ISSN 1999-4125 (Print) **ISSN 2949-0642 (Online)**

Научная статья
УДК 622.231::622.235
DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-131-143

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРНОГО СПОСОБА ПРИ СООРУЖЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Гутник Вячеслав Федорович

АО «БТС-ТРЕСТ»

* для корреспонденции: Gutnik.vf@yandex.ru

Аннотация.
Подземные транспортные коммуникации (тоннели и метрополитены) в современном мире являются неотъемлемой частью городской и междугородней инфраструктуры. С каждым годом потребность в сооружении подобных объектов возрастает и на этом фоне происходит рост реализации все новых проектов. Технология проходки напрямую влияет на качество, стоимость, скорость и безопасность ведения работ. В данной статье речь пойдет про особенности горного способа с применением буровзрывных работ (БВР), на примере строительства железнодорожного тоннеля. Будет обозначена проблематика, с которой сталкиваются строители, в первичном обобщении сформулированы задачи по каждому рассмотренному аспекту и намечены пути их решения. Рассмотрены факторы, которые влияют на выбор способа проходки тоннелей и сопутствующих горных выработок, с кратким описанием каждой применяемой технологии. Показаны проблемные ситуации, возникающие при производстве проходческих работ. Выполнен анализ влияния обозначенной проблематики на циклограмму производства работ и описаны причины ее возникновения с приложением фотоматериалов. Рассмотрен каждый параметр применяемого паспорта БВР, варианты его корректировки в различных горно-геологических условиях, а также показана зависимость его составления от современного уровня научно-технического прогресса. На основании рассмотренных данных сформированы критерии, которым должны удовлетворять применяемые методы, для исключения обозначенных недочетов. Спрогнозированы перспективы развития различных отраслей науки с качественным изменением методологического подхода для достижения представленной модели ведения горных работ. Внедрение предложенных мероприятий предполагает комплексное повышение эффективности применения способа БВР при прохождении любых горных выработок, а не только подземных транспортных коммуникаций.

Информация о статье
Поступила:
02 октября 2024 г.

Одобрена после рецензирования:
22 апреля 2025 г.

Принята к публикации:
30 апреля 2025 г.

Опубликована:
11 июня 2025 г.

Ключевые слова:
горный способ; паспорт БВР; тоннель; проходка; шпур; временная крепь; ВВ; набрызг-бетон; КИШ.

Для цитирования: Гутник В.Ф. Анализ применения горного способа при сооружении подземных транспортных коммуникаций // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 2 (168). С. 131-143. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-131-143, EDN: BZIMLQ

Благодарности: *за идею о том, каким будет способ БВР в будущем, выражаю благодарность Пархоменко Николаю Васильевичу, взрывнику, который начал свою трудовую деятельность по профессии 12 декабря 1964 года и работает по сей день.*

Введение

Сооружение объектов транспортной инфраструктуры [1] весьма трудоемко, растянуто во времени на несколько лет и имеет повышенный класс опасности, так как в подавляющем большинстве случаев строительство производится закрытым способом.

Закрытый способ, в свою очередь, подразделяется на механизированный и горный:

Механизированный способ [2] в настоящее время является самым технологичным, быстрым и безопасным методом строительства тоннелей. Его суть заключается в разработке породы вращающимся режущим органом – ротором и сооружении постоянной тюбинговой обделки без необходимости возводить временную крепь. Проходка ведется при помощи щитовых тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) и широко применяется при строительстве перегонных тоннелей метрополитенов, где зачастую присутствуют плывуны, обводненные пески, и горный способ не подходит для проходки без дополнительной стабилизации грунтов. Помимо этого, механизированный способ оказывает минимальное воздействие на дневную поверхность и близлежащие коммуникации, что в условиях городской застройки имеет первостепенное значение. Кроме метрополитенов, механизированный способ применяется на строительстве автодорожных и железнодорожных тоннелей. Существенным параметром при этом является экономическая составляющая: положительная рентабельность проекта обеспечивается длинной тоннеля (либо группой тоннелей на участке строительства) не менее 2 км. Такая зависимость обусловлена высокой стоимостью доставки ТПМК к месту монтажа и его последующей сборки, для которой необходимы крановые установки грузоподъемностью от 750 тонн. Однако механизированный способ имеет технологические ограничения и ряд выработок может быть сооружен только горным способом.

