

## ОТЗЫВ

**на автореферат диссертационной работы Феклина Артёма Александровича на тему «Разработка метода расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».**

Актуальность темы не вызывает сомнения в связи с тем, что в последнее время всё чаще встречаются подземные сооружения, особенно линейные (пример – перегонные туннели метрополитена), которые возводятся параллельно и максимально близко друг к другу. В связи с этим возникает некоторая сложность в определении напряжённо-деформированного состояния массива горных пород и вмещающего подземного сооружения. При этом близко расположенная дневная поверхность вызывает определенные трудности в конструировании обделок таких туннелей.

В диссертационной работе рассматривается взаимодействие подземных туннелей и окружающего массива – так называемая «система массив–сооружение». В работе рассматривается аналитическая модель расчета и её математический аналог, реализуемый методами математического моделирования. При этом сам рассматриваемый массив является неоднородным, на формирование которого существенно влияет рельеф местности.

В данной работе используется математическая модель взаимодействия обделок параллельных туннелей кругового очертания, сооруженных закрытым способом в неоднородных породах вблизи наклонной земной поверхности в соответствии с поставленной краевой задачей. При такой постановке задач полученные результаты не вызывают сомнений.

Диссертационная работа имеет достаточную апробацию на различных конференциях и имеет достаточное количество публикаций в журналах, рекомендованных ВАК для данной специальности и в иных рецензируемых изданиях.

Замечания по работе:

- Из автореферата не понятно какие методы математического моделирования использовал автор?
- Из автореферата нет понимания для каких типов деформируемых сред разрабатывается математическая модель расчета?



Диссертационная работа Феклина Артёма Александровича по научной новизне, результатам исследования, практической значимости соответствует требованиям к кандидатской диссертации (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 /ред. от 18.03.2023/ «О порядке присуждения ученых степеней»), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

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

Доцент по кафедре Инженерной геологии и геоэкологии,  
Кандидат технических наук по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»,

Доцент кафедры Механики грунтов и Геотехники Института гидротехнического и энергетического строительства ФБГОУ ВО НИ МГСУ

«15» февраля 2024г.

Манько Артур Владимирович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»  
129337, г. Москва, Ярославское ш, 26  
тел.моб. : +7(909)633-1914  
e-mail : MankoAV@mgsu.ru



*Подпись Манько А.В. заверено.*

Начальник отдела  
кадрового делопроиз-  
водства УРП  
А. В. ПИНЕГИН



## Отзыв

**на автореферат диссертации А.А. Феклина «Разработка метода расчёта обделок параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 - «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»**

Представленная на рассмотрение диссертационная работа посвящена проблеме обоснования необходимой прочности обделок тоннелей, пройденных в сложных горно-геологических условиях, с целью предотвращения опасных геомеханических явлений. Учитывая, что до настоящего времени отсутствовали строгие аналитические решения данной задачи, можно констатировать, что тема работы является актуальной.

Следует отметить, что цель, идея, а также задачи исследований диссертационной работы сформулированы последовательно и логично.

В своих исследованиях автор использует комплексный подход, включающий аналитические решения задач теории упругости и компьютерное моделирование на основе разработанного программного обеспечения.

В результате выполнения работы автором сформулированы четыре научных положения. В первом из них обосновано использование разработанной математической модели для определения напряженно-деформированного состояния (НДС) массива с учетом взаимного влияния тоннелей. Во втором научном положении установлено влияние неоднородных зон на НДС массива. В третьем научном положении обосновано применение разработанного метода расчета для установления закономерностей формирования напряженного состояния обделок параллельных тоннелей. В четвертом научном положении оценено влияние зон пород вокруг выработок, подверженных инъекционному укреплению, на напряженное состояние обделок тоннелей.

Несомненным достоинством работы является практическая значимость проведенных исследований. Автором предложен алгоритм расчета обделок параллельных тоннелей кругового поперечного сечения, а также разработано программное обеспечение, позволяющее оценивать несущую способность массива и прочность обделок тоннелей на этапе проектирования подземных сооружений.

