

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора  
**ПАНКРАТЕНКО Александра Никитовича** о 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

### 1. Актуальность темы диссертации

Проектирование и строительство подземных объектов различного назначения требуют выполнения оценки прочности и устойчивости возводимых конструкций (обделок тоннелей, крепи горных выработок), а также окружающего массива пород.

Возведение комплексов подземных сооружений неглубокого заложения закрытым (горным) способом, особенно в районах, отличающихся сложными горно-геологическими условиями и рельефом, выполняется с применением специальных способов строительства, приводящих к возникновению зон технологически неоднородных пород вокруг выработок с существенно отличающимися физико-механическими свойствами.

Мониторинг состояния конструкций подземных сооружений позволяет установить ряд основных факторов, приводящих к изменению напряженно-деформированного состояния элементов геомеханической системы "конструкции подземных сооружений - массив пород", в том числе - к увеличению значений возникающих в них максимальных напряжений, определяющих их прочность. К таким факторам следует отнести наличие наклонной земной поверхности; компактное расположение тоннелей в комплексе; наличие вокруг выработок зон пород с отличающимися деформационными характеристиками и др.

В нормативно-технических документах, регламентирующих проектирование и строительство подземных сооружений, в настоящее время отсутствуют

рекомендации, позволяющие адекватно учитывать влияние на состояние обделок тоннелей (крепи выработок) перечисленных выше факторов. Традиционные инженерные методы расчета подземных конструкций, основанные на подходах строительной механики, для оценки напряженно-деформированного состояния комплексов подземных сооружений, возводимых в непосредственной близости от наклонной земной поверхности, неприменимы.

Компьютерное моделирование с использованием специализированных пакетов, реализующих численные методы, например, метод конечных элементов (МКЭ), применяемые для решения геомеханических задач, несмотря на их широкие возможности и универсальность, не в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым к получаемым результатам. Причинами этого является существенная зависимость результатов расчетов от размеров конечно-элементной области, способах ее разбиения и выборе граничных условий; получение разных результатов при решении конкретной задачи различными специалистами с применением тех же или иных программ; необходимость интерпретации результатов, которая в ряде случаев возможна лишь при наличии решений соответствующих задач строгими аналитическими методами.

Известно, что при обосновании проектов строительства подземных сооружений в настоящее время находят применение аналитические методы определения напряженного состояния обделок тоннелей как глубокого, так и мелко-заложенных, разработанные на единых научных и методологических принципах и положениях геомеханики и механики подземных сооружений о совместной работе подземных конструкций и массива пород, в том числе - предварительно упрочненного или ослабленного при проходке выработок.

Следует отметить, что метода расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах, базирующегося на аналитических решениях соответствующих задач геомеханики, до настоящего времени не имелось. Причиной этого являлось отсутствие соответствующих решений задач геомеханики.

Таким образом, разработка заявленного соискателем метода расчета является актуальной научной задачей, решение которой имеет как научное, так и практическое значение, поскольку будет способствовать дальнейшему развитию и совершенствованию теории аналитических методов расчета, повышению качества проектных решений и строительства.

## **2. Содержание и основные результаты диссертации**

В первом разделе диссертации автором выполнен достаточно подробный обзор научных публикаций, посвященных вопросам применения различных технологий строительства подземных сооружений, приводящих к возникновению зон технологически неоднородных пород, и теме диссертационного исследования - разработке методов расчета и расчету конструкций подземных сооружений, возводимых закрытым способом в технологически неоднородных породах в непосредственной близости к земной поверхности в районах, отличающихся сложным рельефом.

На основе выполненного анализа опубликованных отечественных и зарубежных работ по теме исследования автором сделан вывод об отсутствии разработанных ранее строгих методов, позволяющих производить расчеты комплексов параллельных тоннелей мелкого заложения, сооружаемых в технологически неоднородных породах вблизи склона, но, при этом, теоретические основы, заложенные учеными Тульской школы геомеханики в области разработки аналитических методов расчета конструкций подземных сооружений, позволяют выполнить поставленную задачу.

Автором сформулированы и обоснованы цель и задача исследований, заключающиеся в развитии хорошо зарекомендовавших и апробированных аналитических методов расчета конструкций подземных сооружений, в основу которых положены решения соответствующих задач теории упругости, на случай сооружения комплекса параллельных тоннелей кругового поперечного се-

чения в технологически неоднородных породах вблизи наклонной земной поверхности.