Горный способ [3] является классическим методом проходки тоннелей, возник еще в XIX веке и до настоящего времени не утратил своей актуальности. Более того, технология проходки постоянно совершенствуется в соответствии с современным уровнем развития науки и техники. Суть горного способа заключается в разработке породы с устройством временной крепи, под защитой которой возводится постоянная обделка. Данный способ применяется в различных горно-геологических условиях (ГГУ) и по степени механизации условно разделяется на три вида: ручной, буровзрывной (БВР), с использованием средств механизации. Как правило, эти три способа дополняют друг друга либо являются комбинированными. Преимуществом данного способа является его универсальность и возможность устройства практически любых горных выработок. Например, при строительстве метрополитенов межтоннельные сбойки возможно выполнить только горным способом. В случае, если тоннель проложен в обводненных неустойчивых породах, производится стабилизация грунтов, после которой начинаются проходческие работы. К недостаткам данного способа можно отнести невысокую скорость проходки с сооружением постоянной обделки, высокую трудоемкость и повышенный риск обрушения горных пород при проходке.

Выбор технологии проходки тоннеля горным способом

Выбор технологии, по которой будет вестись проходка, выбирают в зависимости от геологических, географо-экономических условий и масштабов проходческих работ:

1. Ручной способ с использованием лопат, кайл, ломов, клиньев и кувалд применим преимущественно в слабых породах $f < 3$ и небольших сечениях выработки $S=15\text{-}20$ м². Также ручной способ используется при устранении недоборов по контуру выработки после проведения буровзрывных работ (БВР).
2. Проходка с использованием средств механизации, таких как проходческие комбайны и горные экскаваторы, применяется в породах средней крепости $f=4\text{-}8$. Также может быть использован комбинированный способ проходки: буровзрывным способом разрушается ядро выработки – около 80% от общего объема заходки, а контур доводится до проектной геометрии с помощью средств механизации, например шарошкой проходческого комбайна.
3. Способ БВР применяется в скальных и полускальных породах $f >8$. Суть метода заключается в следующем: на основании Паспорта БВР (Рис. 6) производится бурение шпуров определенного диаметра и длины, которые заполняются взрывчатым веществом (ВВ), и посредством средств инициирования (СИ) осуществляется взрыв, который разрушает горную породу.

Особенности применения способа БВР [4, 5]

Соблюдение чернового проектного контура тоннеля при ведении проходческих работ – очень важное условие. Отклонения от геометрических параметров могут быть следующие:

1. *Недоборы* (Рис. 1) – это остатки неразработанной породы после проведения БВР, попадающие по контуру выработки в габарит временной крепи. При этом появляется необходимость дорабатывать контур до проектной геометрии, чтобы впоследствии соблюдалась требуемая толщина временной крепи. Доработка может производиться как вручную, так и при помощи средств механизации. Также возможно произвести дополнительные БВР по недоборам. В любом случае это занимает определенное время и ведет к увеличению времени цикла. Причины недоборов могут быть следующие:

1 - Недоборы грунта по штроссе тоннеля. Из за несоблюдения габарита мешают смонтировать арматурные арки временной крепи. Необходима доработка.

2 - Арматурные арки временной крепи. После монтажа арок, поверх них наносится слой набрызг-бетона.

Рис. 1. Недоборы
Fig. 1. Shortages

1 - Переборы грунта по полусводу тоннеля.

2 - Арматурные арки временной крепи. Выставляются на минус 5 см от проектного конрура временной крепи. После монтажа арок, поверх них наносится слой набрызг-бетона.

Рис. 2. Переборы
Fig. 2. Iterations

a. Увеличение крепости части вмещающих пород в пределах длины разрабатываемой заходки.

b. Несоблюдение паспорта БВР.

c. Неверное составление паспорта БВР с учетом горно-геологических условий.

d. Отказ ВВ в шпурах.

2. Переборы (Рис. 2) – это излишне разработанная порода после проведения БВР, выходящая за пределы чернового контура выработки. При переборах породы увеличивается объем отбитой горной массы, что ведет к увеличению времени откатки и объема бетона временной крепи, так как в месте

перебора увеличивается ее толщина. Вместе с этим повышаются трудозатраты, затраты на материалы, расходы на работу машин и механизмов (МиМ) и увеличивается время цикла.