В качестве замечания – с нашей точки зрения, в автореферате требуется определение термина «технологически неоднородные породы», который не является устоявшимся. Как правило, говорят о техногенной нарушенности массива горных пород. Необходимо уточнить, что имеется в виду: породы с различными деформационными характеристиками; участки массива пород, физические свойства в пределах которых, претерпевают изменения в процессе строительства подземных сооружений; зоны техногенной трещиноватости или что-то другое?

Высказанное замечание не снижает положительного впечатления от диссертационной работы.

В целом работа выполнена на достаточно высоком уровне, полученные результаты имеют научную значимость и характеризуются практической ценностью, доложены на нескольких конференциях и опубликованы в печатных изданиях.

По комплексу решенных вопросов, полученных результатов, сделанных выводов и рекомендаций, представленная диссертационная работа соответствует требованиям ВАК



России, а её автор Феклин Артём Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 - «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Руководитель Отдела Геомеханики, кандидат технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Семенова Инна Эриковна



Горный институт – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук» (ГоИ КНЦ РАН)  
Адрес: 184209, Мурманская обл., г. Апатиты, ул. Ферсмана, 24. ГоИ КНЦ РАН  
[i.semenova@ksc.ru](mailto:i.semenova@ksc.ru) тел.8-81555-79-478

Старший научный сотрудник, кандидат технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Аветисян Иван Михайлович



Горный институт – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук» (ГоИ КНЦ РАН)  
Адрес: 184209, Мурманская обл., г. Апатиты, ул. Ферсмана, 24. ГоИ КНЦ РАН  
[i.avetisian@ksc.ru](mailto:i.avetisian@ksc.ru) тел.8-81555-79-478

Я, Семенова Инна Эриковна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

05.03.2024



Я, Аветисян Иван Михайлович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

05.03.2024

ПОДПИСЬ Семеновой И. Э.  
Аветисяна И. М.  
По месту работы удостоверяю  
Зав. канцелярией Горного института  
Авессов  
05.03.2024 г.





## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **ФЕКЛИНА А.А.**

«Разработка метода расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Диссертационная работа посвящена решению актуальной задачи - разработке аналитического метода расчёта обделок параллельных тоннелей, сооружаемых закрытым способом в технологически неоднородных породах вблизи наклонной земной поверхности. Направление исследований имеет как научное, так и практическое значение, поскольку в отсутствуют соответствующие методы расчёта, а использование подходов, присущих строительной механике, или применение компьютерных программ, реализующих численные методы для анализа геомеханических ситуаций, не позволяет в полной мере выполнить учёт влияния основных факторов на напряжённо-деформированное состояние конструкций.

Используя результаты математического моделирования напряжённого состояния обделок тоннелей мелкого заложения, как элементов единой деформируемой системы «массив пород с наклонной границей - зоны технологически неоднородных пород - обделки параллельных тоннелей», выполнена постановка соответствующей задачи теории упругости.

Решение задачи получено с использованием математического аппарата теории функции комплексного переменного - потенциалов Колосова-Мухелишвили и метода Арамановича И.Г., модифицированного в работах Фотиевой Н.Н. и Анциферова С.В.

Решение реализовано в виде алгоритма и компьютерной программы расчёта, позволяющей оценить напряжённое состояние элементов геомеханической системы с учётом влияния основных факторов.

Автором с использованием разработанной программы выполнены численные исследования, которые позволили уточнить известные и установить новые закономерности формирования напряжённого состояния обделок тоннелей и массива пород.

Достоверность полученных результатов обоснована корректной постановкой задачи, использованием строгих математических методов, а также совпадением результатов расчетов с данными, полученными другими авторами при решении частных задач.

Некоторые замечания по тексту автореферата.

Учитывается только угол наклона земной поверхности, но не рассматривается расположение тоннелей, например, вблизи бровки или дна карьера, а также не ясно, позволяет ли разработанный метод выполнять расчёт на другие виды нагрузок - давление подземных вод или внутреннего напора для гидротехнических тоннелей.