Во втором разделе автором приведены основные теоретические положения математического моделирования взаимодействия элементов единой деформируемой геомеханической системы "массив пород с наклонной земной поверхностью - зоны технологически неоднородных пород - обделки параллельных тоннелей". Они позволили в процессе выполнения диссертационного исследования разработать достаточно эффективную математическую модель, адекватно учитывающую влияние основных факторов на напряженно-деформированное состояние подземных конструкций и массива пород.

Математическая модель, предложенная соискателем, предусматривает выполнение постановки соответствующей задачи теории упругости - выбор и обоснование расчетной схемы, формулирование граничных условий на контакте областей с различными деформационными характеристиками при действии собственного веса пород, установление возможности получения строгого решения поставленной плоской задачи теории упругости на основе применения математического аппарата комплексных потенциалов Колосова-Мусхелишвили, показавшего высокую эффективность.

Расчетная схема задачи представляет полубесконечную линейно-деформируемую среду, моделирующую массив пород в естественном состоянии, с произвольно расположенными круговыми отверстиями, подкрепленными кольцами, моделирующими сечения обделок тоннелей, при наличии вокруг контуров отверстий концентрических областей с отличающимися деформационными характеристиками, которые моделируют зоны технологически неоднородных пород.

В третьем разделе для реализации математической модели диссертационной работы автором выполнен переход к краевой задаче теории аналитических функций комплексного переменного, соответствующей поставленной задаче теории упругости.

Феклиным А.А. с использованием достаточно сложного математическо-

го аппарата, апробированного ранее и предусматривающего применение комплексных потенциалов Колосова-Мусхелишвили, свойств рядов Лорана и аналитического продолжения комплексных потенциалов через границу полуплоскости, впервые получено решение поставленной задачи теории упругости, необходимое для разработки соответствующего метода расчета.

В тексте диссертации достаточно подробно приведены математические выкладки, которые позволяют на каждом шаге решения задачи проконтролировать их справедливость.

Полученное решение положено в основу разработанного алгоритма и метода расчета, реализованных в виде компьютерной программы.

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, обеспечивающих достоверность получаемых результатов - удовлетворение граничных условий с погрешностью, не превышающей 2...3%.

Следует отметить 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 проверки получаемых расчётов с использованием метода конечных элементов.

В четвертом разделе приведён подробный алгоритм определения напряжённого состояния элементов рассматриваемой геомеханической системы, на основе которого разработана компьютерная программа. С её помощью выполнены многовариантные расчеты, проведено детальное компьютерное моделирование процесса формирования напряженного состояния обделок двух параллельных автодорожных тоннелей, пройденных в сложных геологических условиях в горном районе, для двух вариантов компоновки тоннелей - реализованного практически и теоретически возможного, позволившие провести сравнение с опубликованными данными.

На основе многовариантных расчетов для двух тоннелей различной компоновки установлено, что наличие наклонной земной поверхности существенно изменяет напряжённое состояние обделок, заключающееся в кратном увеличении максимальных растягивающих и сжимающих напряжений.

Автором на основании выполненных расчетов установлен ряд интересных с точки зрения формирования напряженного состояния обделок тоннелей - проходка нового тоннеля выше по склону при принятых физико-механических характеристиках пород и материалов обделок приводит к перераспределению напряжений, заключающемуся в снижении максимальных сжимающих и растягивающих напряжений, в том числе - в массиве пород на контуре выработки существующего тоннеля; возведение обделки во втором (новом) тоннеле вызывает рост растягивающих и сжимающих напряжений в обделке существующего.

Выявлено, что при сооружении тоннелей в слабых породах не обеспечивается устойчивость обнажений, это может приводить к возникновению значительных деформаций в массиве пород, вызывающих оползни; наличие значительных растягивающих напряжений в обделках, превышающих расчетное сопротивление растяжению, свидетельствует о возможности образования трещин.

Исследование напряженного состояния обделок тоннелей с учётом наличия зон грунта, подверженного инъекционному укреплению, позволяет утверждать о различной степени влияния этих зон на напряжения, возникающие в обделках верхнего и нижнего тоннелей, при этом более значительное снижение наблюдается в обделке нижнего тоннеля.

