

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора
ПАНКРАТЕНКО Александра Никитовича о диссертации
ТРЕЩЕВОЙ Ольги Витальевны «РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА
ОБДЕЛОК ТОННЕЛЕЙ КРУГОВОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ,
СООРУЖАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ИЗ ТРУБ»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Проектирование и строительство подземных объектов различного назначения требуют выполнения оценки прочности и устойчивости как конструкций (обделок тоннелей, крепи горных выработок), так и вмещающего массива грунта.

Практика зарубежного и отечественного подземного строительства свидетельствует о том, что возведение подземных сооружений неглубокого заложения закрытым способом в слабых грунтах нередко выполняется с использованием опережающего крепления под защитой экрана из труб. Элементы (трубы) защитного экрана, выполненные из различных материалов, размещаются различными способами в грунте по контуру вдоль выработки, либо в ее забое. Предварительное размещение труб экрана в грунте способствует уменьшению влияния проходки выработки на близко расположенные объекты, снижает осадки дневной поверхности, увеличивает устойчивость забоя и грунтовых обнажений в период установки временной, а также постоянной крепи.

Результаты выполняемого на этапе строительства тоннеля мониторинга напряженно-деформированного состояния грунта и конструкций подземных сооружений подтверждают его существенное изменение, которое, по мнению автора работы должно учитываться при определении параметров обделки.

В нормативно-технических документах, регламентирующих в настоящее время применение предварительного крепления в виде защитных экранов, содержатся рекомендации, касающиеся оценки деформаций (прогибов) непосред-

ственно труб экрана и определения величин вертикальных перемещений дневной поверхности. Данные методики, базирующиеся на подходах строительной механики, принципиально не позволяют учесть влияние труб защитного экрана на изменение состояния обделок сооружаемых тоннелей. Компьютерное моделирование с использованием специализированных пакетов, реализующих численные методы решения задач геомеханики, ориентированы в большей мере на определение деформаций земной поверхности.

Автором работы утверждается, что строгого аналитического метода расчета обделок тоннелей, сооружаемых под защитой экрана из труб, до настоящего времени не имелось по причине отсутствия решений соответствующих задач геомеханики.

Таким образом, разработка заявленного метода расчета в рамках совершенствования теории аналитических методов расчета подземных сооружений является актуальной задачей, решение которой имеет важное научное и практическое значение, поскольку его использование будет способствовать повышению эффективности проектирования и строительства подземных сооружений, а также установлению новых закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния элементов сложных геомеханических систем.

2. Содержание и основные результаты диссертации

При обосновании проектов строительства подземных сооружений в настоящее время в качестве альтернативных методов расчета находят применение аналитические методы определения напряженного состояния обделок тоннелей, разработанные на единых научных и методологических подходах. Они заключаются в использовании положений геомеханики и механики подземных сооружений о совместной работе подземных конструкций и массива грунта как элементов единой деформируемой системы. Эти положения позволяют для получения решений необходимых задач геомеханики использовать хорошо апробированный и показавший высокую эффективность математический аппарат,

применяемый в механике сплошных сред, в частности, при решении задач теории упругости.

Автором диссертации выполнен достаточно подробный анализ научных публикаций, посвященных вопросам применения различных технологий предварительного крепления грунта в виде защитных экранов при строительстве подземных сооружений в непосредственной близости к земной поверхности.

Несмотря на наличие достаточно большого числа отечественных и зарубежных работ, посвященных применению защитных экранов в подземном строительстве и использованию при их проектировании численных методов, приведенный анализ публикаций позволил автору сделать вывод об отсутствии до настоящего времени строгих методов расчета, позволяющих выполнить оценку напряженно-деформированного состояния обделок тоннелей мелкого заложения, сооружаемых под защитой экранов из труб.

Автором работы утверждается, что теоретические основы, заложенные учеными Тульской школы геомехаников в области разработки аналитических методов расчета конструкций подземных сооружений, позволяют успешно выполнить поставленную задачу.

Трещевой О.В. сформулированы и обоснованы цель и задача исследований, заключающиеся в дальнейшем развитии теории строгих аналитических методов расчета конструкций подземных сооружений и разработке соответствующего метода расчета обделок тоннелей.