осталась неразработанной после проведения взрывных работ. Чем ниже КИШ, тем меньше продвиг забоя за один цикл взрывных работ и тем больше суммарная длинна повторно перебуриваемых шпуров на подготовленном

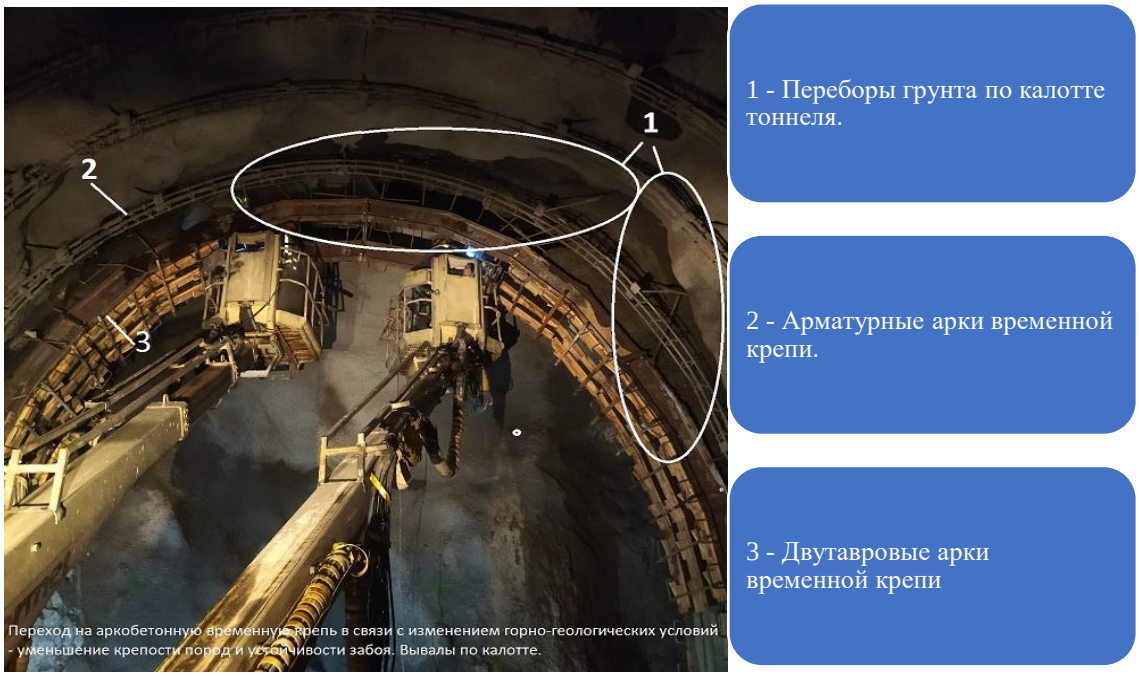

Рис. 3. Переход на другой тип временной крепи
Fig. 3. Transition to another type of temporary support

Причины переборов могут быть следующие:

a. Уменьшение крепости части вмещающих пород в пределах длины разрабатываемой заходки. Данный фактор может привести к значительному вывалу и вызвать необходимость перехода на другой тип временной крепи (Рис. 3).

b. Трещиноватость.

c. Вывал по контакту литологических разностей.

d. Несоблюдение паспорта БВР.

e. Неверное составление паспорта БВР с учетом горно-геологических условий.

Кроме соблюдения геометрического контура выработки, другим важным параметром является длина уходки забоя за один цикл взрывных работ. Данный фактор напрямую влияет на скорость проходки и зависит от коэффициента использования шпура (КИШ).

2. *КИШ* – это отношение величины продвига забоя за один взрыв к средней глубине шпуров. На примере паспорта БВР (Рис. 7):

КИШ = $l_{зах}$ / $l_{шп}$ = 1,79 / 2,1 = 0,85

Взрыв считается удовлетворительным, если значение КИШ находится в интервале 0,8 – 0,95. Определить длину уходки забоя до маркшейдерской съемки, можно рулеточным промером «стаканов» после откатки породы и оборки заколов (Рис. 4). Термин «стакан» в данном случае означает часть шпура, которая

ранее участке; кроме этого, происходит увеличение количества ВВ, необходимого для повторного отбоя породы. Причины низкого КИШ < 0,8 идентичны причинам недоборов. Надо отметить, что на практике встречаются случаи, где КИШ > 1 – это возможно в слабых, сильно-трещиноватых породах, где отбой массива происходит по трещинам, которые находятся за пределами длины разрабатываемой заходки и энергии взрыва хватает, чтобы обрушить впереди лежащие породы на расстояние, превышающее среднюю глубину шпуров на 10-15%, в пределах контура выработки. Однако возможны случаи, когда трещиноватость выходит за пределы контура выработки и образуются вывалы породы.

