

## Сведения

о результатах публичной защиты диссертации **Минина Кирилла Евгеньевича** на тему «Определение деформационных характеристик скальных массивов и их использование при строительстве подземных сооружений», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения.

По результатам тайного голосования совет по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук 24.2.339.05 на базе НИУ МГСУ принял решение присудить ученую степень кандидата технических наук **Минину Кириллу Евгеньевичу**.

В заседании диссертационного совета участвовали:

Зерцалов Михаил Григорьевич, д. т. н., 2.1.2

Мондрус Владимир Львович, д. т. н., 2.1.9

Сидоров Виталий Валентинович, к. т. н., 2.1.2

Демьянушко Ирина Вадимовна, д. т. н., 2.1.9

Знаменский Владимир Валерианович, д. т. н., 2.1.2

Косицын Сергей Борисович, д. т. н., 2.1.9

Мирсаяпов Илизар Талгатович, д. т. н., 2.1.2

Мкртычев Олег Варганович, д. т. н., 2.1.2

Мозгалева Марина Леонидовна, д. т. н., 2.1.9

Никифорова Надежда Сергеевна, д. т. н., 2.1.2

Травуш Владимир Ильия, д. т. н., 2.1.9

Филатов Владимир Владимирович, д. т. н., 2.1.9

Фриштер Людмила Юрьевна, д. т. н., 2.1.9

Хоменко Виктор Петрович, д. г.-м. н., 2.1.2

## Протокол №2

заседания совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук 24.2.339.05, созданного на базе ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

от 14 февраля 2024 г.

**Присутствовали:** члены диссертационного совета согласно явочному листу.

**Слушали:** защиту диссертации Минина Кирилла Евгеньевича на тему «Определение деформационных характеристик скальных массивов и их использование при строительстве подземных сооружений», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения.


### **Постановили:**

1. По результатам тайного голосования с использованием информационно-коммуникационных технологий присудить ученую степень кандидата технических наук Минину Кириллу Евгеньевичу (за – 14, против – 0).

2. По результатам открытого голосования утвердить протокол о результатах голосования (за – 14, против – 0).

3. По результатам открытого голосования принять Заключение диссертационного совета по рассматриваемой диссертации (за – 14, против – 0).

Заместитель председателя

 В. Л. Мондрус

Учёный секретарь

 В. В. Сидоров

Подписи Мондруса В. Л. и Сидорова В. В. заверяю:

Начальник отдела кадрового делопроизводства УРП

 А. В. Пинегин



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.339.05, СОЗДАННОГО  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА  
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 14.02.2024 г. №2

О присуждении Минину Кириллу Евгеньевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Определение деформационных характеристик скальных массивов и их использование при строительстве подземных сооружений» по специальности 2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения, принята к защите 29 ноября 2023 года (протокол заседания №38), диссертационным советом 24.2.339.05, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, приказ о создании диссертационного совета № 963/нк от 17 октября 2019 г.).

Соискатель Минин Кирилл Евгеньевич, 1 апреля 1995 года рождения, в 2018 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» с присуждением квалификации «Инженер-строитель».

С 15.09.2018 по 15.03.2023 Минин К. Е. обучался в аспирантуре на кафедре механики грунтов и геотехники ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский



Московский государственный строительный университет».

В период подготовки диссертации и по настоящее время Минин К. Е. работает в обществе с ограниченной ответственностью «Научно-инженерный центр Тоннельной ассоциации» в должности начальника отдела расчёта конструкций подземных сооружений.

Диссертация выполнена на кафедре механики грунтов и геотехники ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Зерцалов Михаил Григорьевич, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», кафедра механики грунтов и геотехники, профессор.

