряженному состоянию в основании вокруг котлована. Автором предлагается использовать коэффициент порового давления в момент разрушения A_f как связующий недренированной и дренированной прочности грунта. Однако, автором рассматривается полностью недренированное поведение грунта и пренебрегается эффектами дилатансии в процессе сдвига.

Также соискателем рассматривается недренированное поведение грунтов для различных моделей численного моделирования: Modify Cam-Clay, Soft Soil и Hardening Soil. На основе численного моделирования получено, что процесс

образования избыточных порового давления в разных моделях реализован по-разному. По мнению рецензента это логично, т.к., например, модели Modify Cam-Clay и Soft Soil являются шатровыми и сдвиговое упрочнение и поведение при сдвиге в них учитывается косвенно. Однако, определяющим здесь является принятый в моделях закон пластического течения. В целом, по мнению рецензента, ни одна из рассмотренных моделей не позволяет выполнять корректно описание процесса сдвига, поскольку все модели описывают изотропное упрочнение; для корректного описания следует использовать многоповерхностные модели или модели с кинематическим упрочнением. По мнению рецензента результаты расчетов не будут совпадать с опытными данными, поскольку ни в одной из них не учитываются реологические особенности грунтов.

Соискателем выполнены лабораторные определения коэффициента Скемптона A при разрушении в стабилометрах типа Б. Так выполнены испытания по консолидированно-дренированной (КД) и консолидированно-недренированной (КН) схемам нагружения. Испытания подтверждают схожесть определения эффективных параметров прочности по КН и КД схеме, что логично и полностью соответствует ГОСТ 12248.3.

Выполнена модификация теории мгновенной прочности грунта Соловьева Ю.И. с учетом коэффициента избыточного порового давления Скемптона A_f , применимое для задачи сдвига в плоской постановке.

В третьей главе приведено теоретическое обоснование давлений на ограждение котлована при поэтапной его разработке в условиях сильнодеформируемых глинистых грунтов. Предложено применение модифицированной теории мгновенной прочности к расчетам предельных давлений на стенку ограждений котлованов с учетом избыточного порового давления в грунте. Это позволило составить систему дифференциальных уравнений и метод её численного интегрирования, составившего основу для решения практических задач. В результате, получены новые решения задач об активном и пассивном давлении с учетом порового давления в массиве.

Приведены результаты оценки влияния избыточного порового давления в массиве грунта на величину и характер распределения давления слабого глинистого водонасыщенного грунта на ограждение котлована. Автором показано, что образование избыточных поровых давлений приводит к существенному росту величины активного давления, наиболее существенно проявляющемуся в зависимости от нагрузки по бровке котлована. Автором также предложен подход по оценке сопротивления грунта при недренированном поведении с учетом избыточного порового давления в зависимости от величины действующих касательных напряжений, который позволил имплементировать выполненные лабораторные исследования при численном моделировании МКЭ в ПК PLAXIS. Также автором выполнена верификация предложенного метода расчета по методу предельного равновесия с расчетом по методу сплошной среды, реализованном с использованием МКЭ с учетом изменения порового давления во времени.

В четвертой главе приведены результаты оценки возможности использования разработанной методики по оценке НДС ограждения котлована в условиях сильнодеформируемых глинистых грунтов с учетом избыточного порового давления, на основании сопоставления результатов расчёта с данными натурных наблюдений на объекте. Оценка выполнялась на основе данных геотехнического мониторинга реконструкции существующего здания в условиях плотной городской застройки в Санкт-Петербурге. Показано, что расчет с использованием предложенного подхода по учету недренированной прочности в зависимости от уровня касательных напряжений дает хорошее совпадение с данными мониторинга за перемещением ограждения котлована – расхождение не превышает 15 %. Также автором убедительно доказано, что учет избыточного порового давления при выполнении расчетов оказывает влияние на усилия в ограждении котлована при различных расчетных ситуациях, а их учет позволяет выбрать оптимальную конструкцию и последовательность выполнения работ, за счет чего может быть достигнуто значительное сокращение материалоемкости конструкций ограждения (до 30 %) за счет более точного определения расчетных усилий при сохранении требуемых показателей надежности.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций базируется на использовании строгих предпосылок применяемых методов исследований; использовании основных положений механики грунтов, теории упругости, пластичности и строительной механики, большим объемом экспериментальных исследований, применением апробированных методов моделирования геотехнических задач, сопоставлением результатов аналитических и численных расчётов с данными мониторинга. Достоверность выводов и научных положений, сформулированных в диссертации, сомнений не вызывает.