Все вышеперечисленные факторы влияют на циклограмму производства работ (Рис. 8), увеличивая нормативное время выполнения отдельных операций. За счет этого снижается производительность труда в целом, увеличиваются сроки выполнения работ и растет себестоимость. Наибольшее влияние на качество взрыва оказывает паспорт БВР, так как именно в нем рассчитаны все параметры, согласно которым производится подготовка забоя, заряжание по принципиальной схеме и сборка взрывной сети с определенной логической последовательностью. Именно методология его составления и подход к реализации, которые

обусловлены современным уровнем науки и техники, являются определяющими факторами эффективности буровзрывных работ в целом. Рассмотрим данный вопрос подробнее.

Паспорт БВР

На практике перед тем, как принять в производство работ паспорт БВР [6], необходимо провести порядка 10-15 испытаний в различных вариациях исполнения для определения оптимальной схемы, которая будет обеспечивать достижение требуемого результата. Основные параметры, влияющие на качество взрыва, следующие:

1. *Схема бурения забоя* (схема № 1 в паспорте БВР) определяет шаг, угол наклона и глубину шпуров. Шпуры разделяются на три типа – врубовые, отбойные и оконтуривающие:

a. Вруб – основополагающая часть подготовленного к взрыву забоя. Представляет из себя комплекс шпуров, расположенных в центре забоя, которые взрываются первыми. Схема размещения врубовых шпуров называется *типом вруба*. По принципу действия врубы разделяются на *разрушающие* (шпуры забурены параллельно под углом 90° к плоскости забоя), *отрывающие* (шпуры забурены под углом к плоскости забоя, образуя клин) и *комбинированные*. В данном паспорте представлен комбинированный клино-щелевой тип вруба. Задача вруба – обнажить дополнительную свободную поверхность на глубину разрабатываемой заходки, которая обеспечивает полезное действие отбойных шпуров. На схеме № 1 врубовые шпуры пронумерованы от 1 до 13. Они, как правило, на 10-20 см длиннее отбойных – таким образом, достигается максимальный эффект от работы последних. Для достижения большего эффекта между шпурами 5-3, 3-1, 1-2, 2-4 пробурены компенсационные скважины Ø = 75 мм, которые не заряжаются и выполняют функцию дополнительной обнаженной поверхности. Как видно из Таблицы № 5, вруб разделен на 5 серий короткозамедленного взрывания (КЗВ) с интервалом от 0 до 300 мс. Для повышения эффективности работы вруба возможно использование более мощного ВВ, чем в остальных шпурах.

b. Отбойные шпуры – предназначены для отбоя породы в сторону полости, образованной врубовыми шпурами. Разрабатывают основную массу породы в пределах заходки. Эффективность работы зависит от качества срабатывания врубовых шпуров – глубина

1 - Наличие "Стаканов" после проведения БВР, откатки породы и оборки заколов по лбу забоя и контуру выработки.

Рис. 4. Оборка заколов. «Стаканы» после взрыва
Fig. 4. The frill of the pins. "Glasses" after the explosion

уходки будет меньше либо равна глубине уходки врубовой части:

КИШотб <= **КИШ**вр

Пронумерованы от 14 до 77, разделены на 8 серий КЗВ с интервалом от 400 до 3000 мс. Также возможно бурение компенсационных (не заряжаемых) шпуров в случае снижения КИШ.

c. Оконтуривающие шпуры – обеспечивают отбойку породы по контуру сечения выработки, взрывают в последнюю очередь. В крепких породах обуриваются по контуру выработки, чтобы исключить недоборы. Чем мягче порода, тем больше данные шпуры отстоят от контура, чтобы исключить переборы. В данном паспорте расстояние между шпурами и контуром выработки составляет 150 мм, обурены под углом 88° к плоскости забоя; между основными шпурами расположены компенсационные. Эффективность зависит от срабатывания отбойных шпуров по описанному выше принципу. Пронумерованы от 78 до 111, разделены на 5 серий КЗВ с интервалом от 4000 до 7000 мс.

