

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по научной работе,

д-р физ.-мат. наук

Д.В. Зайцев

02

2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный горный университет» на диссертационную работу Голембо Олега Дмитриевича на тему «Обоснование параметров аддитивной технологии крепления вертикальных горных выработок», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины»

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 107 наименований и 1 приложения. Работа изложена на 138 страницах, включает 59 рисунков и 20 таблиц.

Актуальность темы диссертационного исследования

Вертикальные горные выработки находятся, как правило, на критическом пути строительства и реконструкции шахт, и выбор эффективной технологии их сооружения во многом определяет сроки ввода предприятия в эксплуатацию. Одной из наиболее сложных задач современной строительной геотехнологии при этом является крепление стволов и других вертикальных выработок в различных горно-геологических условиях, которое должно обеспечивать безаварийную эксплуатацию подземных объектов в течении всего срока их службы.

Современный опыт развития строительной отрасли связан с широким внедрением роботизированных и аддитивных технологий. Под аддитивными решениями в строительстве принято понимать метод создания трёхмерных несущих конструкций зданий и сооружений путём послойного добавления

материала. Развитие и адаптация подобных технологий для проходки горных выработок является весьма актуальным, однако для их широкого внедрения необходимо решить комплекс задач, связанных, как с теоретическим обоснованием параметров геотехнологий, так и с ее внедрением на практике.

В этой связи выбранная тема исследований, несомненно, является актуальной.

Структура и основное содержание диссертационной работы

Во **введении** отражена актуальность научной темы работы и степень ее разработанности, поставлены цель и задачи исследования, сформулированы научные положения и их новизна, а также описана их практическая значимость.

Первая глава диссертации посвящена анализу современного состояния проблемы применения традиционных и новых геотехнологий строительства вертикальных выработок. Отмечено, что с увеличением глубины выработок более явно проявляются недостатки буровзрывной технологии работ. В частности, наблюдается существенное снижение производительности проходческого подъема, что делает неэффективным применение грейферов большой вместимости, а применение технологических схем крепления со спуском бетонной смеси по трубам приводит к ухудшению качества монолитной бетонной крепи.

К одной из перспективных технологий относится проходка стволов бурением, которая позволяет применять современные технологии возведения крепи, например, аддитивную технологию Binder Jetting – «разбрызгивание связующего» с использованием торкрет-бетонных смесей.

Во **второй главе** рассмотрены вопросы обеспечения устойчивости выработок, сооружаемых способом бурения. Отмечена необходимость использования для решения этой задачи современных геомеханических моделей и рейтинговых классификаций массива пород. В диссертационном исследовании обоснована принята Хука-Брауна, оперирующая такими

интегральными характеристиками, как показатель состояния керна RQD, геологический индекс прочности GSI, а также рейтинг массива пород RMR.

С целью анализа этих параметров выполнена статистическая обработка данных по условиям строительства вертикальных выработок на рудниках России. Установлено, что по показателю состояния керна RQD зоны дробления и весьма слабые нарушенные породы составляют в сумме не более 11 % от общей мощности пересекаемых выработками пород. Дополнительно исследована техногенная нарушенность в окрестности горных выработок с применением геофизических методов. Полученные результаты легли в основу разработки пространственных компьютерных моделей выработок с использованием программного комплекса Midas FEA NX, реализующего метод конечных элементов.

В третьей главе представлены результаты моделирования различных стадий проходки и крепления вертикальных горных выработок способом бурения. Установлено, что общий размер зоны влияния передовой скважины на приконтурный массив не превышает пяти ее радиусов. Максимальные напряжения в приконтурных породах возникают в районах влияния сопряжений и на участках пересечения выработкой слоев низкопрочных пород ограниченной мощности. В пробуренной выработке при этом формируется пять типов нарушенности приконтурных пород. Для каждого из таких участков определено рекомендуемое количество дополнительных слоёв крепи, возводимых по аддитивной технологии.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке методики определения параметров крепления вертикальных выработок, а также технологической реализации аддитивной технологии. Предложенная методика предусматривает привязку параметров крепи к рейтингу массива RMR, при этом в широком диапазоне условий предлагается использование ресурсосберегающих торкрет-бетонных и торкрет-фибробетонных конструкций крепи.