Научная новизна положений заключается в обосновании и количественной оценке величины избыточного порового давления в зависимости от касательных напряжений; разработке и обосновании обобщенной теории мгновенной прочности, учитывающей образование избыточного порового давления при приложении касательных напряжений; в решении новых задач теории предельного равновесия с учетом избыточного порового давления применительно к расчету активного и пассивного давления грунта.

Теоретическая и практическая значимость работы может быть сформулирована следующим образом:

1. Выполнена количественная оценка величин образования избыточных поровых давлений в слабых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтах от приложенных сдвиговых нагрузок. Показано, что значение мгновенной прочности, полученное по результатам расчетов с использованием эффективных прочностных параметров и шатровых моделей грунтов, может быть значительно завышено.

2. Предложена обобщенная теория мгновенной прочности грунтов, учитывающая образование избыточных поровых давлений при приложении сдвиговых нагрузок. На ее основе разработана система дифференциальных уравнений теории предельного равновесия слабого водонасыщенного грунта и метод ее численного интегрирования.

3. Получены новые решения теории предельного равновесия грунта в части определения величин активного и пассивного давления грунта при

образовании избыточных поровых давлений в массиве водонасыщенного пылевато-глинистого грунта.

4. Предложены аналитическая и численная методики, позволяющие выполнять расчет ограждений котлована с учетом особенностей образования избыточных поровых давлений в слабых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтах. Разработанные методики расчета давлений на ограждение котлована позволяет сократить материалоемкость конструкций ограждения котлована до 30%.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций может характеризоваться как высокая. Это подтверждается правильной постановкой целей и задач исследования, корректным применением математического аппарата для решения поставленных задач и соответствием расчетных схем реальной работе грунтового массива при разработке котлованов. Применение численных методов обосновано с точки зрения научного поиска и с точки зрения дальнейшей практической реализации полученных автором результатов. Выводы и научные положения, сформулированные автором, прямо вытекают из полученных им результатов.

К диссертационной работе имеются следующие **замечания**:

1. Автором приводится зависимость коэффициента Скемптона A_f от показателя текучести I_L . Несмотря на высокие показатели детерминации, из диаграммы на рисунке 2.7 видно, что в ряде случаев $A_f > 1$. Следует отметить, что в работах Бишопа и Хенкеля указано, что параметр A зависит от OCR и весьма чувствителен к качеству образцов и случай $A_f > 1$ относится к образцам подверженным динамическим воздействиям или отобранным с нарушенной структурой. В связи с этим, не понятно на каких образцах выполнены исследования и анализировалось ли качество образцов?

2. Во второй главе автором исследуется прочность грунта с учетом коэффициента Скемптона A . Однако, сама прочность является определяющей для коэффициента устойчивости основания. Тогда возникает закономерный вопрос – как этот коэффициент влияет на деформативность основания и как происходит

изменение модуля деформации в процессе рассеивания порового давления, поскольку не только прочностные, но и деформационные характеристики будут определять изгибающие моменты и усилия в ограждении котлована, за счет чего выполняется её армирование подтверждается безопасностью объекта капитального строительства?

3. Не учитываются технологические особенности изменения НДС и порового давления в процессе устройства ограждения котлована. По мнению оппонента в процессе устройства котлована возникают изменения порового давления (в зависимости от технологии устройства они могут быть как избыточные, так и «разреженные»), что, в том числе, приводит к дополнительным технологическим осадкам (см. работы Минакова Д.К., НИИОСП им. Н.М. Герсевича, 2022). Какой процесс изменения порового давления и какова доля его влияния в давление грунта на ограждение котлована?

4. В расчетах рассматривается некоторый недренированный случай. Как учитывается фактор времени на распределение усилий в ограждении котлованов и рассеивание избыточного порового давления? Для какого времени выполнен расчет? Используемый коэффициент консолидации безразмерный? Какими методами он определяется?

5. Исследования выполнены для территории Санкт-Петербурга. Однако региональность не отмечена в названии диссертации и её научной новизне. На сколько по мнению соискателя возможно применять полученные результаты исследований для других регионов России и мира? Например, для условий Вьетнама.

В целом, выявленные замечания не снижают общей положительной оценки работы.

Заключение. Диссертационная работа Башмакова Ивана Борисовича является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей научные результаты, выводы и рекомендации, отличающиеся новизной. Диссертация на тему «Влияние воздействия слабых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов на