Официальные оппоненты:

- **Еременко Виталий Андреевич**, гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет МИСИС», научно-исследовательский центр «Прикладная геомеханика и конвергентные горные технологии», директор,

- **Титов Евгений Юрьевич**, гражданин Российской Федерации, кандидат технических наук, акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта», аппарат объединенного ученого совета открытого акционерного общества «Российские железные дороги», заместитель председателя – ученый секретарь,

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация:** акционерное общество «Научно-исследовательский центр «Строительство», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Шарафутдиновым Рафаэлем Фаритовичем, кандидатом технических наук, директором Научно-исследовательского, проектно-изыскательского и

конструкторско-технологического института оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова, и Боковым Игорем Алексеевичем, кандидатом технических наук, заведующим лабораторией механики грунтов №17 Научно-исследовательского, проектно-изыскательского и конструкторско-технологического института оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова, и утверждённый Звездовым Андреем Ивановичем, доктором технических наук, профессором, заместителем генерального директора по научной работе акционерного общества «Научно-исследовательский центр «Строительство», указала, что диссертация является научно-квалификационной работой, в которой представлен разработанный метод определения деформационных характеристик скальных массивов, отражающий его структурные особенности, что позволяет учитывать масштабный фактор и нелинейность его деформирования в условиях одноосного сжатия, а также метод расчёта трещиностойкости фибробетонных обделок подземных сооружений сводчатой формы, возводимых горным способом в скальных грунтах. 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. Представленный метод расчёта трещиностойкости адекватно отражает процесс распространения 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.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации (общий объём – 57 п.л., в том числе личный вклад – 26 п.л.), из них 3 работы (общий объём 15 п.л., в том числе личный вклад 7 п.л.) в рецензируемых научных изданиях, включённых в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, и 3 работы (общий объём – 23 п.л., в том числе личный вклад – 12 п.л.) в



научных изданиях, индексируемых в международной реферативной базе данных Scopus.

Наиболее значимые работы:

1. Zertsalov M. To the problem of determining the deformation characteristics of jointed rock mass / M. Zertsalov, D. Vlasov, K. Minin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 869. – № 7. – P. 072045.

2. Zertsalov M.G. Crack resistance estimation of fibre reinforced tunnel linings constructed by conventional method in rocks / M.G. Zertsalov, V.E. Rusanov, K.E. Minin, A.I. Polysaeva // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1928. – P. 012031.

3. Zertsalov M. Numerical modeling in determining deformation characteristics of fractured rock massifs / M. Zertsalov, K. Minin // E3S Web of Conferences. – 2022. – Vol. 363. – P. 02012.

В работах рассматривается изменение деформационных характеристик скальных отдельностей (блоков), межблочных трещин, показателя качества пород, угла приложения сжимающей силы по отношению к системе трещин для оценки деформационных характеристик трещиновато-блочных скальных массивов; возможность использования аналитических зависимостей, основанных на линейной механике разрушений, для определения, для их расчёта; а также сведения о характеристиках фибробетона как конструктивного материала, факторах, влияющих на формирование и распределение напряжений в сечении обделки и возможности использования линейной механики разрушений для анализа распространения трещин в фибробетонных тоннельных обделках.

В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. В диссертационной работе представлены и оформлены в соответствии с требованиями ссылки на авторов и источники заимствования материала.

## **На диссертацию и автореферат поступило 7 положительных отзывов:**

1. Отзыв, подписанный доктором технических наук, доцентом, профессором военного учебного центра федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет» Федюком Романом Сергеевичем. Отзыв положительный.

В отзыве имеются замечания:

- в автореферате приведены ссылки на цитируемую литературу в квадратных скобках, однако самого списка литературы нет. Очевидно эти предложения со ссылками просто скопированы из диссертации;

- во всех опубликованных статьях по теме диссертации первым автором стоит научный руководитель. Считаю, для подтверждения самостоятельности выполнения диссертации надо было ряд статей опубликовать в моноавторстве;

- актуальность расписана более чем на 3 страницы, и могла быть значительно сокращена;

- автореферат на 30 страниц – это очень много. Он требует сокращения, как за счёт конкретизации текста, так и путем форматирования (например, межстрочный интервал в авторефератах обычно одинарный, а не полуторный).

2. Отзыв, подписанный кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Мосты и тоннели» ФГБОУ ВО «СибАДИ» Кобзевым Павлом Николаевичем. Отзыв положительный.