Дополнительно изучены возможные геотехнологические риски и произведена технико-экономическая оценка эффективности предложенной аддитивной технологии крепления выработок.

Описанные структура и содержание диссертации полностью раскрывают идею работы и подтверждают обоснованность и достоверность сформулированных автором трех научных положений, логично вытекающих из текста работы.

Научное значение и практическая ценность диссертации

Научное значение работы заключается в установлении закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния крепи и приконтурного массива пород на различных этапах проходки выработок способом бурения и последующего послойного возведения крепи по аддитивной технологии.

Практическая значимость работы заключается в обосновании параметров аддитивной технологии крепления вертикальных горных выработок, повышающих экономическую эффективность и безопасность проходки выработок в различных горно-геологических условиях.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается большим объемом обработанных статистических данных, сравнением результатов шахтных исследований с архивными данными по проходке стволов, корректным использованием методов математического моделирования с применением специализированных геотехнических комплексов, внедрением разработанных решений на практике.

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития геотехнологии

К наиболее значимым результатам диссертационной работы, развивающим и дополняющим соответствующие разделы геотехнологии, можно отнести:

1. Установленные закономерности формирования характерных участков нарушенности приконтурных пород вокруг вертикальных горных выработок, пройденных способом бурения, позволяющие определять количество дополнительных слоев крепи, возводимой по аддитивной технологии.

Предложенные теоретические подходы и разработанную методику определения параметров крепления вертикальных горных выработок, пройденных способом бурения с применением элементов аддитивной технологии.

3. Выполненную оценку рисков и степени негативного влияния технологических отклонений на несущую способность крепи вертикальных горных выработок, возведенную с применением аддитивной технологии, в различных горнотехнических условиях.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

В работе получен ряд новых результатов, безусловно представляющих интерес для компаний горнодобывающего сектора, в сферу которых входят вопросы строительства и эксплуатации горных выработок.

Результаты и выводы диссертации могут быть рекомендованы для использования в таких организациях, как АО «Уралмеханобр», ПАО «Уралкалий», «Русская медная компания» (РМК), Уральская горно-металлургическая компания (УГМК), ПАО «ГМК Норильский никель», ПАО «ФосАгро» и др.

Публикации и апробация результатов работы

Основные выводы и результаты диссертации отражены в 6 публикациях автора, из которых 4 статьи – в журналах, входящих в перечень ВАК. Материалы диссертации докладывались на ряде международных научных конференций.

Замечания по содержанию диссертационной работы:

1. В диссертации следовало бы более четко сформулировать критерии, при достижении которых технология может считаться аддитивной.

2. Проблемам применения предложенной технологии в неустойчивых породах в диссертации следовало бы уделить особое внимание.

3. Из текста диссертации не совсем понятно, может ли применяться предложенная схема крепления на участках выработок с большими водопротоками.

4. Ценность диссертации несомненно бы возросла, если бы автор опирался на отечественную технику и оборудование для проходки и крепления горных выработок.

5. В четвертой главе диссертации выполнена оценка негативного влияния отклонения оси выработки на угол 10° , при этом не ясно, почему принято именно такое пороговое значение указанного угла отклонения.

Заключение по диссертационной работе

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании теоретических и экспериментальных исследований разработаны новые технические и технологические решения по проходке вертикальных горных выработок способом бурения с последующим послойным возведением крепи с применением современных роботизированных установок и систем лазерного сканирования, что имеет существенное значение для экономики горной отрасли Российской Федерации.

По совокупности представленных в диссертации результатов, актуальности, научной и практической значимости, обоснованности и достоверности основных результатов, а также по объему личного вклада автора, данная диссертация полностью отвечает критериям, установленным п. 2 «Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСИС»,

предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, ее автор, Голембо Олег Дмитриевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины».

Отзыв ведущей организации по диссертационной работе Голембо О.Д. обсужден на заседании кафедры «Шахтного строительства», протокол №7 от «20» февраля 2025 г.

Заведующий кафедрой

«Шахтного строительства», к.т.н., доц.

М.Н. Волков

Ученый секретарь, к.т.н., доц.

Д.В. Прищепа