

## О Т З Ы В

официального оппонента профессора, доктора технических наук **Панкратенко Александра Никитовича** на диссертацию **Нгуен Тай Тиен** на тему: «Геомеханическое обоснование параметров обделки протяженных подземных сооружений криволинейного поперечного сечения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

**1. Актуальность темы диссертации.** В настоящее время темпы освоение подземного пространства крупных городов с каждым годом все возрастает. При этом как правило строительство тоннелей метрополитенов, коллекторных тоннелей, а также тоннелей транспортного назначения ведется в основном в слабых неустойчивых породах с применением современных щитовых проходческих комплексов круглого поперечного сечения. Однако такая форма поперечного сечения, имеет коэффициент использования внутреннего пространства, несколько меньше, чем другие формы поперечного сечения подземных горизонтальных выработок. Соответственно, такая форма поперечного сечения тоннелей, особенно при строительстве тоннелей большого поперечного сечения, ведет к увеличению и затрат на его проходку. Поэтому применение щитов некругового очертания для строительства тоннелей позволит уменьшить затраты на их строительство. Однако вопросом выбора параметров формы поперечного сечения тоннелей некругового очертания, в настоящее время в научной литературе уделено не достаточно. В данной работе представлены теоретические положения расчета напряженного состояния обделки тоннелей при изменении параметров его криволинейного сечения, что позволяет получить полную картину о формировании напряжений в заданных инженерно-геологических и горнотехнических условиях. Такой подход позволяет снизить концентрации напряжений в обделке тоннелей за счет оптимального подбора кривизны сечения тоннеля. Таким образом снижение трудоемкости сооружения и стоимости строительства тоннелей при сохранении надежности безусловно является актуальной задачей развития освоения подземного пространства городов.

**2. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их новизна.**

В работе сформулированы три научных положения. Первое научное положение говорит о том, что расчет напряженного состояния обделки тоннелей

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-283 от 10.06.22

квази-прямоугольного и арочного с обратным сводом поперечных сечений допускается выполнять на основании метода гиперстатических реакций, учитывающего формирование нелинейного отпора грунтового массива при взаимодействии с обделкой, а также характер формирования нагрузки на крепь для тоннелей различного очертания. В работе автор показал, что метод гиперстатических реакций опор в его текущей реализации не достоверно выполняет прогноз напряженного состояния обделки крепи для тоннелей криволинейного поперечного очертания. Автором были внесены дополнительные уравнения в решение поставленной задачи, которые позволили учесть нелинейный отпор грунта, что в значительной степени повысило достоверность полученных результатов расчетов. Апробация предложенной методики расчета напряженного состояния обделки выполнена на основании сравнения результатов, полученных методом конечных элементов.

Второе защищаемое положение посвящено оценке влияния параметров криволинейного сечения тоннелей и указано, что она должна выполняться на основании многовариантного итерационного расчета, регулирующими параметрами которого являются уравнения кривых, определяющих итоговую форму криволинейного сечения. В работе достаточно детально представлен разработанный автором алгоритм построения геометрии модели тоннеля криволинейного очертания, который использовался для организации связи между отдельными параметрами сечения. Выполненные автором расчеты показывают, что влияния формы поперечного сечения тоннеля на напряженное состояние значительное, особенно значимо это проявляется на переходных участках от свода к бокам тоннеля и наоборот. Таким образом в работе доказано, что без проведения многовариантных расчетов надежность выбора рационального сечения тоннеля для конкретных инженерно-геологических условий снижается. Автором разработаны алгоритмы проведения многовариантных расчетов для тоннелей квазипрямоугольного и сводчатого очертаний.

В рамках третьего защищаемого положения показано, что на оценку влияния контролирующих параметров формы поперечного сечения на напряженное состояние обделки тоннелей криволинейного очертания необходимо выполнять с учетом естественного напряженного состояния породного массива, а также его деформационно-прочностных свойств.

Представленные в работе закономерности формирования напряженного состояния обделки подтверждают правомерность представленного научного положения. Показано, что напряженное состояние грунтового массива, а также деформационные и прочностные характеристики грунтов определяют параметры формы поперечного сечения как для тоннелей квазипрямоугольного поперечного очертания, так и для тоннеля сводчатой формы.

В качестве научной новизны результатов можно отметить разработанный алгоритм оценки влияния параметров тоннелей криволинейного очертания на

напряженное состояние обделки, основанный на проведении многофакторного анализа при различных значениях предварительно выбранных контролирующих параметров расчетной модели, предложенную методику расчета напряженного состояния обделки для тоннелей арочного с обратным сводом и квази-прямоугольных поперечных сечений с учетом нелинейного характера изменения величин отпора породного массива. Также получены закономерности формирования напряженного состояния обделки и предложены аналитические выражения для определения его интегральных показателей для широкого диапазона инженерно-геологических и геомеханических условий.