Расчеты с учётом отставания возведения обделок от забоя и последовательности проходки тоннелей в слабых породах позволили установить весьма незначительное взаимное влияние тоннелей при выбранных компоновках, объясняемое достаточно большим расстоянием между осями тоннелей и малой величиной модуля деформации пород.

Возведение обделки с отставанием приводит к снижению максимальных сжимающих нормальных тангенциальных напряжений в породе на контуре выработки; растягивающие напряжения - практически исчезают.

Для тоннелей мелкого заложения строительство параллельного тоннеля приводит к "разгрузке" обделки уже существующего, за исключением отдельных установленных радиальных сечений.

Применение укрепительной цементации пород вокруг существующих тоннелей приводит к значительному уменьшению, вплоть до исчезновения, растягивающих напряжений в массиве пород вблизи контура выработки; максимальные сжимающие напряжения в слабых породах практически не изменяются. Появление зон укрепленных пород вокруг обделки одного из тоннелей приводит к незначительному увеличению максимальных растягивающих и сжимающих напряжений в обделке соседнего тоннеля.

В пятом разделе приведены результаты исследования напряженного состояния монолитных бетонных обделок на примере двух параллельных тоннелей кругового поперечного сечения, сооруженных вблизи наклонной земной поверхности закрытым способом в технологически неоднородных породах, при различных сочетаниях основных влияющих факторов. Следует отметить, что автором уточнены как известные, так и установлены новые закономерности формирования напряженного состояния обделок тоннелей при изменении основных влияющих факторов.

### **3. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Достигнутая весьма высокая точность удовлетворения граничных условий на этапе решения задачи теории упругости, полное совпадение результатов, полученных другими авторами на основе аналитических решений для частных случаев, позволяют сделать вывод о корректности и обоснованности разрабо-

танного метода, достоверности результатов, получаемых с использованием компьютерной программы, реализующей разработанный метод.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. При разработке математической модели приняты одинаковыми коэффициенты бокового давления в ненарушенном массиве пород и удельный вес пород в естественном и технологически измененном состояниях, что, по моему мнению, ограничивает область применения предлагаемого метода.

2. В диссертационной работе отсутствуют результаты исследования влияния ползучести грунта на напряженное состояние тоннельных конструкций, которые могут представлять интерес при проектировании объектов.

3. Судя по тексту диссертационной работы, в качестве иллюстраций примеров расчетов, выполненных по разработанному методу, использованы эпюры расчетных нормальных тангенциальных напряжений, возникающих на контурах поперечных сечений обделок. Следовало бы предусмотреть возможность предоставления результатов расчетов в виде изополей напряжений. Считаю целесообразным привести также эпюры расчетных значений внутренних усилий - продольных и поперечных сил, а также изгибающих моментов, использование которых при проектировании регламентировано нормативными документами.

4. Раздел 3 диссертационной работы, по моему мнению, перенасыщен математическими выкладками и преобразованиями, с другой стороны, это подтверждает сложность получения решения, необходимого для построения метода расчета, а также дает возможность проверки и использования полученного решения при решении других задач.

5. Разработанный автором метод расчета применим для обделок тоннелей, вокруг которых зоны технологической неоднородности пород имеют круговую концентрическую форму поперечного сечения, вопрос о возможности использования данного метода для зон иных форм не обсуждается.



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

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 15-ти печатных работах, три из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Таким образом, отмеченное 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 параллельных тоннелей, сооруженных в технологически неоднородных породах вблизи наклонной земной поверхности. Новый метод расчёта позволяет установить или уточнить закономерности формирования напряженного состояния массива пород и обделок, что способствует 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 - Феклин Артём Александрович - заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Панкратенко Александр Никитович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой СПС и ГП  
ИИТТУ «Московский институт стали и сплавов», г.

Москва; 119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1  
pankrat54@bk.ru, +7-926-560-31-03

(подпись)



Панкратенко А.Н. М.П.