В основу нового метода расчета положена разработанная автором математическая модель взаимодействия элементов единой деформируемой геомеханической системы «массив грунта – трубы защитного экрана – обделка тоннеля», адекватно учитывающая влияние на напряженно-деформированное состояние подземных конструкций и вмещающего массива основных факторов – глубины заложения тоннеля; геометрических характеристики поперечного сечения обделки тоннеля; наличие близко расположенной поверхности; неравнокомпонентного поля начальных напряжений в массиве грунта, отвечающего за действие гравитационных сил с учетом изменения напряжений по высоте сече-

ния тоннеля; различающиеся деформационные характеристики грунта, материалов обделки и возможного заполнения труб экрана; количество и расположение труб защитного экрана вблизи контура выработки.

Следует отметить, что предлагаемая в работе математическая модель, использующая полученное автором строгое решение плоской задачи теории упругости, в большей степени справедлива при рассмотрении достаточно протяженных участков выработки (тоннеля).

Автором выполнены выбор и обоснование расчетных схем задач теории упругости; сформулированы их граничные условия при действии собственного веса грунта. Общая расчетная схема задачи представлена полубесконечной весомой линейно-деформируемой средой, моделирующей массив грунта в ненарушенном состоянии, с произвольно расположенными сплошными круговыми шайбами и круговым отверстием, подкрепленным концентрическим кольцом, моделирующими сечения труб экрана и обделку тоннеля соответственно.

Поскольку для решения задачи использован математический аппарат комплексных потенциалов Колосова-Мусхелишвили, показавший высокую эффективность при решении задач для многосвязных полубесконечных областей, выполнен переход от поставленной плоской задачи теории упругости к соответствующей краевой задаче теории функций комплексного переменного. Приводятся граничные условия краевой задачи и достаточно полное описание полученного автором ее строгого решения.

В работе приведён подробный алгоритм определения напряжённого состояния элементов рассматриваемой геомеханической системы, на основе которого разработана компьютерная программа. Исследование точности удовлетворения граничных условий, выполненное в результате вычислительного эксперимента, показало высокую сходимость примененного итерационного процесса решения задачи в целом; установлено минимальное количество удерживаемых членов в используемых рядах, обеспечивающее достоверность получаемых результатов - удовлетворение граничных условий с погрешностью, не превышающей 5%. Увеличенная допускаемая погрешность удовлетворения

граничных условия объясняется весьма малыми возможными расстояниями между концентраторами напряжений – границей полуплоскости, концентрическим кольцом и сплошными шайбами, моделирующими соответственно земную поверхность, обделку тоннеля и сечения труб экрана с возможным заполнением.

Следует отметить установленное совпадение результатов с результатами аналитических расчетов в частных случаях, полученными другими авторами. Это свидетельствует о возможности применения разработанного метода расчета в целях практического проектирования и использования для верификации результатов, получаемых с использованием численных методов, например, метода конечных элементов.

С использованием программы выполнены многовариантные расчеты, проведено детальное компьютерное моделирование процесса формирования напряженного состояния обделки тоннеля и окружающего массива грунта при различных вариантах расположения труб защитного экрана.

Автором на основании выполненных расчетов установлен ряд интересных с точки зрения формирования напряженного состояния обделок тоннелей – различное количество труб экрана и их взаимное расположение вблизи контура выработки при принятых физико-механических характеристиках грунта и материале обделок приводит к существенному перераспределению напряжений, заключающемуся как в снижении максимальных сжимающих и растягивающих напряжений, так и их увеличению в отдельных радиальных сечениях.

Следует отметить, что автором уточнены не только очевидные известные, но и установлены новые закономерности формирования напряженного состояния обделок тоннелей при различных сочетаниях основных влияющих факторов, определяемых конфигурацией расположения труб защитного экрана.