В отзыве имеются замечания:

- для обоснования эффективности и практической значимости предложенного автором метода определения модуля деформации скальных массивов, целесообразно дополнить работу сравнительным анализом (на практическом примере) результатов расчета с использованием разработанного метода и общепринятого в современной геотехнической практике метода расчета напряженно-деформированного состояния тоннельных обделок, взаимодействующих со скальными массивами (например, с использованием упругопластической модели Нюк-Вроун для скального массива).



3. Отзыв, подписанный доктором технических наук, заведующим кафедрой технологии строительных материалов и метрологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Пухаренко Юрием Владимировичем. Отзыв положительный.

В отзыве имеется замечание:

- требуется обосновать применимость блочной модели при расчёте модуля деформации скальных массивов, осложненных сетками трещин другой конфигурации.

4. Отзыв, подписанный кандидатом технических наук, профессором кафедры «Мосты, тоннели и строительные конструкции» МАДИ Маковским Львом Вениаминовичем. Отзыв положительный.

В отзыве имеются замечания:

- не приведены сравнения результатов, полученных с помощью предлагаемой соискателем модели деформирования скальных массивов, с результатами натурных испытаний;

- разработанный метод расчёта трещиностойкости фибробетонной обделки подземных сооружений сводчатой формы основан на численном моделировании сооружений, у которых происходит раскрытие сечения одновременно на всю площадь.

5. Отзыв, подписанный кандидатом технических наук, заместителем начальника отдела проектирования котлованов ООО «Институт Мосижпроект» Хотеевым Егором Анатольевичем. Отзыв положительный.

В отзыве имеется замечание:

- следовало бы учесть изменение толщины тоннельных обделок из фибробетона на их напряженно-деформированное состояние и трещиностойкость.

6. Отзыв, подписанный кандидатом технических наук, главным специалистом ООО «Научно-технический центр «Метро» Страховым Алексеем Михайловичем. Отзыв положительный.

В отзыве имеется замечание:

- в представленном автореферате не в полной мере дано описание принципа



определения механической характеристики критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{IC}$ , влияющего на начало распространения трещин в сечении обделки.

7. Отзыв, подписанный кандидатом технических наук, главным инженером ООО «Сигма Тау» Дейнеко Андреем Викторовичем. Отзыв положительный.

В отзыве имеются замечания:

- как реализована в расчётной конечно-элементной модели испытания демпфирующая прослойка для снятия касательных напряжений у блочного фрагмента размером 1x1 м. Имеется ли такая же прослойка у блочного фрагмента размером 5x2 м?

- учитывался ли контактный элемент между возводимой фибробетонной обделкой подземного сооружения и скальным массивом? Каким образом учитывались его деформационные и прочностные характеристики?

- какие планы эксперимента использовались для получения уравнения регрессии для эффективного модуля деформации  $E_m$  в четвертой главе, а также для коэффициента интенсивности напряжений  $K_I$  в пятой главе? Какая толщина фибробетонной обделки в последнем выражении и почему это толщина не включена в варьируемые факторы?

В целом, в отзывах отмечается, разработанная соискателем нелинейная модель деформирования трещиноватого скального массива, используемая при расчёте его взаимодействия с подземным сооружением, является результатом решения актуальной научно-технической задачи. Отмечена хорошая сходимости экспериментальных исследований с расчетом по предлагаемым методикам, что подтверждает достоверность полученных научных выводов. Говорится о том, что автором предложен альтернативный метод расчёта трещиностойкости фибробетонной обделки, который может быть использован при проектировании и строительстве подземных сооружений сводчатой формы в скальных грунтах.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** их широкой известностью среди специалистов области инженерно-геологических изысканий, компетентностью и профессиональными знаниями, высокой эрудированностью в рассматриваемых вопросах и способностью определить научную и практическую ценность полученных в диссертации результатов, спецификой и актуальностью их основных научных и методических работ, исследованиями по вопросам, близким к теме диссертации.