07.03.24

## ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н. ПАВЛОВОЙ Наталии Сергеевны  
о 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

### 1. Актуальность темы диссертации

В настоящее время в практике проектирования и расчета подземных сооружений находят широкое применение специализированные программные комплексы, реализующие численные методы решения задач геомеханики, в частности - методом конечных элементов. Этим программам, обладающим универсальностью и возможностью рассмотрения задач как в плоской, так и в пространственной постановках, присущи хорошо известные недостатки, заключающиеся в существенной зависимости результатов расчета от квалификации специалиста, подготавливающего исходные данные для расчета; от вида и размеров используемой конечно-элементной модели; от выбора способов ее закрепления; формулирования граничных условий и т.д. Дополнительные сложности связаны с проблемой повторяемости результатов расчета, выполняемых для одного объекта строительства различными специалистами, либо программами, что требует дополнительной оценки адекватности и достоверности получаемых результатов. Для этого, как правило, используется сравнение полученных результатов с данными натурных или лабораторных исследований, полученных для ранее возведенных сооружений, что не всегда является объективным, либо возможным. Дополнительным, более надежным способом оценки ре-

зультатов численного моделирования является сравнение с данными расчетов, полученными с использованием аналитических методов, базирующихся на аналитических решениях задач геомеханики для частных случаев - решениях задач теории упругости, полученных с использованием математического аппарата теории функций комплексного переменного.

В настоящее время широко известны аналитические методы расчета подземных конструкций, авторами которых являются специалисты Тульского государственного университета - работы Анциферова С.В., Булычева Н.С., Деева П.В., Фотиевой Н.Н., Саммаля А.С., Фомина А.В. и др. Эти методы, разработанные на единой научной и методологической основе, позволяют определять напряженное состояние обделок тоннелей произвольного (кругового или некругового с одной осью симметрии) поперечного сечения глубокого и мелкого заложения на действие статических нагрузок, а также сейсмические воздействия землетрясений, в том числе - методы расчета обделок тоннелей с учетом наличия укрепленной или ослабленной при проходке зоны пород вокруг выработки.

Аналогичного метода расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых закрытым способом вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах, на действие гравитационных сил в массиве не имелось, т.к. отсутствовало соответствующее аналитическое решение задачи геомеханики.

В связи с этим разработка в рамках совершенствования теории и методов расчета конструкций подземных сооружений неглубокого заложения заявленного диссертантом строгого аналитического метода расчета является актуальной задачей, решение которой имеет как научное, так и практическое значение. Использование метода будет способствовать выявлению новых закономерностей формирования напряженного состояния подземных конструкций и массива пород, 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 198 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.

Первая и вторая главы диссертации содержат обзор научных публикаций, посвящённых теме диссертационного исследования. Соискателем приводятся данные о технологиях строительства подземных сооружений, применение которых обуславливает возникновение вокруг выработок зон технологически неоднородных пород с отличающимися деформационными характеристиками; результаты исследований других авторов, позволивших установить форму и размеры этих зон, а так же деформационные характеристики укреплённых или ослабленных пород для отдельных регионов и диапазоны изменения физико-механических характеристик пород.

Несмотря на имеющийся теоретический задел для разработки соответствующего метода, установлено, что метода расчета обделок параллельных тоннелей кругового поперечного сечения, расположенных вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах, до настоящего времени не имелось.

Феклиным А.А. сформулированы основные принципы, положенные в основу математического моделирования процесса формирования напряженного состояния единой деформируемой системы "массив пород с наклонной земной поверхностью - зоны технологически неоднородных пород - обделки параллельных тоннелей", что позволило выполнить постановку задачи теории упругости, осуществить переход к соответствующей краевой задаче теории функций комплексного переменного и в дальнейшем получить её строгое решение.

Автором сформулирована задача о равновесии линейно деформируемой весомой полубесконечной области с наклонной границей, ослабленной конечным числом произвольно расположенных подкреплённых кольцами круговых отверстий, вокруг которых выделены области с отличающимися деформационными характеристиками при соответствующих граничных условиях.

В третьей главе диссертационной работы приведено описание полученного аналитического решения указанной выше задачи, необходимого для реализации математической модели.

Следует отметить, что для решения задачи автор использует хорошо апробированный математический аппарат комплексных потенциалов Колосова-Мухелишвили, теории функций комплексного переменного, аналитического продолжения потенциалов через границу полуплоскости, рядов Лорана и др. Полученное решение, позволяющее определять напряжённое состояние элементов рассматриваемой геомеханической системы, положено в основу разработанного метода расчета.

