

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**кандидата технических наук Титова Евгения Юрьевича 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.**

### **Актуальность темы исследования**

При исследовании взаимодействия инженерных сооружений со скальным грунтом одной из важных проблем является определение его деформационных характеристик. Специфика строения скального массива, в частности его трещиноватость, анизотропия и неоднородность, являются основными факторами возникновения указанной проблемы. К тому же, как показывают результаты реальных испытаний, скальный грунт под нагрузкой деформируется нелинейно. Существующие методы определения модуля деформации скального массива не позволяют учесть указанные выше особенности грунта. Таким образом, проблема определения деформационных характеристик скальных массивов для использования при проектировании и строительстве инженерных сооружений требует дальнейшего развития.

### **Структура и содержание работы**

Представленная диссертационная работа Минина Кирилла Евгеньевича состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и 2 приложений. Работа изложена на 117 страницах и содержит 41 рисунок, 17 таблиц, 65 наименований литературы (в том числе 35 иностранных источников).

**Во введении** отражена актуальность диссертационной работы; описывается степень разработанности темы исследования; сформулированы цель и задачи исследования; заявлена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы; обозначаются положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** описаны отличительные особенности строения и структуры скального массива, характеризующиеся наличием анизотропии, неоднородностью и трещиноватостью, которые приводят к возникновению масштабного эффекта. В настоящее время существуют прямые (статические и динамические) и косвенные (эмпирические и аналитические) методы определения деформационных характеристик скальных массивов. При использовании статических натуральных испытаний отсутствует возможность исследовать большие объёмы породного массива. Динамические методы позволяют исследовать большие объёмы скальных грунтов, однако отсутствует надежная корреляция между результатами динамических и применяемых в расчётах статических методов испытаний. Использование эмпирических зависимостей возможно для выполнения предварительных/оценочных расчётов, поскольку не имеют размерности и не могут напрямую использоваться в расчётах напряженно-деформированного состояния массива. В аналитическом методе отсутствует возможность учесть изменения модуля деформации массива при изменении напряженного состояния, для расчётов принимается постоянная величина, что не соответствует реальной работе скального грунта. Данный факт подтверждают испытания Р.А. Ширяева и С. Бандиса.

**Во второй главе** излагается методика исследования, которая основана на совместном использовании метода конечных элементов с методом планирования эксперимента. Достоинство указанной методики позволяет учитывать разные факторы и от решения частной задачи перейти к общему решению задачи с получением конкретных зависимостей.

**Третья глава** посвящена анализу результатов исследований деформирования трещиноватого скального массива на примере блочных численных моделей. В первой серии расчётов исследовались фрагменты с плоскопараллельной системой трещин, нормальной к действию сжимающей нагрузки. Расчёты продолжились в исследовании фрагментов с двумя системами трещин. Также были исследованы фрагменты с наклонной к

действию сжимающей силы системой трещин при отсутствии возможности горизонтального расширения образца, а также исследования на моделях штампов. Выполнено сопоставление полученных результатов расчёта с решениями аналитических зависимостей, предложенных А.Н. Власовым, Р. Есинака и Т. Ямабэ, в результате которого выявлены значительные расхождения, что свидетельствует о необходимости дополнительных исследований.

**Четвертая глава** диссертации посвящена разработке метода построения кривой  $\sigma = f(\varepsilon)$  нелинейно деформируемого скального массива. Для построения кривой на первом участке были использованы результаты ранее выполненных исследований отечественных и зарубежных ученых и аналитическое решение, предложенное Гудманом. Построение графика деформирования на втором участке выполнилось с использованием, полученного автором в ходе численных исследований работы штамповых моделей на блочных скальных основаниях, уравнения регрессии

**В пятой главе** представлен пример использования предложенной методики для определения модуля деформации скального массива при исследовании напряженного-деформируемого состояния обделки подземного сооружения. На основании выполненных исследований с использованием теории линейной механики разрушений автором разработана методика по расчёту трещиностойкости фибробетонной обделки подземных сооружений сводчатой формы, возводимых горным способом.

**В заключении** сформированы основные выводы, намечены пути дальнейшего развития темы исследования.

**В приложениях** приводятся методика по оценке средней ширины раскрытия по отобранному керну трещиноватого скального массива и список опубликованных научных работ по теме диссертации.

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

Достоверность полученных результатов обеспечена сопоставлением численных исследований с результатами натуральных испытаний и

результатами, полученных по аналитическим зависимостям. Основные положения работы и результаты численных экспериментов прошли достаточную апробацию. Результаты исследований 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.

#### **Новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Автором разработана модель нелинейного деформирования скальных грунтов, учитывающая как масштабный эффект, так и деформационные характеристики блоков и межблочных трещин.

Разработан метод расчёта трещиностойкости фибробетонной обделки подземных сооружений сводчатой формы, возводимых горным способом в скальных грунтах.

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

Предложенная деформационная модель позволяет расчётным путем определить модуль деформации трещиноватого скального массива при различных уровнях нагружения.

Разработанный метод расчёта трещиностойкости фибробетонной обделки можно использовать на предварительных стадиях проектирования подземных сооружений, возводимых горным способом в скальных грунтах.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций** определяется проведенным анализом отечественных и зарубежных источников по вопросу исследования (30 - на русском языке, 35 - на английском).

По диссертационной работе имеются следующие **замечания**:

1. Представленный в первой главе диссертации обзор существующих методов определения деформационных характеристик скальных массивов следовало бы дополнить сравнительным анализом с фокусом на существующих неопределенностях, возникающих в результате их применения, и оценкой рисков возникновения негативных последствий в результате применения существующих методов.

2. Следует конкретизировать границы применимости и целесообразности внедрения предлагаемой нелинейной модели деформирования трещиноватых блочных скальных массивов, представленной во второй главе, в сравнении с существующими практиками.

3. В работе следовало бы уточнить обоснование выбора компьютерной программы геотехнических расчетов ZSoil 20.08 (Швейцария), используемой для реализации исследований на основе МКЭ, исходя из ее особенностей и преимуществ.

4. В пятой главе следовало бы отразить, как результаты выполненного автора исследования повлияют на практическую реализацию конкретных проектов с точки зрения повышения достоверности результатов определения НДС скального массива в условиях высокой неопределенности деформационных характеристик, а также с точки зрения изменения трудоемкости изысканий и проектирования подземных сооружений.

5. В диссертационном исследовании упоминаются особенности определения НДС протяженных подземных сооружений, в частности транспортных тоннелей, для которых важен не только анализ НДС скального массива на основе расчетов в плоской постановке задачи, но и оценка поведения горного массива в продольном направлении. Данная задача могла бы быть решена в последующих исследованиях автора.

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

## Заключение

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертационная работа Минина Кирилла Евгеньевича является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей научные результаты, выводы и рекомендации, отличающиеся новизной. 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.

### Официальный оппонент:

Кандидат технических наук,  
Заместитель председателя –  
учёный секретарь Объединенного  
ученого совета ОАО «РЖД  
АО «Научно-исследовательский  
институт железнодорожного  
транспорта»

Титов Евгений Юрьевич

«26» января 2024 г.

Адрес: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10  
E-mail: titov\_eu@mail.ru  
Тел.: +7 (916) 140-81-06

Юрми заверю  
Зам. Генерального директора  
по управлению персоналом  
и соц. вопросам АО «ВНИИЖТ»  
АА Пахлев

