

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора РАН Еременко Виталий Андреевич 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»

Диссертационная работа состоит из Введения, 5 глав, Заключения и 2 Приложений, содержит 41 рисунок и 17 таблиц, список литературы из 65 наименований, в том числе 35 иностранных источников. Общий объем диссертации составляет 117 страниц.

1. Актуальность темы диссертационной работы

Расчет инженерных сооружений, контактирующих со скальным массивом, не может быть выполнен без определения механических характеристик горных пород. Скальный массив имеют сложную структуру и особенности пластического деформирования под нагрузкой. Существующие методы определения модуля деформации скального массива имеют ряд недостатков и допущений, не позволяющих интерпретировать поведение грунтов. Таким образом, определяется актуальность в проведении соответствующих исследований для выявления деформационных характеристик скального массива с учетом его пластического деформирования под нагрузкой.

2. Структура и содержание работы

Содержание диссертационной работы соответствует поставленной цели и задачам. Диссертация представляет собой законченное научное исследование, включающее обоснование актуальности и формирования задач, обеспечивающих достижение цели выбором эффективных методов и средств получения достоверных результатов, логическими теоретическими и практическими выводами и рекомендациями. Текст диссертационной работы изложен с учетом требований ВАК Минобрнауки России, предъявляемых к оформлению научной работ.

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

Во **Введении** представлена и обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи

исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В Первой главе описаны особенности строения и структуры скальных массивов, выполнен анализ существующих методов определения их деформационных характеристик. В настоящее время механические характеристики скальных массивов рассчитываются как интегральные характеристики условно сплошной, однородной, линейно деформируемой среды, что не соответствует результатам экспериментальных исследований. В тоже время экспериментальные исследования показывают, что деформационные характеристики изменяются при изменении напряженного состояния в массиве. Кривую деформирования скального массива $\sigma = f(\varepsilon)$ можно разделить на 3 участка, что требует проведения дополнительных исследований поведения скальных массивов при взаимодействии их с инженерными сооружениями. Существуют прямые и косвенные методы определения модуля деформации скального массива. К прямым относят натурные статические и динамические испытания, основными недостаткам которых являются отсутствие возможности исследовать большие объемы грунта и отсутствие надежной корреляции между динамическим и применяемым в расчетах статическим модулем деформации. Косвенные методы можно разделить на эмпирические и аналитические, у которых нет возможности учесть изменение модуля деформации массива при изменении напряженного состояния.

Во Второй главе представлена методика исследования, которая основана на совместном использовании методов конечных элементов и статического регрессионного анализа, выполняемого в рамках планирования эксперимента. Достоинство указанной методики заключается в возможности исследовать, анализировать и получать зависимости в виде уравнений регрессии, характеризующие с достаточной инженерной точностью взаимодействие наземных и подземных сооружений с породным массивом.

Третья глава посвящена анализу результатов исследований численных моделей. Исследования выполнялись в два этапа. Первоначально, проводились на фрагментах, ослабленных системой взаимно-ортогональных трещин, при условии ограничения боковых перемещений. Расчеты показали, что испытания блочных фрагментов, содержащих наклонные системы трещин, при отсутствии возможности горизонтального расширения образца, имеют значительные расхождения с результатами численных расчетов. Вторым этапом были произведены численные опыты 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.

Четвертая глава диссертации посвящена исследованию нелинейного деформирования скального массива на первых двух участках кривой $\sigma = f(\varepsilon)$. Для построения кривой на первом участке использовалось гиперболическое уравнение Гудмана, для которого необходимо знать начальную жесткость и величину смыкания трещин в конце участка. Эти величины определялись на основании исследования образцов с трещинами, выполненных Бандисом. В тоже время кривая Гудмана имеет недостаток – напряжения на конце кривой стремятся к бесконечности. Для преодоления данного несоответствия с результатами экспериментальных исследований, напряжения определялись на основании натуральных и лабораторных испытаний, которые показали, что они в конце первого участка соответствуют одной трети от прочности на сжатие скальной отдельности. На промежуточных точках, в пределах первого участка деформирования, значения точек кривой определялось с использованием уравнения А.Н. Власова. Построение зависимости на втором участке выполнялось с использованием уравнения регрессии, полученного по результатам численного моделирования работы штампа на блочных скальных основаниях.

В Пятой главе представлено влияние изменения модуля деформации скального массива в зависимости от глубины заложения и геометрических характеристик выработки. Предложенная методика позволила учитывать изменения модуля деформации вмещающего массива подземного сооружения. Результаты исследования использовались при расчете трещиностойкости фибробетонной обделки подземных сооружений сводчатой формы, которые легли в разработку методики расчета, основанной на линейной механике разрушения. Результаты расчетов показали, что трещиностойкость обделки зависит от модуля деформации вмещающего массива выработки, который зависит от его напряженного состояния.

3. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается достоверностью численных расчетов представленных в диссертационной работе, их сопоставлением с результатами ранее опубликованных аналитических решений и экспериментальных исследований, а также использованием сертифицированного программного комплекса, соответствующего действующим нормативным документам.

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 кандидата технических наук» и 3 работы опубликованы в журналах, индексируемых в международной реферативной базе Scopus.

4. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций

В результате выполненных диссертантом исследований решены две задачи:

- разработана модель деформирования скальных грунтов, позволяющая расчетным путем построить кривую деформирования $\sigma = f(\varepsilon)$, аналогичную кривой, построенной по результатам натуральных испытаний;
- разработан метод определения трещиностойкости фибробетонной обделки подземных сооружений сводчатой формы, возводимых в скальных грунтах.

5. Теоретическая и практическая значимость работы

Разработана нелинейная модель деформирования скального массива, позволяющая учитывать изменение величины модуля деформации массива в зависимости от изменения его напряженно-деформированного состояния.

Автором представлен метод расчета трещиностойкости фибробетонной обделки, который может быть использован для анализа образования и развития трещин в обделке подземных сооружений сводчатой формы.

6. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций достаточно высокая, что подтверждается анализом большого числа источников литературы (30 - на русском, 35 - на английском языках).

7. Замечания по содержанию диссертационной работы

1. Непонятно как в моделях получено соответствие значениям RQD: 85, 75, 50 и 25. Показатель качества породного массива RQD включает не только трещиноватость массива, но и его нарушенность, т.е. метод оценки гораздо сложнее. При создании модели с участием 2-х ортогональных систем трещин в представленной постановке работы можно получить только два значения RQD: или приближенное к 100% (элементарные блоки размером грани более 10 см) или к 0% (по методике 10%) (элементарные блоки с размером грани менее 10 см).

2. В работе использовалось численное моделирование, МКЭ. Любая численная модель, как правило в расчетах имеет погрешности как минимум на 40% и более. Как это учитывалось при проведении исследований и расчетов, калибровались ли модели и каким образом?

3. В работе рассмотрен скальный массив с плоскопараллельной, взаимно-ортогональной системой трещин. Насколько применимо представленное решение для определения модуля деформации скального массива, ослабленного другими систем трещин с отличными параметрами.

4. Разработанная методика трещиностойкости фибробетонной обделки применима к подземным сооружениям, возводимых горным способом при раскрытии выработки на полное сечение. Каким образом сказывается изменение способа раскрытия сечения на напряженного-деформированное состояние обделки?

5. Название диссертационной работы «Определение деформационных характеристик скальных массивов и их использование при строительстве подземных сооружений» не содержит новизны. Деформационные характеристики скальных массивов определяются, в т.ч. при строительстве подземных сооружений.

Положения, выносимые на защиту представлены не в классической форме теорем, которые требуют доказательств, а в форме неконкретных количественных/качественных слов-выражений констатирующих, что Положения это: «Результаты исследований...», «Уточнены значения...», «Исследования влияния...», «Разработка методики...».

Заключение. Указанные замечания не снижают общей положительной оценки выполненных исследований. Диссертация Минина Кирилла Евгеньевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу.

Решена актуальная задача, которая обладает научной новизной, полученные результаты достоверны, выводы, рекомендации и заключения обоснованы.

Представленный автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы и дает исчерпывающее представление о материале диссертации.

Диссертация на тему «Определение деформационных характеристик скальных массивов и их использование при строительстве подземных сооружений» 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 Минин Кирилл Евгеньевич

заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.2 «Основания и фундаменты, подземные сооружения».

Даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Почтовый адрес: 119049, Москва, Ленинский проспект, 6

Тел. +7-926-279-39-08

E-mail: prof.eremenko@gmail.com

Директор научно-исследовательского центра

«Прикладная геомеханика

и конвергентные горные технологии»

Федерального государственного

автономного образовательного

учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский

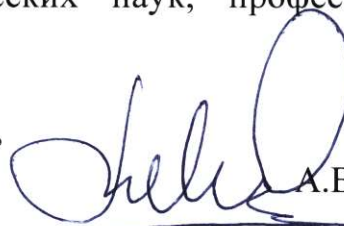
технологический университет «МИСИС»,

доктор технических наук, профессор РАН  В.А. Еременко

Подпись директора научно-исследовательского центра «Прикладная геомеханика и конвергентные горные технологии» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», доктора технических наук, профессора РАН В.А. Еременко заверяю:

Директор Горного института НИТУ МИСИС,

доктор экономических наук, профессор



А.В. Мясков

26.01.2024г.