В четвёртой главе приводится полный алгоритм расчета, реализованный в виде компьютерной программы. С её использованием выполнено исследование погрешности выполнения граничных условий от числа удерживаемых членов, даны рекомендации по выбору их минимального количества, достаточного для достижения требуемой точности. Высокая точность удовлетворения граничных условий поставленной задачи и совпадение результатов с данными расчета в частных случаях, полученными другими авторами, свидетельствует о возможности применения разработанного метода для оценки напряжённого состояния обделок тоннелей при практическом проектировании.

Автором приведены примеры расчетов обделок тоннелей различных компоновок с использованием разработанного метода, иллюстрирующие влияние на формирование напряжённого состояния обделок тоннелей и массива пород угла наклона земной поверхности, глубины заложения тоннелей, расстояния между центрами поперечных сечений выработок, сочетаний размеров и де-

формационных характеристик материалов обделок и областей, моделирующих технологически неоднородные породы.

С использованием разработанной компьютерной программы в пятой главе на основе результатов многовариантных расчетов выполнено исследование зависимостей максимальных растягивающих и сжимающих нормальных тангенциальных напряжений, возникающих на наружных и внутренних контурах обделок двух параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи наклонной земной поверхности в технологически неоднородных породах, при изменении сочетаний основных влияющих факторов.

Представляет интерес вывод о том, что применение обделок, выполненных из бетонов высокого класса наиболее эффективно в слабых породах, хотя и приводит к увеличению расчетных значений возникающих экстремальных напряжений. Установлено, что с ростом коэффициента бокового давления в массиве пород существенно снижаются максимальные растягивающие напряжения в обделках обоих тоннелей; экстремальный характер изменения максимальных сжимающих напряжений - с увеличением коэффициента бокового давления от нуля до 0,4...0,5 наблюдается снижение, а при дальнейшем увеличении данного коэффициента - их увеличение. Наличие вокруг тоннелей зон укрепленных пород приводит к значительному уменьшению растягивающих и стабилизации сжимающих напряжений в обделках обоих тоннелей. Выявлено, что сближение зон технологически неоднородных пород за счёт увеличения их поперечных размеров вокруг параллельных выработок, расположенных вблизи наклонной земной поверхности, приводит к росту значений максимальных растягивающих и сжимающих напряжений в обделках тоннелей. Установлен монотонный характер изменения максимальных растягивающих напряжений в обделке тоннеля, расположенного на меньшей глубине, а также максимальных растягивающих и сжимающих напряжений в обделке более заглубленного тоннеля при изменении угла наклона земной поверхности.

### 3. Обоснованность и достоверность научных положений выводов и рекомендаций

Высокая точность удовлетворения граничных условий (погрешность не превышает 3%) и практически полное совпадение результатов, получаемых в частных случаях, с соответствующими аналитическими решениями других авторов, позволяют сделать вывод о корректности разработанного метода и его компьютерной реализации.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Целесообразно дополнить математическую модель возможностью учёта действия нагрузки на поверхности, моделирующей вес близко расположенных наземных объектов.

2. Представляет интерес объяснение возникновения общей точки пересечения всех графиков, приведённых на рисунке 5.2 текста диссертации.

3. В работе не выполнено исследование для других возможных компоновок тоннелей, равно как и для большего количества тоннелей.

4. При анализе полученных зависимостей и формулировании выводов следовало бы более четко разделять зоны ослабленных, либо упрочненных пород.

В качестве пожелания следует рекомендовать диссертанту продолжение работы в направлении учёта некруговой формы поперечного сечения как самих тоннелей, так и зон технологически неоднородных пород.

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

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

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Основные положения диссертации опубликованы в 15-ти печатных работах, три 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 научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи разработки метода расчета обделок тоннелей, пройденных в технологически неоднородных породах вблизи склона, необходимого для геомеханического обоснования при проектировании комплексов подземных сооружений, возводимых с применением специальных способов строительства.

Работа отвечает 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.

Павлова Наталия Сергеевна

кандидат технических наук,

главный конструктор ООО "ПОПГН "Интеграл",

г. Тула

natali110294@mail.ru, + 8-953-441-49-81

300057, г. Тула, ул. Пузакова, д. 19



(подпись)

05.03.2024г.

*Содержит записку  
Директор ООО "ПОПГН" Интеграл  
С.С. Савельев*

