

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук
Королева Константина Валерьевича на диссертационную работу
Антипова Вадима Валерьевича по теме
«Неразрушающий метод оперативной оценки модуля деформации песчаных и
глинистых грунтов Пермского края для предварительных расчетов оснований и
фундаментов»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.02 – «Основания и фундаменты, подземные сооруже-
ния»

Актуальность темы диссертационного исследования

Диссертация посвящена актуальной теме совершенствования полевых неразрушающих методов определения деформационных характеристик грунтов, используемых в современных моделях при проектировании оснований и фундаментов. Данное направление имеет особое значение в наши дни интенсивного строительства, в том числе подземного, при наличии многочисленных строительных фирм, когда вариантное проектирование постоянно сопутствует принятию принципиальных решений и формированию пакета заказов на строительные работы.

В области неразрушающих методов оценки строительных свойств грунтов выделяется группа волновых методов, основанных на связи упругих свойств грунтового массива с характером и скоростью распространения волн от источника возмущения. Если способы оценки геотехнических характеристик грунтов по скорости распространения объемных волн имеют методическое обеспечение, то подобных рекомендаций для поверхностных волн (волн Рэлея) до сих пор в отечественном фундаментостроении не разработано. В то же время технология исследований с помощью поверхностных волн выгодно отличается меньшими трудозатратами и требует меньше времени, что было и остается традиционно важными факторами при проектировании оснований и фундаментов. Развитию этого направления и посвящена диссертация Антипова В.В.

Содержание и структура работы

Диссертация представлена введением, пятью главами, заключением, списком литературы и шестью приложениями. Общий объем работы составляет 182 страницы, которые содержат 47 таблиц и 55 рисунков. Список литературы содержит 201 источник, в том числе 79 зарубежных. В приложениях представлены: дополнительные иллюстрации, описание испытаний, примеры расчетов, сопоставления справки о внедрении результатов исследования в ООО «ВерхнекамТИСИЗе». Автореферат и диссертация соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

Во введении традиционно обосновывается актуальность темы исследований, дается формулировка цели и задач диссертации, конкретизируется ее научная новизна, обосновывается достоверность исследований.

Первая глава посвящена анализу имеющихся научных результатов в области исследований автора.

Приводится сводка деформационных параметров грунта – динамический и статический модули упругости, секущий и касательный модули деформации, модуль деформации по вторичной ветви нагружения, формулируются условия деформирования, отвечающие этим параметрам.

Отдельно рассматриваются штамповые испытания грунтов. Анализируется связь модуля упругости (Юнга) и модуля деформации с помощью корреляционного коэффициента, представляющего собой отношение этих модулей. Аналогичная связь имеется между модулем упругости (разгрузки) и модулем деформации. Отмечается зависимость коэффициентов связи от прочностных характеристик грунта. Кроме того, автор обращает внимание на очень важный момент – это наличие прямой связи между упругими и общими характеристиками деформируемости грунтов.

Рассматривая результаты лабораторных трехосных испытаний грунта, соискатель акцентирует внимание на аналогии связи модуля упругости и модуля деформации, получаемого в этих опытах, с зависимостью статического модуля упругости от среднего напряжения, принятую в модели упрочняющегося грунта *Hardening soil*. Это дает основание для построения модельной кривой деформирования по результатам испытаний грунта. Отметим, что модель *Hardening Soil* на сегодняшний день является одной из самых востребованных моделей при проектировании оснований, фундаментов и подземных сооружений.

Далее проводится анализ эффективных методов предварительной оценки геотехнической ситуации на объектах строительства, включающей определение напластования грунтов, их свойства и характерные особенности основания. Здесь автор отмечает эффективность применения для этих целей неразрушающих волновых методов исследования геологического разреза, основанных на анализе распространения упругих колебаний в грунтовом массиве. Приводится принципиальная схема проведения волновых испытаний и описание существующих современных методов волнового анализа. Выделяется шесть основных методов:

- метод отраженных волн МОВ (волны сжатия);
- корреляционный метод преломленных волн КМПВ (волны сжатия);
- метод спектрального анализа поверхностных волн (САПВ);
- метод многоканального анализа поверхностных волн (МАПВ);
- метод мультимодального анализа поверхностных волн (ММАПВ);
- метод преломленных микросейсм (ReMi).

Автор отдает предпочтение по удобству технологии проведения исследования и точности результатов методу МАПВ, который и использует в своей диссертационной работе.