Официальный оппонент **Еременко Виталий Андреевич** имеет 22-летний опыт научно-исследовательской работы в Российской академии наук, а также производственный опыт работы горным инженером на Таштагольском руднике и Есаульской угольной шахте в Кузбассе. Специалист в области разработки геотехнологии освоения месторождений полезных ископаемых на больших глубинах в условиях высокого горного давления; проектирования параметров буровзрывных работ и проведения крупномасштабных подземных взрывов; прогноза и разработки способов предотвращения динамических явлений; исследования влияния отработки блоков и участков месторождений на напряженно-деформированное состояние массива горных пород и др. По результатам его исследований разработанные рекомендации заложены в проектные, нормативные и методические документы, используются для обеспечения безопасной и эффективной отработки рудных участков и блоков на месторождениях Горной Шории, Хакасии, Кольского полуострова, Якутии, Курской магнитной аномалии, на горнодобывающих предприятиях Российской Федерации и Северного Казахстана. Виталий Андреевич имеет более 240 научно-технических публикаций в российских и зарубежных изданиях. Является членом докторских диссертационных советов при ИПКОН РАН и Научно-техническом центре исследований проблем промышленной безопасности. С 2010 года является членом организационного комитета Австралийского центра геомеханики Университета Западной Австралии (The University of Western Australia (AGC – Australian Centre for Geomechanics)), с 2012 года рецензентом «Горного журнала».



Официальный оппонент **Титов Евгений Юрьевич** имеет 21-летний педагогический стаж. Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук защитил по научной специальности 05.23.11 – Проектирование и строительство дорог, метрополитеном, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Титов Е. Ю. специализируется на исследовании и моделировании распространения волновых процессов, вызванных генерацией движения рельсового транспорта, на здания и сооружения городской застройки.

Основным научным направлением структурного подразделения ведущей организации – **лаборатории 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»** – являются исследования по проблемам механики грунтов, методам расчета взаимодействия фундаментных конструкций (плит, свай) с основанием, инженерной защите территорий от оползневых и других опасных геологических процессов; проектирование; экспертиза проектов; научно-техническое сопровождение строительства.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** нелинейная модель деформирования трещиноватых скальных массивов, позволяющая учитывать изменение величины модуля деформации массива в зависимости от изменения его напряженно-деформированного состояния;

**предложены** метод определения модуля деформации трещиноватого блочного массива, взаимодействующего с подземным сооружением, с учётом сформированного напряженно-деформированного состояния, а также альтернативный метод расчёта трещиностойкости фибробетонной обделки подземных сооружений сводчатой формы, основанный на линейной механике разрушений;



**доказана** применимость выводов, сделанных С.Б. Уховым о том, что представительность объёма скального массива, определяемая критерием квазисплошности, зависит не только от величины указанного критерия, но также и от деформационных характеристик как структурных отдельностей, так и межблочных трещин;

**введены** для исследования в области строительства сооружений, взаимодействующих со скальными грунтами, новые зависимости по определению их модуля деформации с учётом изменения напряженно-деформированного состояния и альтернативный метод для анализа распространения трещин в сечении фибробетонной обделки подземных сооружений.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказана** правомерность использования аналитической зависимости А.Н. Власова для расчёта модуля деформации слоистых и блочных сред с системой трещин, расположенной под прямым углом к направлению действия сжимающей силы;

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)**

**использовано** численное моделирование совместно с статистически-регрессионным анализом в рамках планирования эксперимента для разработки модели нелинейного деформирования скальных массивов и ее применении изучения взаимодействия скальных массивов с подземными сооружениями;

**изложены** основы аналитических и численных решений напряженно-деформируемого состояния скального массива, предлагаемая методика численного моделирования взаимодействия скальных массивов с подземными сооружениями, основные принципы предлагаемой модели нелинейного деформирования скального массива, а также расчёты трещиностойкости фибробетонных обделок подземных сооружений сводчатой формы;

**раскрыты** особенности нелинейного деформирования скального массива и его учёта при использовании предлагаемых методов исследования;