Судя по автореферату, материал, изложенный в диссертации, соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор - Феклин А.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

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



Дорман Игорь Яковлевич,  
доктор технических наук, профессор,  
Главный научный сотрудник  
Тоннельной ассоциации России.  
107078, Москва, Новорязанская ул., 16/11, офис 80.  
Тел. 8 (916)-651-55-06. Igor.dorman@mail.ru

*Людмила Формана и.э.*  
*заверяю: и.э.*  
*15.03.24*  
*1 Фетова и.э.*



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Феклина Артёма Александровича «**Разработка метода расчёта обделок параллельных тоннелей вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – Геомеханика, разрушение горных пород рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Научные результаты, изложенные в диссертационной работе Феклина А.А., являются вкладом в решение **актуальной** проблемы обеспечения безопасных условий проходки и эксплуатации системы параллельных горных выработок в сложных горно - геологических условиях: вблизи контакта массивов пород с различными механическими свойствами, путём выбора оптимальных сечения выработки и параметров крепи.

Постановка граничных задач теории упругости для системы тоннелей кругового сечения в кусочно-однородной среде с учётом крепления тоннелей, формулировка вычислительных алгоритмов для решения этих задач и разработка соответствующего программного обеспечения **являются вкладом в специальность 2.8.6.**

Формулировка закономерностей влияния неоднородности массива горных пород и наклона дневной поверхности на напряжения в крепи тоннелей имеет **важное практическое значение** для проектирования параллельных горных выработок.

Реферат написан ясным сжатым языком. Рисунки органично дополняют текст.

### **Замечания:**

В исходной граничной задаче вектор усилий на граничных контурах  $L_0$ ,  $L_{1i}$  равен нулю. Соответственно, в дополнительной граничной задаче (за вычетом гравитационных напряжений) вектор усилий не равен нулю. При  $\beta \neq 0$  модуль вектора усилий будет линейно возрастать на контуре  $L_0$  до бесконечности при удалении от системы выработок, и главный вектор этих усилий будет бесконечным. На контурах  $L_{1i}$  главные вектора усилий будут равны весу вынутых пород. Поэтому модули векторов усилий на контуре  $L_0$ , соответствующих частным решениям в (19), будут возрастать до бесконечности как  $\ln(r)$  при удалении от системы выработок, хотя, вычисленный как главное значение, главный вектор будет ограничен. При представлении функций в виде ряда Лорана коэффициенты ряда вычисляются с помощью интегрирования, поэтому граничные условия должны убывать на бесконечности быстрее  $1/r$ . Из текста реферата непонятно каким образом решается эта проблема.

Список публикаций по результатам диссертации соответствует рекомендациям ВАК.

Диссертация Феклина Артёма Александровича соответствует требованиям п. 7 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – Геомеханика, разрушение горных пород рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Ведущий программист лаборатории диагностики механического состояния массива горных пород ИГД СО РАН, доктор технических наук, старший научный сотрудник

В.И. Машуков

« 22 » 02 2024 г.

Почтовый адрес: 630091, г. Новосибирск, ул. Красный проспект, 54

Тел.: +79300758825

E-mail: [mvimash@gmail.com](mailto:mvimash@gmail.com)

Подпись В.И. Машукова заверяю  
Учёный секретарь ИГД СО РАН, к.т.н.



К.А. Коваленко



## ОТЗЫВ

об автореферате диссертации **ФЕКЛИНА Артёма Александровича**  
*«РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ОБДЕЛОК ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТОННЕЛЕЙ,  
СООРУЖАЕМЫХ ВБЛИЗИ НАКЛОННОЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНЫХ ПОРОДАХ»*, представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика,  
разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Разработка аналитического метода расчета обделок комплекса параллельных тоннелей, сооруженных с применением специальных способов строительства вблизи наклонной земной поверхности, является актуальной задачей, поскольку на данный момент времени подобный метод отсутствует, а его необходимость продиктована тем, что он позволит не только выполнять оценку достоверности результатов расчётов, выполненных с помощью численных методов, но и установить новые закономерности формирования напряженно-деформированного состояния элементов геомеханической системы "массив пород с наклонной границей - зоны технологически неоднородных пород - обделки параллельных тоннелей".