Обзор завершается полезными сведениями об оценке физико-механических характеристик грунтов по скорости поверхностных волн. Кроме того, отмечается возможность построения модельной кривой деформируемости.

На основе обзора формулируются цели диссертационной работы.

Вторая глава посвящена полевым и лабораторным исследованиям автора, посвященным деформационным свойствам грунта и исследованиям МАПВ.

Эту главу предваряет формулировка цели – сопоставление характеристик упругого и общего деформирования грунта. Надо заметить, что эта цель справедливо красной нитью пронизывает всю диссертацию.

Работы были выполнены на четырех площадках Пермского края. Это тоже справедливо, поскольку поведение грунтов в существенной степени определяется их генезисом. На этих площадках были в полном объеме выполнены исследования методом МАПВ. Для сопоставления результатов волновых исследований с фактическими значениями характеристик грунтов использовались данные инженерно-геологических изысканий на опытных площадках. Также были выполнены лабораторные определения физико-механических характеристик грунтов, дополненные штамповыми испытаниями.

Приводится детальное описание исследований методом МАПВ. Импульс колебаний создавался ударным воздействием металлической кувалды по плите основания. Сейсмоприемники – вертикальные геофоны – через телеметрические модули передавали сигнал на интерфейс и портативный компьютер. При этом была принята фланговая система наблюдения по активной схеме проведения работ. Проводились повторные измерения и устранялись шумовые помехи. Установленные скорости поверхностной волны использовались для расчета плотности и динамического модуля сдвига.

Специальный параграф посвящен методике определения переходного коэффициента, связывающего динамический модуль сдвига и модуль деформации грунта. При этом модуль деформации грунта принимался по результатам штамповых испытаний со штампом 5000 см^2 . Далее автором были предложены аппроксимационные зависимости переходных коэффициентов от удельного веса грунтов.

Для выбора кривой деформирования автором выполнен комплекс трехосных испытаний грунтов, в том числе полностью водонасыщенных, на установке ООО «НПП Геотек» (г. Пенза, Болдырев Г.Г.) с использованием измерительно-вычислительного комплекса «АСИС». При этом обеспечивалось соответствие природному состоянию методом ВФС (восстановления фазового состояния). Полученные экспериментальные кривые деформирования использовались в дальнейшем для построения модельной кривой деформирования.

В третьей главе дается развернутое описание построения модельной кривой деформирования.

Отдельно рассмотрен вопрос о параметрах модельной кривой деформирования. Учтены наиболее распространенные аппроксимации кривых деформирования с помощью степенной и гиперболической зависимостей. Кроме того,

подробно исследованы аппроксимации экспоненциальной и логарифмической функциями. По результатам сопоставления аппроксимаций в рамках указанных четырех моделей предложено использовать две из них – гиперболическую и экспоненциальную. Для подобной аппроксимации достаточно располагать упругим модулем деформации и предельным девиаторным напряжением. Модуль упругости дают испытания МАПВ, предельное девиаторное напряжение устанавливается в зависимости от параметров прочности грунта по модели *Hardening soil*. Соответствующая зависимость приведена в диссертации с необходимыми пояснениями. Здесь же приводятся и корреляционные формулы для определения параметров прочности грунта – удельного сцепления и угла внутреннего трения, в зависимости от скорости поверхностной волны. Показано, что для построения модельной кривой деформирования наиболее приемлемы экспоненциальная и гиперболическая модели. Автор приводит специальную методику построения модельной кривой деформирования по результатам исследования МАПВ.

Четвертая глава посвящена описанию методики численного моделирования штамповых испытаний и анализу полученных при этом результатов.

В этой главе представлены результаты численного моделирования штамповых испытаний, выполненного в комплексе *Plaxis 2D*. Для грунта принята модель упрочняющегося грунта *Hardening Soil (Small Strain)*. Методика построения модельной кривой позволила определить входные параметры для указанной модели. Также приведены параметры геометрического моделирования области испытаний (конечно-элементная сетка) и указан способ моделирования жесткого штампа (практически недеформируемого). Сопоставление модулей деформации, полученных в полевых опытах по методике МАПВ и в численном моделировании показали, что модули деформации, полученные при численном моделировании, не превышают соответствующих модулей полевых и полученных по методике МАПВ.

Пятая глава имеет практическую направленность. Здесь даются рекомендации для практического применения метода МАПВ с целью определения модулей деформации грунтов основания и построения модельной кривой.

