

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**профессора, доктора технических наук Шейнина Владимира Исааковича на диссертационную работу Власова Даниила Александровича на тему: «Обоснование метода расчета несущей способности буронабивных свай в скальных грунтах с учетом их взаимодействия с породным массивом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.2 – Основания и фундаменты, подземные сооружения**

### **Актуальность темы исследования**

Исследование Власова Даниила Александровича посвящено изучению взаимодействия буронабивных свай со скальными массивами. Актуальность темы связана с увеличением применения буронабивных свай при строительстве зданий и сооружений, передающих большие нагрузки на скальные основания. Однако проблема заключается не только в методике расчета осадок и несущей способности свай, устраиваемых в скальных грунтах или опирающихся на них, но и в определении механических характеристик самих скальных массивов.

По сравнению с ненарушенной породой, трещиноватые массивы демонстрируют повышенную деформируемость и пониженную прочность. При количественном описании деформируемости скального массива необходимо учитывать не только свойства ненарушенной породы, но также и трещин, и это требует использования современных методов оценки свойств структурно-неоднородных материалов. Один из таких подходов основан на применении к оценке параметров деформируемости трещиноватого скального массива развиваемых в современной механике структурно-неоднородных сред методов усреднения, с моделированием трещиноватого массива как эквивалентной однородной сплошной среды. Такой подход является рациональным, позволяющим строить эффективные расчетные модели взаимодействия сооружения с вмещающей трещиноватой породой, однако его реализация требует решения сложных геомеханических задач.

В отношении расчета свай в скальных грунтах не существует единого общепринятого подхода. К настоящему времени предложено большое количество эмпирических методик оценки их несущей способности, дающих весьма большой разброс инженерных результатов. Несомненно, что требуется построение методик, основанных на решениях задач механики деформируемых сред, или, на первом этапе, задач теории упругости, об определении напряженно-деформированного состояния системы, состоящей из свай и взаимодействующего с ней породного массива. Эта проблематика недостаточно проработана как с теоретической точки зрения, так и, тем более, в части практической реализации.

В целом очевидно, что сложность взаимодействия буронабивных свай со скальными массивами с учетом особенностей их структуры требует разработки новых для теории расчета свайных конструкций аналитических и численных методов расчета.

## **Структура и содержание работы**

Представленная диссертация состоит из введения, 4 основных разделов, заключения и приложения. Работа изложена на 123 страницах машинописи и содержит 106 рисунков, 6 таблиц, 110 наименований литературы.

**Во введении** обосновывается актуальность темы исследований; дана оценка степени разработанности проблемы; определены объект и предмет исследования, цели и задачи; отмечены научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационной работы; представлена методология и методы исследований; изложены основные положения, выносимые на защиту; отражены степень достоверности и апробация результатов.

**В обзорной части диссертации (гл. 1)** рассматривается два круга вопросов. Первый включает краткое описание общих подходов к проектированию буронабивных свай, взаимодействующих со скальными основаниями. Отмечается, что основная сложность при проектировании свай в скальных грунтах заключается в том, что их несущая способность не может быть подсчитана простым сложением сил предельных сопротивлений грунта по боковой поверхности и под нижним концом. Автор представляет аналитический обзор известных из научно-технической литературы, по большей части, эмпирических, методов определения несущей способности свай.

Второй круг вопросов, рассматриваемых в обзорной части работы, затрагивает исследования по определению деформируемости скальных массивов с учетом трещиноватости. Здесь отражены особенности деформирования трещиноватых скальных массивов и их отличие от других типов грунтов. Отмечается, что основная часть исследований исходит из предположения, справедливость которого понятна на экспертном уровне, что учет трещиноватости может быть выполнен путем соответствующей корректировки характеристик ненарушенной трещинами породы. Описывается также альтернативный подход, в котором массив даже в рамках комплексной геомеханической модели взаимодействия свай и массива, представляется как дискретная среда, составленная из отдельных разделенных конкретными трещинами блоков, и обосновывается положение, что в рассматриваемых в диссертации задачах реализуемым и более эффективным оказывается первый, допускающий более ясную формализацию, подход.