В представленном Феклиным А.А. автореферате кандидатской диссертации изложены основные положения, принятые при математическом моделировании напряженного состояния обделок тоннелей мелкого заложения, позволившие разработать соответствующий метод расчета. Автором выполнена постановка задачи теории упругости, осуществлен переход к соответствующей задаче теории функций комплексного переменного и получено её решение. Разработанный метод реализован в виде алгоритма и компьютерной программы. С помощью разработанной программы стала возможной оценка напряжённого состояния исследуемой геомеханической системы с учётом основных факторов, оказывающих наиболее существенное влияние: наклон земной поверхности; деформационные характеристики пород (в том числе в изменённом состоянии), а так же обделок тоннелей; компоновка тоннелей в комплексе и поперечные размеры их сечений, а так же зон технологически неоднородных пород вокруг них; поле начальных напряжений в массиве пород, обусловленное действием гравитационных сил. В автореферате представлены результаты исследований, полученные с помощью нового аналитического метода.

Выполнение граничных условий, согласование результатов, полученных в частных случаях, с соответствующими аналитическими решениями других авторов, позволяют сделать вывод о корректности разработанных метода и компьютерной программы.

В качестве замечаний следует высказать следующее:



1. В автореферате не обсужден вопрос скорости сходимости применяемого итерационного метода решения (и что на него влияет).

2. В перечне основных влияющих факторов отсутствуют нагрузки, отличные от гравитационных сил в массиве, а также не рассматриваются формы сечений обделок тоннелей и зон технологических пород, отличные от концентрических круговых.

Тем не менее, высказанные замечания не снижают значимости и научной ценности выполненных исследований.

Основные положения и результаты исследований, приведённые в диссертации, апробированы научно-технических конференциях, семинарах и симпозиумах различного уровня, опубликовано 15 статей, три из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Работа полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Феклин Артём Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Доцент кафедры «Тоннели и метрополитены» ФГБОУ ВО ПГУПС  
кандидат технических наук, доцент

Согласен на обработку персональных данных



В.Н. Кавказский

В.Н. Кавказский





## ОТЗЫВ

об автореферате диссертации ФЕКЛИНА Артёма Александровича «Разработка метода расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Диссертационное исследование Феклина А.А. посвящено решению актуальной научной и практической задачи - разработке аналитического метода расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых закрытым способом в неоднородных породах вблизи наклонной земной поверхности, поскольку в настоящее время аналогичные методы, в основу которых положены строгие решения задач геомеханики, отсутствуют, а использование подходов строительной механики или численных методов не позволяет в полной мере учесть влияние основных факторов на напряженно-деформированное состояние подземных конструкций.

Разработанная автором математическая модель напряженного состояния обделок тоннелей мелкого заложения базируется на рассмотрении их взаимодействия с массивом пород как элементов единой деформируемой геомеханической системы "массив пород с наклонной границей - зоны технологически неоднородных пород - обделки параллельных тоннелей", что позволило выполнить постановку и получение аналитического решения соответствующей задачи теории упругости. Решение получено с использованием хорошо апробированного аппарата теории функций комплексного переменного и потенциалов Колосова-Мусхелишвили, развитого применительно к аналогичным задачам в работах Арамановича И.Г., Фотиевой Н.Н., Анциферова С.В. и других специалистов.

Разработан алгоритм и компьютерная программа расчета, позволяющая оценить напряженное состояние элементов геомеханической системы с учетом влияния следующих факторов: угла наклона земной поверхности; деформационных характеристик пород в естественном и измененном состояниях, а также обделок тоннелей; взаимного расположения и размеров поперечных сечений тоннелей и зон технологически неоднородных пород; поля начальных напряжений в массиве пород, обусловленного гравитационными силами.