3. Обоснованность и достоверность научных положений,

выводов и рекомендаций

Достигнутая весьма высокая для рассматриваемого случая точность

удовлетворения граничных условий решенной задачи теории упругости, полное совпадение результатов, полученных другими авторами с использованием аналитических решений для частных случаев, позволяют сделать вывод о корректности и обоснованности разработанного метода, достоверности результатов, получаемых с использованием компьютерной программы, реализующей разработанный метод.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Из приведенного в работе описания математической модели не ясно, каким образом можно контролировать процесс заполнения заобделочного пространства тампоножным раствором, который обеспечивает контакт породного массива и наружной поверхности крепи тоннеля.

2. По моему мнению предложенная автором постановка задачи геомеханики не учитывает влияние водонасыщенных грунтов, наличие которых в ряде случаев приводит к уменьшению устойчивости грунтовых обнажений, и бесспорно представляет интерес на этапе проектирования объектов.

3. В работе не приводится критерий выбора формы поперечного сечения защитного экрана и количеств труб, с учетом возникающего напряженного состояния крепи тоннеля.

4. Соответствующий раздел диссертационной работы перегружен математическими формулами, выкладками и описанием выполненных преобразований, но с другой стороны, это можно расценивать как фактор, подтверждающий достаточно высокую сложность получения решения поставленной задачи геомеханики.

5. Разработанный автором метод расчета применим только для конструкций крепи тоннелей, имеющих круглую форму поперечного сечения, при этом возможность развития данного метода для других форм поперечного сечения тоннеля в работе не обсуждается.

6. Диссертационная работа достаточно подробно проиллюстрирована развертками эпюр расчетных нормальных тангенциальных напряжений, возникающих на контурах поперечных сечений обделок и массива грунта, но следо-

вало бы предусмотреть возможность представления результатов расчетов в виде изополей напряжений как более наглядных.

Высказанные замечания не снижают значимости и научной ценности выполненных исследований, так как представленная работа является актуальной и, несомненно, имеющей научную новизну и практическую ценность.

Все научные положения диссертационной работы получили достаточное обоснование и подтверждение представленными результатами.

Следует отметить, что текст диссертации написан логично и последовательно, грамотно и с учетом требований, предъявляемым к научным работам.

Автореферат диссертации в полной мере отражает содержание представленной работы.

Основные положения диссертации неоднократно докладывались на международных и российских научно-технических конференциях и семинарах различного уровня, опубликованы в 18-ти печатных работах, две из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Таким образом, изложенное выше позволяет заключить, что рассматриваемая диссертация является научно-квалификационной работой, в которой выполнено решение актуальной научной задачи, заключающейся в разработке нового аналитического метода расчета обделок тоннелей кругового поперечного сечения, сооружаемых с применением защитных экранов из труб, при действии собственного веса грунта. Новый метод расчёта позволяет установить или уточнить закономерности формирования напряженного состояния обделок и вмещающего грунта, что будет способствовать принятию обоснованных конструктивных и технологических решений, предотвращающих проявления опасных горно-геологических явлений.

Работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Трещева Ольга Витальевна - заслуживает присуждения ученой степени кандидата техни-

ческих наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.



(подпись)

Панкратенко Александр Никитович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой СПСиГП НИТУ МИСИС, г. Москва; 119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1
pankrat54@bk.ru, +7-926-560-31-03

ПОДПИСЬ Панкратенко А.Н. ЗАВЕРЯЮ
Проректор по дополнительному
образованию
НИТУ МИСИС 10.06.2025



ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н., доцента КАВКАЗСКОГО Владимира Николаевича
о диссертации **Трещевой Ольги Витальевны**
«Разработка метода расчета обделок тоннелей кругового поперечного сечения,
сооружаемых с применением защитных экранов из труб», представленной
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

1. Актуальность темы диссертации

В настоящее время в практике проектирования подземных сооружений и выполнения расчетов их конструкций достаточно широкое применение находят программные комплексы для ЭВМ, позволяющие решать различные задачи геомеханики численными методами. Данная тенденция обусловлена тем, что в настоящее время, ввиду сложности используемого математического аппарата для получения строгих решений подобных задач, а в ряде случаев невозможности их получения, отсутствуют необходимые аналитические методы расчета конструкций сооружений, в достаточно адекватной степени учитывающих сочетания геотехнических факторов среды и применяемых технологий строительства.