В заключение обзорной главы диссертант формулирует цель исследования как «построение точных решений краевой задачи теории упругости о взаимодействии свай с породным массивом и разработка аналитического метода определения зависящих от вида напряженного состояния эффективных деформационных характеристик трещиноватых скальных массивов»

**В главе 2** диссертант, после дополнительного анализа методов построения моделей трещиноватых скальных массивов, продолжает и развивает исследования в области определения эффективных деформационных характеристик трещиноватых скальных массивов с применением «параметрического метода

асимптотического усреднения дифференциальных уравнений». Этот метод предложен и реализован в работах ученых математиков и механиков для количественного описания процессов деформирования и разрушения сред с включениями и неоднородностями, масштаб которых существенно меньше характерных размеров исследуемой области. Положительным моментом является то, что в работе поясняются соответствующие этому условию ограничения геометрии трещин, зависящие от границ применимости используемой математической модели. Существенное продвижение работы Д.А. Власова состоит в том, что получаемое с помощью указанной методики решение позволяет строить нелинейную диаграмму «напряжение – деформация» скальной породы с трещиноватостью, характеризуемой ограниченным набором параметров. В диссертации предложен инженерный алгоритм учета влияния нескольких систем трещин на деформационные характеристики массива, использующий «наложение» влияния каждой дополнительной системы на массив с эффективными деформационными характеристиками, определенными с учетом влияния предыдущих (в порядке рассмотрения и учета) систем. В целом диссертантом получены вполне поддающиеся расчетной реализации аналитические зависимости для определения эффективных деформационных характеристик скального массива, рассеченного плоскопараллельной и ортогональной системами трещин. В заключении главы выполнено сравнение полученных по предлагаемой аналитической методике и по результатам численных расчетов оценок деформационных характеристик для нескольких вариантов «моделей» скальных трещиноватых массивов. Близость указанных оценок подтверждает правомерность использования полученных зависимостей.

Определенные таким образом эффективные характеристики трещиноватого массива скальных пород позволяют решать задачу оценки напряженно-деформированного состояния с достаточной для практических целей достоверностью.

**В третьей главе** строится аналитическое решение задачи теории упругости, условия которой моделируют условия взаимодействия одиночной сваи с грунтом (породным массивом). В качестве модельной схемы рассматривается упругая полуплоскость с установленным нормально к ее границе одномерным полубесконечным ребром жесткости, в вершине которого приложена сосредоточенная сила. Решение поставленной модельной задачи, предназначенное для описания НДС системы «свая – породный массив», строится поэтапно. Получены конечные асимптотические представления для определения касательных напряжений на боковой поверхности ребра жесткости, имитирующего сваю, нормальных вертикальных напряжений и перемещений ребра.

В этой же главе получено численное решение (с помощью ПК ZSoil) задачи о взаимодействии загруженного круглого цилиндра конечной длины, моделирующего сваю, с упругим полупространством. Верхняя поверхность цилиндра расположена на границе полупространства и загружена вертикальной

нагрузкой, такой, что имеет место силовое соответствие рассмотренному случаю жесткого ребра, взаимодействующего с полуплоскостью. Подобие построенных по использованным методикам графиков изменения касательных напряжений на границе элементов, моделирующих сваю, служат подтверждением корректности выполненных аналитических и численных расчетов.

**В четвертой главе** строится аналитическое решение задачи теории упругости для полуплоскости с периодической системой деформируемых ребер жесткости, моделирующих сваи. Выражения для искомых функций получаются в виде разложений в ряды по специальным функциям особого типа (собственные функции Папковича – Фадля), использование которых для получения аналитических решений краевых задач плоской теории упругости с оригинальной схемой определения коэффициентов указанных разложений, развито в работах ряда российских ученых специалистов по прикладной математике. После выполнения последовательности весьма сложных преобразований диссертант записывает конечные сложные, но вполне программируемые, соотношения для определения распределений касательных (на границе с четвертью плоскости) и осевых напряжений в ребрах жесткости, а также распределения осевых напряжений вдоль их осей.

#### **Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность полученных результатов исследования подтверждена использованием строгих математических моделей, а также путем их сравнения с результатами численного моделирования методом конечных элементов и с данными лабораторных испытаний, опубликованных в научной литературе. Результаты исследования докладывались и обсуждались на многочисленных отечественных и международных конференциях.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Наибольшую значимость представляют предложенные автором точные решения двух задач теории упругости о взаимодействии сваи со скальным грунтом. Число задач теории упругости, для которых получены точные решения, невелико, поэтому любые точные решения играют важную роль не только в научных исследованиях, но и в инженерной практике. Стоит конечно же отметить, что данные решения не ограничены только скальными породами, они также могут быть применимы и к дисперсным грунтам.

Кроме того, автором проведены дополнительные аналитические исследования в области определения эффективных деформационных характеристик трещиноватых скальных массивов скальных массивов с учетом нелинейного характера жесткостей трещин. Получены аналитические зависимости, которые дают зависимости параметров, характеризующих условия работы свай, вполне согласующиеся с инженерным опытом.

#### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций также основана на применении в диссертационном исследовании точных математических

методов для решения поставленных задач. По материалам диссертации опубликовано 9 научных публикаций, из которых одна работа опубликована в журнале, включенном в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК, и 3 работы опубликованы в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus и Web of Science. Результаты диссертации докладывались на конференциях, в том числе и международных.

### **Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат в полной мере соответствует содержанию и основным положениям диссертационной работы, а опубликованные работы по теме диссертации достаточно полно отражают ее основное содержание.

### **Замечания**

К содержанию работы могут быть сделаны следующие замечания:

1. Результаты выполненных в диссертации исследований, несомненно, могут быть использованы в разработке новых или усовершенствовании существующих методов расчета осадок и несущей способности буронабивных свай в массивах скальных трещиноватых грунтов. Однако, в работе следовало бы описать, каким образом совершается переход от деформаций массива и осадок свай, расчету которых посвящены основные разделы работы, к определению несущей способности свай, а также привести явное описание того «метода расчета несущей способности буронабивных свай», обоснованию которого она посвящена в соответствии с ее названием.
2. В главе 2, посвященной разработке методики определения деформационных характеристик трещиноватого массива, параметры деформируемости материала трещины (модули деформации и сдвига или нормальная и сдвиговая жесткость трещины) полагаются сначала зависящими от напряжений (соотношения 2.21, 2.22). Но в дальнейших расчетах трещиноватый массив рассматривается как линейно-деформируемая среда с эффективными значениями характеристик, не зависящими от действующих напряжений. Было бы полезно сопроводить кратким пояснением такой переход, физически аналогичный использованию значения модуля деформации при расчете осадок, но обоснованный диссертантом только ссылкой на работы предшественников.
3. В тексте диссертации следовало бы упомянуть о том, на основании каких соображений выбирается класс рассматриваемых применительно к той или иной конкретной геомеханической задаче учитываемый минимальный размер трещин. Так, например, считающийся характеризующим свойства ненарушенного массива образец грунта также имеет внутреннюю трещиноватость.
4. В тексте следовало бы хотя бы кратко пояснить, какие испытания могут быть проведены для определения деформационных характеристик трещин, например, нормальная и сдвиговая жесткость.
5. Если значение модуля деформации имитирующего сваю ребра жесткости в задаче гл.3 равно значению модуля полуплоскости, то решение должно совпадать с

решением задачи Фламана о сосредоточенной силе, приложенной к границе однородной полуплоскости. Рассмотрение такого предельного случая показало бы, что определение вертикальных перемещений точек ребра жесткости в такой постановке требует тех же оговорок, что и в указанной классической задаче, т.е. требует произвольного или физически обоснованного закрепления полуплоскости.

6. В обзоре исследований, посвященных определению механических характеристик трещиноватых скальных пород не упоминается посвященная этой проблеме диссертация Франца В.В. «Моделирование и исследование фрактальных характеристик трещиноватости для прогноза прочности и устойчивости породного массива при сдвиге» (Екатеринбург, 2017 г.), а среди исследований, посвященных расчету несущей способности свай в скальных грунтах, – статья «Оценка несущей способности сваи в скальных грунтах, переслаиваемых дисперсными грунтами, на действие вертикальной нагрузки» (И.В. Колыбин, Д.Е. Разводовский, А.В. Скориков, А.А. Брыксина), в которой отражены некоторые результаты исследований, выполненных в НИИОСП им. Н.М. Герсеванова.

Указанные замечания не снижают значимости полученных в работе результатов и не изменяют общую положительную оценку диссертационного исследования Власова Д.А.

### Заключение

Диссертационная работа Власова Даниила Александровича является самостоятельно выполненной диссертационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей научные результаты, выводы и рекомендации, отличающиеся новизной. Диссертация на тему «**Обоснование метода расчета несущей способности буронабивных свай в скальных грунтах с учетом их взаимодействия с породным массивом**» отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор **Власов Даниил Александрович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.2 – Основания и фундаменты, подземные сооружения.

### Официальный оппонент:

Заведующий лабораторией надежности и геотехнического контроля НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, доктор технических наук по специальности 01.02.07 – Механика сыпучих тел, грунтов и горных пород, профессор

Адрес: 109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6 стр. 12  
E-mail: geo-mech@yandex.ru  
Тел.: 8 (499) 170-27-24 +7 916 134 38

  
**Шейнин Владимир Исаакович**  
2023 г.  
  
Шейнина В.И.  
верю  
рук, отряда 6  
Ю.Б. Севостьянова