Проведены численные исследования, которые позволили уточнить известные и установить новые закономерности формирования напряженного состояния обделок тоннелей и массива пород.

Достоверность результатов обоснована корректной постановкой задачи, использованием строгих математических методов, контролем точности выполнения граничных условий и совпадением результатов расчетов с данными других авторов при решении частных задач.

Результаты работы апробированы на научных конференциях различного уровня и опубликованы в 15 научных работах, включая 3 в журналах, рекомендованных ВАК РФ.



По тексту автореферата можно сделать следующие замечания:

1. Отсутствуют примеры учета реологических свойств пород.
2. Отсутствует информация о возможности применения метода в случае пересечения зон технологически неоднородных пород при близком расположении тоннелей.

Отмеченные замечания не снижают научную значимость результатов диссертационной работы и ее научного вклада.

Согласно автореферату, материал диссертации «Разработка метода расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах» соответствует пункту 9 Положения ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации, Феклин А.А., достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

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



(подпись)

Зайцев Денис Александрович, кандидат технических наук, заместитель директора Центра прикладных исследований и геотехнологий НИУ «БелГУ»

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)  
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85,  
+7 (920) 200 2602  
zden86@yandex.ru

Личную подпись  
удостоверяю  
Ведущий специалист  
по кадрам  
департамента управления  
персоналом





## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации ФЕКЛИНА Артёма Александровича  
«РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ОБДЕЛОК ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТОННЕЛЕЙ,  
СООРУЖАЕМЫХ ВБЛИЗИ НАКЛОННОЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНЫХ ПОРОДАХ», представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разруше-  
ние горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Результаты мониторинга состояния конструкций подземных сооружений позволяют установить факторы, оказывающие существенное влияние на формирование напряженно-деформированного состояния элементов геомеханической системы "конструкции подземных сооружений - массив пород" - наличие близко расположенной наклонной земной поверхности, компактное расположение параллельных тоннелей, появление вокруг выработок зон пород с отличающимися деформационными характеристиками.

Применение инженерных методов, использующих подходы строительной механики и сводящихся к расчету конструкций на "активные нагрузки", определяемые с использованием различных гипотез сводообразования, не является корректным; результаты, получаемые с использованием численных методов, например, метода конечных элементов, существенно зависят от ряда субъективных факторов.

Считаю, что разработка метода расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых в технологически неоднородных породах вблизи склона, базирующегося на строгом аналитическом решении задач механики сплошных сред, является актуальной научной задачей, решение которой способствует совершенствованию теории аналитических методов расчета, имеет научное и практическое значение.

Диссертантом сформулированы и обоснованы основные принципы математического моделирования процесса формирования напряженного состояния исследуемой геомеханической системы, выполнена постановка задачи теории упругости, осуществлен переход к соответствующей задаче теории функций комплексного переменного и с применением теории рядов получено ее решение.

Автором приведены примеры расчетов обделок параллельных тоннелей различной компоновки, а также теоретические зависимости изменения максимальных нормальных тангенциальных напряжений, возникающих в обделках при различных сочетаниях угла наклона земной поверхности, глубины заложения выработок, расстояния между центрами поперечных сечений тоннелей, размеров и деформационных характеристик материала обделки и областей, моделирующих технологически неоднородные породы.

Высокая точность выполнения граничных условий, согласование результатов, полученных в частных случаях, с соответствующими аналитическими решениями других авторов



позволяют сделать вывод о корректности разработанного метода и его компьютерной реализации.

В качестве замечаний следует высказать следующее:

1. В диссертационной работе, судя по автореферату, отсутствуют результаты сравнения с данными натурных наблюдений за напряженно-деформированным состоянием обделок тоннелей, сооруженных в технологически измененных породах вблизи наклонной земной поверхности.

2. При разработке математической модели автором не учитывается влияние на тоннели близко расположенных зданий и сооружений, которое, по нашему мнению, может являться существенным.