Отмечается, что рекомендации даются для грунтовых условий Пермского края вне криолитозоны и для теплого периода года (для положительных температур). Кроме того, предполагается, что динамический коэффициент Пуассона равен 0,49.

В заключении подводится краткий итог работы автора.

Научная новизна результатов диссертации заключается в следующем:

– на основе МАПВ автором разработан неразрушающий метод определения модуля деформации песчаных и глинистых грунтов Пермского края; полученные деформационные характеристики предназначены для предварительных расчетов оснований и фундаментов, а также подземных сооружений;

– разработан метод построения модельной кривой деформирования на основе исследований деформационных свойств песчаных и глинистых грунтов с использованием МАПВ; полученные уравнения состояния также предназначены для предварительных расчетов оснований, фундаментов и подземных сооружений.

Теоретическая и практическая значимость исследований автора заключается в оперативном полевом определении деформационных свойств грунтовых массивов неразрушающими волновыми методами. Получены необходимые для использования результатов МАПВ зависимости между упругими характеристиками грунтов и модулем общей деформации.

Авторские рекомендации можно применять для оперативной оценки деформируемости оснований.

Достоверность и обоснованность результатов исследований, положений и выводов

Испытательная лаборатория прошла аккредитацию, опыты проводились на сертифицированном оборудовании. В теоретическом отношении достоверность и обоснованность результатов подтверждается тем, что в основе метода оценки деформационных свойств грунтов приняты фундаментальные положения теории упругости о распространении волн в упругой среде.

Замечания по работе

1. В диссертационной работе подчеркивается применимость полученных результатов для грунтов Пермского края. В какой степени эти результаты могут быть использованы для других регионов?

2. Для построения модельной кривой за основу принята модель *Hardening soil*, применяемая в *PLAXIS*. В какой степени полученные в работе выводы (или хотя бы методология) могут быть распространены на упрочняющиеся модели, используемые в других программных комплексах, например, *Modified Cam-Clay*, *Modified Mohr-Coulomb*?

3. Расхождение между значением модуля деформации, полученном в численном моделировании, и его опытным значением для одного из песков составило 71%. Возможно, данное расхождение следует отнести на счет тех или иных ошибок? Если – да, то каких именно?

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Антипова В.В. «Неразрушающий метод оперативной оценки модуля деформации песчаных и глинистых грунтов Пермского края для предварительных расчетов оснований и фундаментов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, выполнена на высоком научном уровне, обладает научной новизной и содержит важные для практики результаты. Работа соответствует пункту 1 паспорта научной специальности 05.23.02 – «Основания и фундаменты, подземные сооружения».

В диссертации приведены все необходимые ссылки на те работы, результатами которых пользовался автор.

Текст автореферата соответствует диссертации.

Основное содержание работы достаточно полно раскрыто в 11 опубликованных автором печатных работах, включая 3 статьи в журналах из списка ВАК и 2 статьи в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Кроме того, автором получено 2 патента на изобретения.

Диссертационная работа Антипова В.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена задача оперативной оценки модуля деформации дисперсных грунтов неразрушающим методом, имеющая важное значение для строительной отрасли в части проектирования оснований и фундаментов.

Считаю, что диссертационная работа отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (Постановление правительства РФ №842 от 24.09.2013) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Антипов Вадим Валерьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.02 – «Основания и фундаменты, подземные сооружения».

Согласен на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя и дальнейшую их обработку.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, доцент,
профессор, заведующий кафедрой
«Геотехника, тоннели и метрополитены»
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
университет путей сообщения»



Королев К.В.

Подпись К.В. Королева заверяю

18.08.2021

Сведения об официальном оппоненте

1. ФИО: **Королев Константин Валерьевич**
2. Ученая степень: **доктор технических наук** (диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук на тему «Несущая способность оснований в стабилизированном и нестабилизированном состоянии» защищена в 2015 г. по специальности **05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения**)
3. Ученое звание: **доцент**
4. Должность: **профессор, заведующий кафедрой** «Геотехника, тоннели и метрополитены» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения».
5. Почтовый адрес: Российская Федерация, 630049, Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения».
6. Контактный телефон: +7(499)2874914 (1416),
7. Телефон: 8 (383) 328-04-69, 8 (913) 923-22-38
8. E-mail: korolev_kv@mail.ru