

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.417.05,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФГБОУ ВО «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ» МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 03 апреля 2024 г., № 3

О присуждении Феклину Артёму Александровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка метода расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах» по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика принята к защите 26 января 2024 г. диссертационным советом 24.2.417.05 (протокол заседания № 2), созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» Минобрнауки России (300012, г. Тула, пр. Ленина, 92), приказ о создании диссертационного совета № 1737/НК от 13.12.2022 г.

Соискатель Феклин Артём Александрович, 3 июля 1996 года рождения.

В 2020 г. соискатель окончил ФГБОУ ВО "Тульский государственный университет", с 2020 г. обучается в очной аспирантуре ФГБОУ ВО "Тульский государственный университет".

Диссертация выполнена на кафедре механики материалов (с 11.12.23 г. - кафедра механики материалов и геотехнологий, приказ №3407) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Анциферов Сергей Владимирович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула, профессор, и.о. заведующего кафедрой механики материалов и геотехнологий.

Официальные оппоненты:

ПАНКРАТЕНКО Александр Никитович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительство подземных сооружений и горных предприятий» Национального исследовательского технологического университета «Московский институт стали и сплавов», г. Москва;

ПАВЛОВА Наталия Сергеевна, кандидат технических наук, главный конструктор ООО «ПОПГН «Интеграл», г. Тула

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - открытое акционерное общество «Научно-исследовательский, проектно-изыскательский институт «Ленметрогипротранс», г. Санкт-Петербург в своем положительном отзыве, подписанном заместителем генерального директора ОАО «Ленметрогипротранс» по научно-исследовательской работе, канд. техн. наук, доцентом Лебедевым М.О., утвержденном Генеральным директором ОАО «Ленметрогипротранс» канд. техн. наук Маслаком Владимиром Александровичем, указала, что диссертация Феклина А.А. является научно-квалификационной работой, имеющей научную и практическую значимость. Научная новизна работы заключается в разработке математической модели взаимодействия обделок параллельных тоннелей, расположенных вблизи склона, и массива пород, включающего зоны его технологической неоднородности; получении строго аналитического решения задачи теории упругости о равновесии весомой линейно деформируемой полубесконечной среды с наклонной границей, ослабленной круговыми отверстиями, подкреплёнными кольцами, вокруг которых выделены концентрические области из материала с отличающимися деформационными характеристиками, моделирующими соответственно массив пород, зоны технологически неоднородных пород и обделки тоннелей, полученного с использованием математического аппарата комплексных потенциалов Колосова-Мусхелишвили и

теории функций комплексного переменного; разработан аналитический метод расчета обделок параллельных тоннелей, сооруженных в технологически неоднородных породах вблизи склона, позволяющий учесть основные факторы, существенно влияющие на напряженное состояние обделок; установлены закономерности формирования напряженного состояния обделок тоннелей и массива пород при различных сочетаниях действия основных влияющих факторов.

Практическая ценность диссертационной работы определяется составленным алгоритмом расчета обделок параллельных тоннелей кругового поперечного сечения, сооруженных закрытым способом в технологически неоднородных породах вблизи наклонной земной поверхности; разработанным программным обеспечением, позволяющим на этапе проектирования подземных сооружений оценить напряженное состояние обделок тоннелей и массива пород в естественном и изменённом состояниях; установленными закономерностями формирования напряженного состояния массива пород и обделок тоннелей при различных сочетаниях основных влияющих факторов.

Диссертация Феклина А.А. написана грамотным языком научных публикаций, стиль изложения доказательный.

Диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор – Феклин А.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Соискатель имеет 15 опубликованных научных работ по теме диссертации: 3 из них опубликованы в изданиях, входящих в Перечень ВАК РФ, 12 - в других рецензируемых научных изданиях. Общий объем публикаций 7,6 п.л., авторский вклад 3,8 п.л. Содержание диссертации полностью отражено в опубликованных научных работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Анциферов, С.В. Исследование напряженного состояния обделок тоннелей, сооруженных вблизи наклонной земной поверхности/ С.В. Анциферов, А.В. Фомин, А.А. Феклин// Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле.

– 2021. – № 3. – С. 244-257.

2. Исследование напряженного состояния массива пород и обделок параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи горного склона/ С.В. Анциферов, А.В. Фомин, **А.А. Феклин**, М.А. Кудрявцев// *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. Новосибирск, ИГД СО РАН.– 2021.– Т.8, № 1.– С. 20-26.