Высказанные замечания не снижают значимости и научной ценности выполненных исследований.

Основные положения диссертации обсуждались на международных и российских научно-технических конференциях и семинарах различного уровня, опубликованы в 15-ти печатных работах, три из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Работа полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Феклин Артём Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Доктор физико-математических наук, профессор  
тел.: +7 (915) 358-55-90, e-mail: kuzn-sergey@yandex.ru

Кузнецов С.В.

Согласен на обработку персональных данных

Кузнецов С.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН).

Почтовый адрес: 119526, Москва, пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1



Кузнецов С.В.  
13 02

2024



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Феклина Артема Александровича  
«Разработка метода расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи  
наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная  
аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Диссертация Феклина А.А. посвящена анализу напряженно-деформированного состояния (НДС) подземных объектов, сооружаемых закрытым способом в слабых породах. К таким объектам относятся, тоннели и системы тоннелей различного назначения (железнодорожные, автомобильные, метрополитены, гидротехнические, коммуникационные, горнопромышленные сооружения и др.). Обделка тоннелей зависит от их промышленного назначения, однако, в нормативно-технических документах по проектированию и строительству подземных объектов отсутствуют рекомендации по комплексному учету влияния на прочность и несущую способность сооружаемых конструкций таких факторов, как физико-механические свойства горных пород и особенности рельефа земной поверхности. Данные факторы могут приводить к возникновению вокруг формируемых выработок зон с существенно отличающимися деформационными характеристиками, что необходимо учитывать на этапе проектирования. На основании изложенного можно заключить, что диссертационная работа Феклина А.А. является актуальной.

В работе с использованием математической теории упругости разрабатывается аналитический метод анализа НДС породного массива с учетом рельефа свободной поверхности и неоднородных свойств массива вблизи выработок. Задача решается в плоской постановке. Формулировка включает конечное число произвольных выработок различных радиусов (область многосвязная). Граничные условия содержат дополнительные неизвестные коэффициенты в виде рядов Лорана, отвечающие за влияние рельефа (наклона) границы и соседних тоннелей. Особенностью решения поставленной задачи является использование сходящегося итерационного процесса, на каждом шаге которого последовательно рассматриваются указанные задачи, в которых определяются неизвестные коэффициенты разложений комплексных потенциалов Колосова-Мусхелишвили в ряды Лорана, позволяющие определить напряженно-деформированное состояние в рассматриваемой области. Разработанный метод реализован в виде численного алгоритма и соответствующего программного обеспечения для ЭВМ. Даны примеры расчета конкретных задач. Разработанный метод расчета может быть востребован при проектировании, строительстве и эксплуатации



подземных сооружений различного назначения, располагающихся в районах со сложным рельефом свободной поверхности.

По результатам диссертационной работы Феклина А.А. опубликовано 15 научных статей, из них 3 статьи – в изданиях, рекомендованных ВАК. Работа выполнена на высоком научном уровне, квалификация автора сомнения не вызывает.

Диссертационная работа Феклина А.А., судя по автореферату, удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

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

Заместитель директора по научной работе ИГД СО РАН,  
главный научный сотрудник лаборатории механики  
деформируемого твердого тела и сыпучих сред ИГД СО РАН,  
доктор физ.-мат. наук (01.02.04), с.н.с.

Лавриков Сергей Владимирович

Дата: «21» февраля 2024г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела  
им. Н.А.Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук

адрес: 630091, Новосибирск, Красный проспект, 54

сайт: [misd.ru](http://misd.ru);

тел.: (383) 205-30-30

email: [lvk64@mail.ru](mailto:lvk64@mail.ru)

Подпись Лаврикова С.В. заверяю:

Ученый секретарь ИГД СО РАН,

к.т.н.