Важным фактором является контроль за точным исполнением принятой схемы бурения: соблюдением угла наклона шпуров, длины и расположения. Нарушение любого параметра ведет к уменьшению КИШ.

2. *Выбор ВВ* – напрямую зависит от крепости пород. При прочих равных условиях применяют те ВВ, которые более безопасны в обращении, имеют меньшую стоимость и позволяют механизировать процесс заряжания. Окончательно ВВ выбирают после проведения опытных взрывов с использованием сравниваемых ВВ на основе сопоставления фактических технико-экономических показателей по опытным взрывам. В данном случае используется аммонит 6 ЖВ, патронированный, диаметр патрона 32 мм.

3. *Схема взрывания* – определяет очередность взрывания шпуров, количество серий замедления, интервалы замедления, конструкцию заряда в шпуре, конструкцию патрона-боевика, конструкцию взрывной сети для инициирования ВВ:

a. Патрон-боевик (схема 3 в паспорте БВР) состоит из капсюля-детонатора ИСКРА-Ш, который вставляется в торец патрона ВВ.

b. Капсюль-детонатор (КД) ИСКРА-Ш предназначен для замедления инициирования боевиков шпуровых и скважинных зарядов при взрывных работах (Таблица 5). Представлено в 51 серии замедления – от мгновенного до 10 000 мс. Серийность взрывания позволяет снизить сейсмическое воздействие взрыва, обеспечивает более эффективную работу энергии взрыва, снижает разлет породы, уменьшает количество заколов по сравнению с мгновенным взрыванием.