3. Определение напряженного состояния обделок тоннелей, сооружаемых с применением укрепительной цементации вблизи склона/ С.В. Анциферов, **А.А. Феклин**, М.А. Кудрявцев, А.В. Фомин// *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. – 2022. – № 4. – С. 392-407.

4. **Феклин, А.А.** Разработка математической модели формирования напряженного состояния крепи параллельных горных выработок, сооружаемых в зонах технологически неоднородных пород// *Проблемы недропользования*. – Пермь, ИГД УрО РАН. - 2022. – № 2(33). – С. 83-90.

5. Анциферов, С. В. Исследование влияния укрепительной цементации пород на напряжённое состояние обделок параллельных тоннелей/ С. В. Анциферов, **А. А. Феклин**// *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. – 2023. – № 3. – С. 475-491.

6. Анциферов, С. В. Исследование напряженного состояния обделок тоннелей, сооруженных горным способом в упрочненных породах вблизи склона/ С. В. Анциферов, **А. А. Феклин**// *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. – 2023. – Новосибирск, ИГД СО РАН. – Т. 10, № 2. – С. 3-9.

На автореферат диссертации поступило 10 отзывов из следующих организаций:

1. Общероссийская общественная организация «Тоннельная ассоциация России» (ТАР), г. Москва;

2. ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»), г. Белгород;

3. ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», г. Санкт-Петербург;

4. ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН), г. Москва;

5. ФГБУН Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН), г. Новосибирск - 2 отзыва;

6. ФГБОУ ВО «Ростовский Государственный Университет Путей Сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС), г. Ростов-на-Дону;

7. ОАО Всероссийский научно-исследовательский институт «ВИОГЕМ», г. Белгород;

8. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВО НИ МГСУ), г. Москва;

9. Горный институт – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук» (ГоИ КНЦ РАН), г. Апатиты.

Все отзывы положительные. В них отмечена актуальность, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Отзывы содержат ряд замечаний, основные из которых сводятся к следующему:

- разработанный метод не учитывает влияние расположения тоннеля вблизи бровки или дна карьера на напряжённое состояние обделки (ТАР, г. Москва);

- не приведены примеры расчёта с учётом реологических свойств массива пород (НИУ «БелГУ», г. Белгород);

- не рассмотрена возможность учёта действия статических нагрузок, отличных от гравитационных сил в массиве (ФГБОУ ВО ПГУПС, г. Санкт-Петербург);

- не рассматриваются формы сечений обделок тоннелей и зон технологических пород, отличные от концентрических круговых (ФГБОУ ВО РГУПС, г. Ростов-на-Дону).

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительство подземных сооружений и горных предприятий» Национального исследовательского технологического университета «Московский институт стали и сплавов», г. Москва, Панкратенко

Александр Никитович; кандидат технических наук, главный конструктор ООО «ПОПГН «Интеграл», г. Тула, Павлова Наталия Сергеевна являются известными специалистами в области геомеханики и расчета конструкций подземных сооружений, имеющими публикации в рецензируемых изданиях по теме диссертационного исследования соискателя. Согласия на оппонирование диссертации имеются.

Выбор ведущей организации обоснован тем, что ОАО «Ленметрогипротранс», г. Санкт-Петербург является одной из наиболее известных научных и проектных организаций в области подземного строительства. Сотрудники института имеют значительное количество публикаций по тематике диссертационного исследования соискателя. Согласие на оппонирование имеется.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **предложена** математическая модель взаимодействия обделок параллельных тоннелей, сооружённых закрытым способом вблизи склона, и массива пород, включающего зоны их технологической неоднородности вокруг выработок;

- **получено** с использованием комплексных потенциалов Колосова-Мусхелишвили и математического аппарата теории функций комплексного переменного аналитическое решение соответствующей задачи теории упругости;

- **разработан** новый аналитический метод расчета обделок параллельных тоннелей, сооруженных в технологически неоднородных породах вблизи склона, позволяющий учесть основные факторы, оказывающие существенное влияние на напряженное состояние конструкций подземных сооружений и окружающего их массива пород;

- **установлено**, что наличие близко расположенной земной поверхности и зон технологически неоднородных пород вокруг выработок оказывают существенное влияние на формирование напряженного состояния элементов геомеханической системы.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

- использование математического аппарата теории функций комплексного переменного, в частности, комплексных потенциалов Колосова - Мусхелишвили, ана-