К.А. Коваленко



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы

**Феклина Артёма Александровича на тему «Разработка метода расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика**

### **1. Актуальность темы диссертации**

Известные аналитические методы расчёта обделок параллельных тоннелей, расположенных вблизи наклонной земной поверхности, не учитывают наличия технологической неоднородности грунтов. В связи с этим тема диссертационной работы, посвящённой разработке аналитического метода расчёта обделок параллельных тоннелей, сооружаемых закрытым способом вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах, является актуальной научно-технической задачей.

### **2. Цель, задачи, научная новизна и результаты работы**

Целью работы является разработка аналитического метода расчета, позволяющего уточнить известные и установить новые закономерности формирования напряжённого состояния элементов геомеханической системы "массив пород с наклонной земной поверхностью - зоны технологически неоднородных пород - обделки параллельных тоннелей" и оценить прочность и несущую способность подземных конструкций.

В работе автором разработана новая математическая модель взаимодействия обделок параллельных тоннелей, расположенных вблизи склона, и массива пород, включающего зоны его технологической неоднородности, аналитически решена соответствующая задача 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 соответственно массив пород, зоны технологически неоднородных пород и обделки тоннелей, полученное с использованием математического аппарата теории потенциалов Колосова-Мусхелишвили и функций комплексного переменного.

На основе предложенного подхода автором разработан соответствующий алгоритм расчёта и метод расчёта, а также создана программа для ЭВМ.

**3. Обоснованность научных положений и достоверность результатов исследований** подтверждаются корректной постановкой задач исследования; использованием фундаментальных теоретических положений механики сплошной среды; использованием классических гипотез и



положений геомеханики, механики подземных сооружений; применением адекватной математической модели, включающей постановку и строгое аналитическое решение задачи теории упругости с использованием апробированного математического аппарата; согласованием результатов расчёта с данными, полученными другими авторами при решении частных задач.

Разработанный автором алгоритм расчета обделок параллельных тоннелей кругового поперечного сечения, сооруженных закрытым способом в технологически неоднородных породах вблизи наклонной земной поверхности, имеет несомненное практическое значение.

Работа достаточно апробирована, так как автор докладывал полученные результаты на представительных симпозиумах и конференциях. Результаты диссертации отражены в 15 научных работах.

#### **4. Замечание по тексту автореферата диссертации**

1. Чем обоснован коэффициент бокового давления  $\lambda=0,5$ , приведенный на рис. 2 автореферата, при том, что коэффициент Пуассона породы равен 0,3?

Данное замечание не снижает научную и практическую ценность работы.

В целом; оценивая содержание автореферата, можно заключить, что диссертация Феклина Артёма Александровича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, и полностью соответствующей требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Ведущий научный сотрудник  
лаборатории «Горное давление  
и сдвигание горных пород»  
ОАО «ВАОГЕМ», д-р техн. наук  
тел.: +7 (915) 578-73-98  
e-mail: [sergey.sergeev.v@mail.ru](mailto:sergey.sergeev.v@mail.ru)

Сергеев  
Сергей Валентинович  
«12» февраля 2024 г.

Старший научный сотрудник  
лаборатории «Горное давление  
и сдвигание горных пород»  
ОАО «ВАОГЕМ», канд. техн. наук  
тел.: +7 (906) 606-77-21  
e-mail: [zinchenko\\_av@viogem-sp.ru](mailto:zinchenko_av@viogem-sp.ru)

Зинченко  
Алексей Владимирович  
«12» февраля 2024 г.



Согласие на обработку персональных данных

Сергеев С.В.

Согласие на обработку персональных данных

Зинченко А.В.

Открытое акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, защите инженерных сооружений от обводнения, специальным горным работам, геомеханике, геофизике, гидротехнике, геологии и маркшейдерскому делу» (ОАО «ВИОГЕМ»),

Почтовый адрес: 308007, Россия, г. Белгород, пр. Б. Хмельницкого, 86  
Тел. +7 (4722) 73-25-15 E-mail: info@viogem-sp.ru

Подпись Сергеева С.В. и Зинченко А.В. удостоверяю, специалист кадрового делопроизводства ОАО «ВИОГЕМ»



Кошкарлова Е.А.