Несомненно, что программы, реализующие получение численных решений, например, методом конечных элементов или конечных разностей, обладают определенной универсальностью. Они позволяют использование как плоских, так пространственных расчетных схем, которые, по мнению разработчиков, адекватно учитывают особенности формирования напряженно-деформированного состояния элементов геомеханических систем. Но при этом хорошо известно, что численные методы обладают специфическими недостатками, связанными с зависимостью результатов расчета от квалификации специалиста; от вида и размеров используемой конечно-элементной модели; от выбора способов ее закрепления и задания граничных условий и пр. Возникают проблемы повторяемости результатов расчетов для одного объекта строительства, выполняемых различными специалистами, либо с применением различных программ. Приведенное выше свидетельствует о необходимости

дальнейшего развития теории аналитических методов расчета конструкций подземных сооружений, позволяющих, помимо использования предусмотренных тестовых расчетов, производить оценку адекватности и достоверности результатов, получаемых численными методами. Это будет способствовать повышению достоверности результатов численного моделирования, поскольку аналитические методы базируются, как правило, на решениях задач геомеханики, полученных с использованием апробированного, хорошо зарекомендовавшего себя математического аппарата решения задач механики сплошных сред, в частности - теории упругости.

К настоящему времени широко известны аналитические методы расчета подземных конструкций, авторами которых являются специалисты Тульского государственного университета. Эти методы, разработанные на единой научной и методологической основе решения задач теории упругости с использованием математического аппарата теории функций комплексного переменного, позволяют определять напряженное состояние обделок тоннелей произвольного (кругового или некругового) поперечного сечения глубокого и мелкого заложения на действие статических нагрузок, а также сейсмических воздействий землетрясений.

Аналогичного аналитического метода расчета обделок тоннелей, сооружаемых закрытым способом вблизи земной поверхности с использованием опережающего крепления из труб, размещаемых в грунте вблизи контура выработки, до настоящего времени не имелось, т.к. отсутствовало соответствующее строгое аналитическое решение соответствующей задачи геомеханики.

В связи с этим разработка метода расчета обделок тоннелей неглубокого заложения, сооружаемых под защитой экрана из труб, является актуальной задачей, решение которой имеет как научное, так и практическое значение, поскольку использование метода будет способствовать выявлению новых закономерностей формирования напряженного состояния подземных конструкций и массива грунта, выбору обоснованных рациональных технологических решений, параметров обделок и характеристик используемых материалов, обеспечивающих необходимую прочность и надежность подземных сооружений.

2. Содержание и основные результаты диссертации

Представленная к защите диссертация изложена на 166 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка используемой литературы.

В тексте работы чётко формулируются цель, идея и основное содержание выполненных исследований, приводятся их основные результаты и сравнительный анализ полученных закономерностей формирования напряженного состояния обделок тоннелей и вмещающего массива.

Первый раздел диссертации содержит обзор и анализ научных публикаций, посвящённых теме диссертационного исследования, результатом которого является вывод о широком применении технологии строительства подземных сооружений в сложных геологических условиях с применением защитных экранов, и, несмотря на это, отсутствие до настоящего времени строгих аналитических методов расчета обделок тоннелей кругового поперечного сечения, сооружаемых с применением опережающего крепления. Автором подчеркивается, что использование специализированных программных комплексов для исследования напряженно-деформированного состояния элементов геомеханической системы «массив грунта – трубы защитного экрана – обделка тоннеля мелкого заложения» не позволяет комплексно решить возникающие проблемы.

Во втором разделе автором сформулированы основные теоретические положения, принятые при математическом моделировании напряженного состояния единой деформируемой геомеханической системы «массив грунта - трубы защитного экрана - обделка тоннеля». Рассмотрение достаточно протяженных участков тоннелей позволило использовать постановку задачи теории упругости о равновесии линейно деформируемой весомой полубесконечной среды, ослабленной круговым отверстием, подкреплённым концентрическим кольцом, при наличии конечного числа произвольно расположенных вблизи контура отверстия сплошных круговых шайб с отличающимися деформационными характеристиками; автором сформулированы граничные условия.

