

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального
директора по научной работе
АО «НИЦ «Строительство»,
доктор технических наук,

профессор

Звездов А.И.

«29» января 2024 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

АО «Научно-исследовательский центр «Строительство» на диссертационную работу Минина Кирилла Евгеньевича на тему «Определение деформационных характеристик скальных массивов и их использование при строительстве подземных сооружений», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.2 – Основания и фундаменты, подземные сооружения.

1. Актуальность темы исследования

При строительстве сооружений, взаимодействующих со скальным массивом, возникает проблема с определением одной из важнейших механических характеристик скального массива – модуля деформации. Принимая во внимание особенности структурного строения скального массива, на определение этой характеристики основное влияние оказывает масштабный фактор, проявляющийся в том, что с увеличением исследуемого объёма массива изменяются его механические характеристики.

Современные нормы проектирования оснований и фундаментов в общем случае не регламентируют расчет скальных оснований по деформациям. Поэтому может показаться, что исследование модуля деформации и иных деформационных характеристик для скальных массивов не так актуально, однако такое мнение было бы ошибочным. Подавляющее большинство современных расчетов выполняется с применением численных методов и нелинейных моделей поведения грунтов для определения усилий и деформаций в конструкциях подземных сооружений. Применение таких моделей даже в расчетах по первой группе предельных состояний требуют использования адекватных зависимостей для деформационных характеристик грунтов и скальных массивов, что подтверждает актуальность и важность выполненной диссертационной работы.

2. Структура и содержание работы

Диссертационная работа Минина Кирилла Евгеньевича состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Общий объём диссертации составляет 117 страниц, включающий в себя 41

рисунок, 17 таблиц. Список литературы содержит 65 наименований, в том числе 35 иностранных источников.

В диссертационной работе имеются корректные ссылки на литературные источники, которые были использованы автором для анализа отечественных и зарубежных исследований в данном направлении.

Работа выполнена на кафедре Механики грунтов и геотехники ФГБОУ ВО «НИУ Московский государственный строительный университет» в период обучения в аспирантуре в 2018-2023 годах под руководством профессора, доктора технических наук М.Г. Зерцалова.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, описывается степень разработанности темы, ставятся цели и задачи исследования, формируется научная новизна, приводятся теоретическая и практическая значимость, а также личный вклад автора и положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертационной работы посвящена описанию особенностей строения и структуры скальных массивов, анализу существующих методов определения их деформационных характеристик. Методы определения модуля деформации скальных массивов подразделяются на прямые и косвенные. К прямым относят методы натуральных испытаний, как статические, так и динамические. Косвенные методы определения деформационных характеристик скального массива можно разделить на эмпирические и аналитические. Как правило, расчётные механические характеристики скальных массивов определяются на основе анализа и обобщения результатов, полученных с помощью указанных методов. При определении деформационных характеристик массивов указанными методами, они моделируются условно сплошной, однородной средой, однако, критерий, при котором рассматриваемый скальный объём отвечает этому допущению, отсутствует. К тому же, механические характеристики, определяемые рассмотренными методами, рассчитываются из допущения линейного деформирования массива при увеличении нагрузки. В то же время, экспериментальные исследования показывают, что из-за наличия структурных особенностей и трещиноватости скальные массивы деформируются существенно нелинейно.

Во второй главе обосновано совместное применение метода конечных элементов с методом планирования эксперимента для исследования деформирования трещиноватых скальных массивов на примере блочных моделей и изменения напряженно-деформированного состояния системы «подземное сооружение – скальный массив». Определены принципы использования множественного регрессионного анализа для решения поставленных задач.

Третья глава посвящена анализу результатов аналитических и численных расчётов деформирования блочных моделей, ослабленных системой плоско – параллельных и взаимно-ортогональных трещин. Первоначально исследования проводились на фрагментах при условии ограничения боковых перемещений. Расчёты показали значительные

расхождения с результатами численных расчётов. На втором этапе были произведены численные эксперименты на моделях штампов, которые в связи с появлением раскрытия межблочных швов, нарушающих сплошность основания, подчеркнули неправомерность использования зависимостей механики сплошной среды при определении модуля деформации блочных сред.

В четвертой главе исследуется нелинейный характер деформирования скальных трещиноватых массивов в пределах первых двух участков кривой $\sigma = f(\varepsilon)$. Построение графика кривой на первом нелинейном участке выполнено с использованием эмпирического уравнения кривой, предложенного Гудманом, а также зависимостей Бандиса и Чанга. Сравнение полученных результатов с результатами экспериментальных исследований, представленными в работе Бандиса, показали хорошую сходимость. Построение зависимости на втором участке выполнялось с использованием уравнения регрессии, полученного по результатам численного моделирования штамповых опытов. Выполнено сравнение графиков, построенных по предложенную методу, с графиками, построенными по эмпирическим линейным зависимостям, связывающим значение модуля деформации с различными показателями классификационных систем скальных массивов.

В пятой главе представлено использование предложенного метода определения деформационных характеристик скальных массивов при исследовании работы подземных сооружений. Предложенная методика позволяет учитывать изменение модуля деформации массива вокруг подземного сооружения в зависимости от глубины заложения и геометрических характеристик выработки. Результаты исследования использовались при разработке метода расчёта трещиностойкости фибробетонной обделки подземных сооружений сводчатой формы, возводимой горным способом в скальных грунтах.

3. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность результатов, полученных в рамках проведенных исследований, подтверждается их сопоставлением с результатами ранее опубликованных аналитических решений и экспериментальных исследований.

Основные положения работы и результаты численных экспериментов доложены на 2 международных и 3 российских конференциях. По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, в том числе, 3 из которых опубликованы в журналах, включенных в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора наук» (Перечень рецензируемых научных изданий), и 3 работы опубликованы в журналах, индексируемых в международной реферативной базе Scopus.

4. Научная новизна

Научная новизна определяется тем, что разработан метод определения деформационных характеристик скальных массивов, отражающий его структурные особенности, что позволяет учитывать масштабный фактор и нелинейность его деформирования. В этом заключается основное достоинство работы, поскольку подавляющее большинство современных методик, как зарубежных, так и отечественных, рассматривает скальный массив, при определении его деформационных характеристик, как линейно деформируемую среду.

С использованием предложенного подхода разработан метод расчёта трещиностойкости фибробетонных обделок подземных сооружений сводчатой формы, возводимых горным способом в скальных грунтах.

5. Научная и практическая ценность диссертации

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в возможности построения, на основе предлагаемого метода, модели нелинейного деформирования скального массива, тогда, как большинство современных методик рассматривает скальный массив, при определении его деформационных характеристик, как линейно деформируемую среду. Кроме того, такой подход к определению деформационных характеристик скального массива, позволяет учитывать изменение величины модуля деформации в зависимости от изменения его напряженно-деформированного состояния. На основании вышеизложенного можно утверждать, что тема является актуальной и практически значимой.

6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки

Разработанный метод по определению деформационных характеристик скального массива позволяет более точно определять его расчётный модуль деформации в зависимости от изменения НДС массива, что способствует получению более рациональных конструктивных решений.

Представленная методика расчёта трещиностойкости конструкций подземных выработок адекватно отражает процесс развития трещин в сводчатых фибробетонных обделках, что даёт возможность использовать её на предварительных стадиях проектирования при проходке выработки горным способом и раскрытии её на полное сечение.

7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Предложенный метод по определению деформационных характеристик скальных массивов и методика расчёта трещиностойкости фибробетонной обделки тоннелей сводчатой формы, возводимых горным

способом в скальных грунтах, могут быть использованы на предварительном этапе проектирования, в частности, на этапе технико-экономического обоснования проекта, что позволит сократить сроки и стоимость проектных работ.

8. Замечания

По представленной диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В работе исследованы скальные массивы, характеризуемые блочной структурой, ослабленной системой взаимно-ортогональной трещин. Насколько справедлива предлагаемая методика к расчёту деформационных характеристик скальных массивов, ослабленных системами трещин другой конфигурации?

2. В работе рассмотрены блочные скальные массивы, не имеющие перевязки межблочных швов. Следовало бы указать, как повлияет учёт данного фактора на деформационные характеристики скального массива.

3. Было ли выполнено сопоставление результатов численных испытаний штамповых моделей с результатами натурных испытаний?

4. На рис. 4.3 диссертационной работы только одна точка на графике соответствует исследованиям В.И. Речицкого (1998). Сколько всего данных В.И. Речицкого было использовано для определения значения начальной жёсткости k_{ni} ?

5. Не вызывает сомнения необходимость учета нелинейности зависимости модуля деформаций от эффективных напряжений на первом участке диаграммы, см., например, рис. 4.4. Второй участок нелинейности (отрезок 2) соответствует напряжениям более 5 МПа. Такие напряжения возникают под фундаментом 250 этажного здания или в грунтовом основании на глубине порядка 200 м. В каких практических задачах рекомендуется учитывать нелинейность деформационных характеристик скальных массивов на втором участке?

6. В работе предлагается метод расчёта трещиностойкости фибробетонной отделки с использованием линейной механики разрушений, для чего необходимо знание значений критического коэффициента интенсивности. Проводились ли экспериментальные исследования данного параметра?

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Минина Кирилла Евгеньевича.

9. Заключение

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертация Минина Кирилла Евгеньевича на тему «Определение деформационных характеристик скальных массивов и их использование при строительстве подземных сооружений» является завершённой научно-

квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной, научной и практической ценностью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют существенное значение для развития соответствующей отрасли наук. Диссертационная работа полностью соответствует 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 Минин Кирилл Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.2 – Основания и фундаменты, подземные сооружения.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании лаборатории механики грунтов №17 НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство» 29 января 2024 года. Протокол заседания № 01 от 29 января 2024 г.

Директор Научно-исследовательского,
проектно- изыскательского и конструкторско-
технологического института оснований и
подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова
акционерного общества «Научно-
исследовательский центр «Строительство»,
к.т.н.

Шарафутдинов Р.Ф.



Заведующий лабораторией механики грунтов
№17 Научно-исследовательского, проектно-
изыскательского и конструкторско-
технологического института оснований и
подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова
акционерного общества «Научно-
исследовательский центр «Строительство»,
к.т.н.



Боков И.А.

Подпись Шарафутдинов Р.Ф. и Боков И.А. подтверждено.
Н.М. Герсеванов
И.А. Боков



Почтовый адрес: 109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., д. 6.

Телефон: +7 (495) 602-00-70

E-mail: inf@cstroy.ru