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Феклина Артёма Александровича «Разработка метода расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Постоянное усложнение условий строительства подземных сооружений, связанное с освоением новых территорий, отличающихся сложным рельефом, требует применения специальных способов проходки тоннелей. Данные технологии приводят к изменению физико-механических и деформационных характеристик массива пород вокруг выработок. Очевидно, что появление зон технологически неоднородных пород может оказывать влияние на напряжённо-деформированное состояние конструкций подземных сооружений.

В существующих нормативно-технических документах, регламентирующих строительство подземных сооружений, отсутствуют рекомендации по комплексному учёту влияния угла наклона земной поверхности, компактного расположения параллельных тоннелей в комплексе, а также наличие зон пород вокруг выработок с отличающимися деформационными характеристиками, необходимые при проектировании подземных сооружений.

Как следует из автореферата, в диссертации Феклина А.А. разработан аналитический метод расчета обделок параллельных тоннелей, сооружённых вблизи склона в технологически неоднородных породах, при действии гравитационных сил, который позволяет учесть основные влияющие на напряженное состояние подземных конструкций и массива пород факторы - преобладающий угол наклона земной поверхности вблизи комплекса тоннелей, глубина заложения каждого из тоннелей, размеры поперечных сечений тоннелей и зон пород с изменёнными характеристиками, толщины обделок, деформационные характеристики массива пород в естественном и технологически изменённом состояниях, а так же материалов обделок.



Метод расчета базируется на математическом моделировании напряженного состояния единой геомеханической системы «весомый массив пород с наклонной границей – зоны технологически неоднородных пород – обделки параллельных тоннелей», предусматривающем постановку и решение соответствующей задачи теории упругости. Аналитическое решение впервые поставленной задачи после перехода к соответствующей краевой задаче теории функций комплексного переменного получено с применением метода комплексных потенциалов Колосова – Мусхелишвили и теории рядов. На основе результатов многовариантных расчетов, полученных с использованием разработанной автором оригинальной компьютерной программы, уточнены известные и установлены новые зависимости напряженного состояния обделок тоннелей при различных сочетаниях основных влияющих факторов, позволяющие обосновать конкретные рекомендации при проектировании реальных подземных объектов.

Считаем, что разработка нового метода расчета является актуальной задачей, имеющей как научное, так и практическое значение.

Автореферат диссертации оформлен в соответствии с общими требованиями и правилами и в должной мере отражает защищаемые научные положения. Результаты работы неоднократно докладывались на научно-технических российских и международных конференциях, опубликованы в научной печати.

По содержанию автореферата имеются следующие замечания:

1. Метод расчёта не позволяет учесть наличие некруговых зон, моделирующих области ослабленного или упрочнённого массива пород вокруг тоннелей.

2. В приведённых в автореферате материалах отсутствует информация о величинах внутренних усилий - продольных и поперечных сил, изгибающих моментов, возникающих в обделках тоннелей.



3. Следовало бы зарегистрировать разработанную программу в соответствующих федеральных органах как результат интеллектуальной деятельности.

Сделанные замечания не влияют на высокую оценку диссертационной работы. В целом, судя по автореферату, диссертация Феклина А.А. «Разработка метода расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах», является законченной научно-квалификационной работой, отвечающей соответствующим требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Феклин Артём Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Согласны на обработку персональных данных.

Заведующий кафедрой «Изыскания,  
проектирование и строительство железных  
дорог» ФГБОУ ВО РГУПС, кандидат  
технических наук, доцент

А. А. Ревякин

Профессор кафедры «Изыскания,  
проектирование и строительство железных  
дорог» ФГБОУ ВО РГУПС, доктор технических  
наук, профессор

В. И. Куштин

Подпись Ревякина А.А.,  
Куштина В.И.  
УДОСТОВЕРЯЮ

Начальник управления делами  
ФГБОУ ВО РГУПС

« 13 » 02 20



Т.М. Канина