литического продолжения функций, связанных с напряжениями и деформациями в полубесконечной среде, ослабленной подкреплёнными отверстиями, вокруг которых имеются концентрические области с отличающимися деформационными характеристиками, через прямолинейную границу, свойств рядов Лорана и интегралов типа Коши позволило получить аналитическое решение соответствующей плоской задачи теории упругости;

- выполнена оценка достоверности результатов, получаемых с применением предлагаемого метода расчета, и их качественное сравнение с данными численного моделирования;

- установлены закономерности формирования напряженного состояния обделок параллельных тоннелей и окружающего массива пород с учетом взаимного влияния близко расположенной земной поверхности, зон технологически неоднородных пород и непосредственно самих тоннелей.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается разработанными алгоритмом и программным обеспечением, позволяющими оценить напряженное состояние подземных конструкций с учетом различных сочетаний основных влияющих факторов.

Результаты использованы в Тульском государственном университете при подготовке специалистов по направлению "Горное дело", профиль "Строительство подземных сооружений" и магистров по направлению "Строительство", профиль "Основания и фундаменты, подземные сооружения".

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- корректность постановки задачи исследования и адекватность математической модели, включающей постановку соответствующей плоской задачи теории упругости и ее строгое аналитическое решение с использованием математического аппарата теории функций комплексного переменного;

- подтверждение научных положений и выводов, а также практических рекомендаций, содержащихся в работе, основанных на использовании фундаментальных теоретических представлений геомеханики и механики подземных сооружений;

- высокую точность удовлетворения граничных условий задачи;

- количественное и качественное согласование результатов расчётов с данными, полученными другими авторами для частных случаев численными и аналитическими методами.

Научная новизна диссертационной работы заключается в постановке и решении актуальной задачи геомеханики, связанной с разработкой аналитического метода расчета, позволяющего выполнить исследование влияния наклонной земной поверхности и зон технологически неоднородных пород вокруг параллельных тоннелей на формирование напряженного состояния их обделок и вмещающего массива при действии гравитационных сил.

К числу наиболее существенных результатов диссертации, обладающих научной новизной, следует отнести следующие:

1. Разработана математическая модель взаимодействия обделок параллельных тоннелей, расположенных вблизи склона, и массива пород, включающего зоны его технологической неоднородности, позволяющая учитывать основные факторы, оказывающие существенное влияние на напряженное состояние элементов геомеханической системы.

2. Получено новое аналитическое решение задачи теории упругости о равновесии весомой линейно деформируемой полубесконечной среды с наклонной границей, ослабленной круговыми отверстиями, подкреплёнными кольцами, вокруг которых выделены концентрические области из материала с отличающимися деформационными характеристиками, моделирующие массив пород, зоны их технологической неоднородности и обделки тоннелей.

3. На основе результатов многовариантных расчетов установлены закономерности формирования напряженного состояния обделок параллельных тоннелей и массива пород, обосновывающие существенное влияние на напряженное состояние элементов исследуемой геомеханической системы расположение тоннелей, наличие наклонной земной поверхности, а также зон пород с отличающимися деформационными характеристиками.

Личный вклад соискателя заключается:

- в выполнении анализа научных публикаций по теме исследования;

- в разработке математической модели формирования напряженного состояния элементов исследуемой геомеханической системы;
- в постановке и решении соответствующей задачи теории упругости;
- в разработке алгоритма и метода расчета, реализованных в виде программного обеспечения расчета подземных конструкций с учетом влияния наклонной земной поверхности, взаимного расположения параллельных тоннелей и наличия вокруг выработок зон технологически неоднородных пород;
- в получении и обработке результатов многовариантных численных экспериментов, выполненных с целью установления закономерностей формирования напряженного состояния обделок тоннелей и вмещающего массива пород при действии гравитационных сил.

Диссертация Феклина Артёма Александровича является научно-квалификационной работой, выполненной самостоятельно, обладающей научной новизной, теоретической и практической значимостью, в которой решена актуальная научная задача, заключающаяся в разработке метода расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах, имеющая большое значение для геомеханики и подземного строительства.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания. Соискатель Феклин А.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 03 апреля 2024 г. диссертационный совет принял решение:

за решение актуальной научной задачи, заключающейся в разработке метода расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах, соответствующей специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика, а так же критериям п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», присудить Феклину Артёму Александровичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за - 10, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель

диссертационного совета

Жабин Александр Борисович

Ученый секретарь

диссертационного совета

Стась Галина Викторовна

03 апреля 2024 года