В третьем разделе диссертационной работы осуществлен переход к соответ-

ствующей краевой задаче теории функций комплексного переменного, приведено достаточно полное описание аналитического решения указанной выше задачи с использованием аппарата комплексных потенциалов Колосова-Мусхелишвили, аналитического продолжения потенциалов через границу полуплоскости, рядов Лорана и др., позволяющего определять напряжённое состояние элементов рассматриваемой геомеханической системы и положенного в основу разработанного метода расчета.

Описанный в четвёртом разделе работы полный алгоритм расчета реализован в виде компьютерной программы. Произведена оценка удовлетворения граничных условий.

С использованием разработанной компьютерной программы выполнены многовариантные расчеты обделок тоннеля, сооружаемого с применением защитного экрана из труб, результаты которых приведены в пятом разделе работы. Выполнен сравнительный анализ результатов, иллюстрирующий влияние на формирование напряжённого состояния обделок тоннелей и грунта различных сочетаний учитываемых моделью факторов. Автором выполнено исследование зависимостей формирования напряженного состояния обделок и грунта при изменении таких факторов, как соотношение деформационных характеристик грунта и материалов обделки, глубина заложения тоннеля, взаимное расположение обделки и труб защитного экрана и др.

Представляют интерес выводы о том, что применение защитных экранов приводит, как правило, к снижению величин нормальных тангенциальных напряжений в массиве грунта на поверхности выработки - растягивающих практически в 1,5 раза, а сжимающих - на 17% по сравнению с соответствующими напряжениями, возникающими на контуре выработки, пройденной без опережающего крепления.

Выявлено, что с ростом коэффициента бокового давления в массиве грунта растягивающие нормальные тангенциальные напряжения в грунте на поверхности выработки исчезают, максимальные значения сжимающих напряжений существенно уменьшаются.

Установлено, что в бóльшей мере влияние защитного экрана проявляется в относительно слабых грунтах в точках контура выработки или обделки тоннеля, расположенных на минимальных расстояниях от труб экрана.

3. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендации

Достаточно высокая точность удовлетворения граничных условий (погрешность не превышает 5%), практически полное совпадение результатов с получаемыми другими авторами в частных случаях, свидетельствуют о корректности разработанного метода и его программной реализации.

По работе следует высказать приведенные ниже замечания:

1. Считал бы целесообразным результаты расчетов дополнить более полным определением напряженно-деформированного состояния грунта, включая его поверхность.

2. В работе не рассмотрены примеры расчета обделок тоннелей с учетом зон перекрытия труб защитных экранов.

3. Отсутствует оценка напряженно-деформированного состояния труб защитного экрана, а также устойчивости труб при их продавливании на этапе возведения экрана.

4. Предложенная математическая модель не позволяет выполнить учет возможного инъекционного укрепления грунта вокруг труб защитного экрана.

В качестве пожелания следует рекомендовать диссертанту продолжение работы в направлении реализации четвертого замечания, а также адаптации разработанной математической модели применительно к учету анкерного крепления лба и свода забоя.

Сделанные замечания не снижают научной новизны и практической ценности выполненной работы.

Диссертация оформлена соответствующим образом, язык и стиль изложения отвечают требованиям, предъявляемым к научным работам.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Основные положения диссертации опубликованы в 18-ти печатных работах, 2 из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Диссертационная работа прошла апробацию на различных научно-технических конференциях.

Сказанное выше позволяет сделать заключение о том, что рассматриваемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи разработки метода расчета обделок тоннелей кругового поперечного сечения, сооружаемых с применением защитных экранов из труб, необходимого для геомеханического обоснования принимаемых проектных решений.

Работа отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Трещева Ольга Витальевна - заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Кавказский Владимир Николаевич
кандидат технических наук, доцент

**«Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)**

Московский пр., д.9, Санкт-Петербург, 190031

Телефон: (812) 457-86-28, факс: (812) 315-26-21

E-mail: dou@pgups.ru; <http://www.pgups.ru>


(подпись)



Подпись _____	
Кавказского В.Н.	
удостоверяю.	
Начальник Службы управления персоналом	Г.Е. Егоров
университета	
09	06 2025 г.