**изучены** особенности структуры скальных массивов и их влияние на механические характеристики скальных массивов;

**проведена модернизация** методики расчёта деформационных характеристик скальных массивов с учётом представительности их объёмов и соответствующего критерия квазисплошности.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработана и внедрена** модель нелинейного деформирования скального массива, которая позволяет более точно и адекватно оценивать взаимодействие подземных сооружений с вмещающими скальными массивами;

**определены** зависимости, позволяющие получать более достоверные результаты, характеризующие взаимодействие подземных сооружений со скальным массивом;

**созданы** модель нелинейного деформирования скального массива и метод расчёта трещиностойкости фибробетонной обделки транспортных тоннелей сводчатой формы;

**представлены** графики и математические зависимости, позволяющие уточнить деформационные характеристики скальных массивов и их влияние на подземные сооружения.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** подтверждается применением верифицированного и сертифицированного программного комплекса, разработанного для решения различных задач геотехники и геомеханики;

**теория** разработанной модели деформирования скального массива основана на теоретических решениях механики сплошной среды и эмпирических зависимостях, полученных на основе анализа результатов экспериментальных исследований, опубликованных в известных печатных изданиях;

**идея базируется** на анализе теоретических решений механики сплошной среды, численного моделирования работы скальных массивов и их натуральных исследований;



**использовано** сравнение результатов, полученных с использованием предложенного метода с результатами аналитических зависимостей и экспериментальных исследований;

**установлено**, что разработанная в диссертации модель нелинейного деформирования скального массива позволяет уточнить характер деформирования скального массива, а метод расчёта трещиностойкости фибробетонных обделок подземных транспортных сооружений даёт возможность, в отличие от существующих методов, корректнее прогнозировать распространение трещин, что повышает надежность работы возведенных обделок;

**использованы** современные программные вычислительные комплексы, применение которых, совместно с статистическим регрессионным анализом в рамках планирования экспериментов, позволяет исследовать задачи, решение которых другими способами не представляется возможным.

**Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.** В качестве рекомендаций по применению результатов диссертации предлагается использовать новые разработанные методы расчета для проектирования подземных сооружений, взаимодействующих со скальным массивом, с учётом сформированного напряженно-деформированного состояния и обеспечения трещиностойкости элементов обделки.

**Личный вклад соискателя состоит** в получении исходных данных и результатов экспериментальных исследований, разработке моделей численных испытаний, обработке полученных результатов исследований, подготовке основных публикаций по данной работе, апробации предложенных методов на реальных объектах на стадии технико-экономического обоснования.

**В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний по рассматриваемой работе.**

**Соискатель Минин Кирилл Евгеньевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, а именно:**

**раскрыл** специфику деформирования скальных массивов, ее влияние на работу фибробетонных обделок подземных сооружений сводчатой формы,



предложив методы решения возникающих при этом задач;

**подчеркнул** наличие сопоставления результатов расчётов модуля деформации скального массива по предложенному методу с результатами, полученными с использованием общепринятых эмпирических зависимостей и полученными в ходе натурных испытаний;

**пояснил** применимость использования разработанного метода расчёта трещиностойкости фибробетонной обделки;

**обосновал** возможность применимости блочной модели при расчёте модуля деформации скального массива, осложненного сетками трещин другой конфигурации.

**Соответствие диссертации критериям Положения о присуждении ученых степеней.** Диссертация Минин К. Е. соответствует п. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (в действующей редакции), является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований предложена модель деформирования трещиноватого скального массива, позволяющая учитывать сформированное в процессе строительства сооружения напряженно-деформированное состояние, а также альтернативный метод расчёта трещиностойкости фибробетонной обделки подземных сооружений сводчатой формы, возводимых горным способом, имеющие существенное значение для развития строительной отрасли страны.

На заседании от 14 февраля 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Минину К. Е. ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи взаимодействия подземных сооружений с скальным массивом, по результатам которого предложены модель нелинейного деформирования и метод расчёта модуля деформации трещиноватых скальных массивов, учитывающие сформированное в процессе строительства сооружения напряженно-деформированное состояние, а также метод расчёта трещиностойкости фибробетонной обделки подземных сооружений сводчатой формы, которые позволяют повысить надежность и экономичность