### **3. Научные результаты, их ценность**

В рамках проведенного исследования автором разработаны алгоритмы оценки влияния геометрических параметров поперечного сечения тоннеля на напряженное состояние обделки для тоннелей квази-прямоугольной и арочной с обратным сводом форм поперечных сечений, позволяющие рассмотреть всевозможные варианты геометрической конфигурации сечения тоннеля и найти оптимальный вариант для рассматриваемых условий. Выполнена реализация разработанных алгоритмов в виде программного решения, разработанного в среде программирования Matlab. Для повышения достоверности прогноза выполнено расширение области применения метода гиперстатических реакций для расчета напряженного состояния обделок тоннелей квази-прямоугольной и арочной с обратным сводом форм поперечных сечений. Применение данного метода полностью обосновано, так как потребность к вычислительным ресурсам у принятого метода низкая по сравнению с более точными методами, что позволяет рассмотреть весь спектр возможных геометрических конфигураций сечения тоннеля за практически обоснованное расчетное время. Получены новые зависимости для расчета отпора крепи с учетом нелинейного деформирования грунтового массива. Установлено, что геометрические параметры поперечного сечения тоннеля оказывают значительное влияние на внутренние усилия в обделке тоннеля как для тоннелей арочной с обратным сводом и квази-прямоугольной форм. При этом геометрические параметры оказывают большее влияние на изгибающий момент, но меньшее на величины нормальных сил. В частности, чем больше радиус свода и обратного свода тоннеля, тем больше изгибающий момент. Поэтому при проектировании поперечного сечения тоннеля необходимо оптимизировать радиусы сводов. Получены новые закономерности влияния характеристик вмещающего массива – модуля деформации, коэффициента бокового давления, глубины заложения тоннеля и толщины обделки, – на напряженное состояние обделки тоннеля квази-прямоугольной и

арочной форм поперечного сечения. Представлена зависимость, показывающая взаимосвязь между геометрическими параметрами квази-прямоугольного тоннеля, модулем деформации грунта, коэффициентом бокового давления, глубиной тоннеля с изгибающим моментом.

В целом можно отметить, что автором диссертационной работы получены новые теоретические решения по оценке влияния различных факторов на напряженное состояния обделки тоннеля, ранее не представленные в научной литературе, что безусловно вносит определенный вклад в развитие теории расчета обделок тоннелей, и соответственно найдет свое применение в практике их проектирования.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 9 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, (далее – Перечень ВАК), в 3 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (указать какие); получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

#### **4. Теоретическая и практическая значимость работы**

К теоретической значимости работы можно отнести новые зависимости для учета нелинейного деформирования грунтового массива при расчете величины его отпора смещению обделки тоннеля, которые были апробированы на примерах решения ряда типовых задач прогноза напряженного состояния обделки тоннеля, а также разработанный алгоритм многовариантного итерационного расчета напряженного состояния обделки для тоннелей арочного с обратным сводом и квази-прямоугольного поперечных сечений.

К практической значимости работы можно отнести полученные закономерности формирования напряженного состояния обделки тоннеля для типовых условий строительства, форм поперечного сечения тоннелей и величин контролирующих параметров формы сечения тоннеля, а также программный код, который можно использовать в качестве основы для разработки программных решений прогноза напряженного состояния обделки тоннелей в многовариантной постановке.

#### **5. Замечания и вопросы по работе**

Основные замечания/пожелания по существу проведенной научной работы:

1. В работе значительное внимание уделено оценке влияния параметров

поперечного сечения на напряженное состояние обделки на основании выполнения многовариантных расчетов. Это позволяет получить представление о том, как влияет изменение геометрических параметров сечения обделки на ее напряженное состояние. В то же время представленные результаты не позволяют сделать вывод о том, какие геометрические параметры сечения тоннеля являются предельными, так как оценка несущей способности обделки в рамках предложенной методики не выполнялась. Рекомендуется в рамках последующих исследований расширить теоретические положения работы по выбору рациональной формы поперечного сечения тоннеля с учетом несущей способности обделки.

2. В работе в качестве метода расчета напряженного состояния обделки принят усовершенствованный метод Метрогипротранса, который объективно подходит для решения многократно повторяющихся задач, так как требования к вычислительным ресурсам значительно меньше по отношению в другим численным методам анализа. Однако, модель, определяющая характер формирования отпора породного массива при деформировании крепи основана на упрощенном представлении деформировании пород и не может быть распространена на все условия строительства. Необходимо выполнить адаптация предложенного метода многовариантного расчета для прогноза напряженного состояния обделки в рамках метода конечных элементов, где поведение породного массива может быть описано произвольной моделью деформирования геоматериала.


3. Отсутствует сопоставление результатов расчетов с результатами инструментальных наблюдений за формированием напряженного состояния в тоннелях криволинейного поперечного очертания для инженерно-геологических условий г. Ханой в социалистической Республике Вьетнам.

Сделанные замечания имеют рекомендательный характер и не влияют на высокую оценку диссертации Нгуен Тай Тиен. Работа выполнена на высоком теоретическом уровне. Полученные результаты являются новыми и имеют научную и практическую значимости. Достоверность результатов не вызывает сомнений и подтверждается их согласованностью с данными, полученными другими исследователями. Это позволяет утверждать, что обозначенные в работе цели и задачи исследования достигнуты, а положения, выносимые на защиту, доказаны.

## **6. Заключение по диссертации**

Диссертация «Геомеханическое обоснование параметров обделки протяженных подземных сооружений криволинейного поперечного сечения», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор **Нгуен Тай Тиен** заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

**Официальный оппонент,**  
Заведующий кафедрой  
строительства подземных  
сооружений и горных предприятий,  
Федеральное государственное  
автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
технологический университет  
«МИСиС» профессор, доктор  
технических наук

 **Панкратенко  
Александр  
Никитович**

09.06.2022

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Почтовый адрес: 119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1.

Официальный сайт в сети Интернет: <https://misis.ru/>


e-mail: [Pankratenko.an@misis.ru](mailto:Pankratenko.an@misis.ru)

Телефон: +7 495 230-24-67

Подпись **Панкратенко Александра Никитовича** заверяю.

М.П.



  
Проректор по  
науке и инновациям  
Гусев Михаил  
Гузисерович