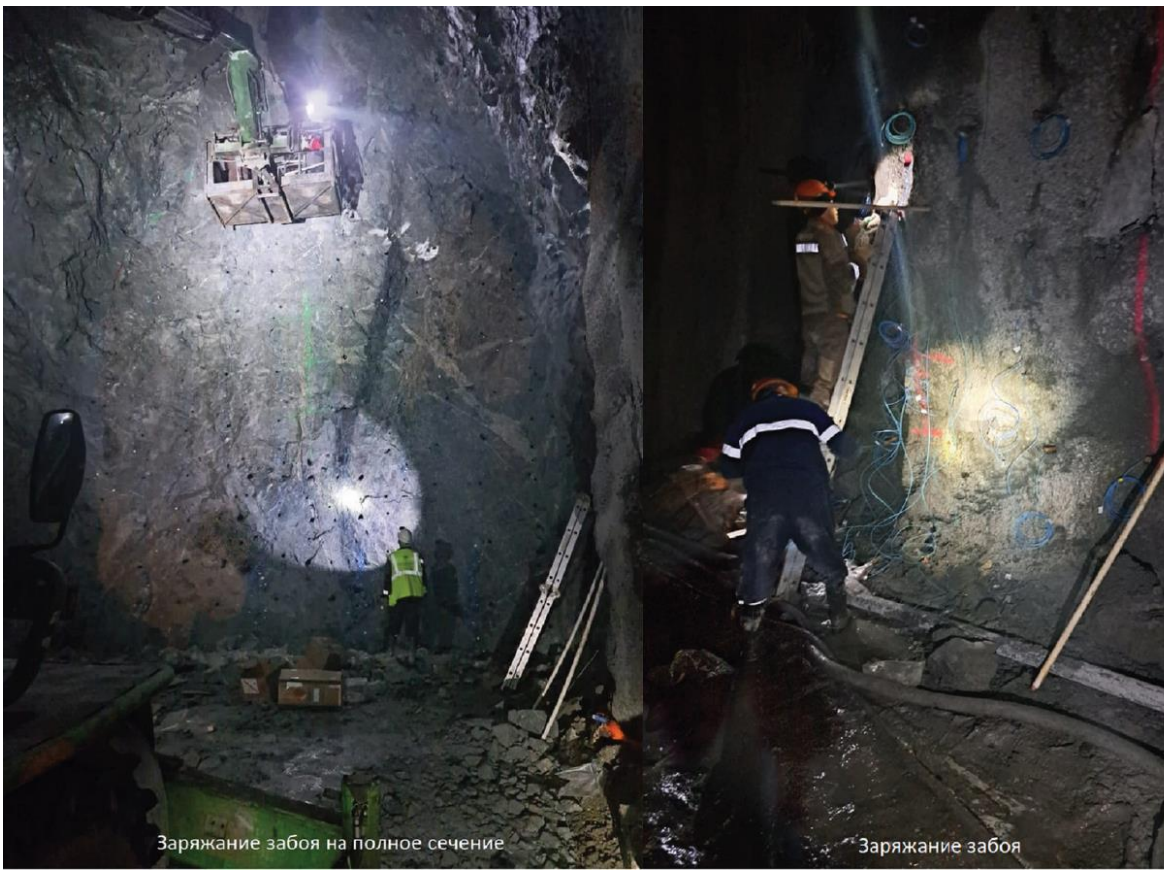

Рис. 5. Заряжание забоя
Fig. 5. Charging the face

с. *Волновод* является основным элементом системы НОНЕЛЬ – неэлектрического инициирования зарядов. Представляет собой полый пластиковый шнур, внутренняя поверхность которого покрыта тонким слоем взрывчатой смеси. При инициировании воздушная ударная волна распространяется по каналу шнура со скоростью 2 км/с. Ударная волна передает энергию, которой достаточно для инициирования КД, закрепленного на одном из концов шнура-волновода.

d. Конструкция заряда шпура (схема 4 в паспорте БВР). Заряжание забоя (Рис. 5) выполняется после продувки шпуров.

Затем шпур на всю длину заряжается патронами ВВ. Детонация патронам в шпуре передается от патрона-боевика, который взрывается первым.

а. *Схема взрывной сети* (схема 2) – показывает систему соединения волноводов от каждого шпура в общую сеть. К краю этой сети подсоединяется электродетонатор ЭД-1-8-Т, от которого идет магистральный провод ВП 2*0,8 к месту укрытия взрывника. Данный провод соединяется с прибором СКИ-2500, посредством которого подается импульс для инициирования всей сети.

В целом выбранная технология производства БВР определяет скорость ведения проходки, качество взрыва, безопасность труда и итоговую себестоимость работ.

Перспективы развития методологического подхода к применению способа БВР

Для прогноза перспектив совершенствования данного способа необходимо сформировать основные задачи с учетом обозначенной проблематики, а также наметить возможные пути их решения, взяв за основу развитие научно-технического прогресса:

1. Совершенствование способов геологоразведки [7] *забоя перед бурением.* При ведении проходческих работ горно-геологические характеристики забоя периодически меняются. Забой зачастую неоднороден (Рис. 6) и состоит из пород разной крепости и устойчивости.

При этом возникает необходимость корректировки паспорта БВР, так как при прочих равных условиях КИШ в породах разной крепости будет разным. Так, в более мягких породах шпуры следует бурить короче и отдалять от контура выработки во избежание переборов, а в более крепких – наоборот. Для этого нужна информация о геологических характеристиках забоя в пределах разрабатываемой заходки и чем подробнее будет эта информация, тем качественнее может быть скорректирован паспорт БВР. В данном случае геологоразведка была выполнена одной скважиной Ø=76 мм, с которой был взят керн на глубину 150 п. м. Скорость бурения составляет порядка 20-30 м/сут, таким образом вся скважина

Рис. 6. Литологические разности на забое
Fig. 6. Lithological differences at the bottom

обуривается за 5-7 суток. Во избежание простоя по проходке, во время бурения буровая установка устанавливается в призабойной зоне в специально разработанной камере по борту выработки, под небольшим углом к оси тоннеля, который обеспечивает взятие керна в пределах разрабатываемой породы. По сути, одна скважина не отражает объективной картины залегающих впереди пород – в рассматриваемом случае скважина может пройти только по крепким породам, либо только по слабым. Бурить несколько подобных скважин нет возможности из-за необходимости ведения проходческих работ с установленной скоростью для обеспечения рентабельности.

Таким образом, имеется необходимость быстрого и качественного исследования забоя на глубину 3-5 п. м с получением краткосрочного результата для возможности его оперативного использования. Пути решения данной задачи связаны с развитием следующих направлений:

a. Геофизические методы исследований [8] – разработка новых методологий и совершенствование применяемой аппаратуры.

b. Совершенствование методов разведочного бурения [9]. Например, наличие на буровой машине нескольких стрел с коронками для взятия керна в разных точках забоя на глубину разрабатываемой заходки.

c. Развитие программного обеспечения для обработки полученной информации.

2. Корректировка паспорта БВР в каждом цикле выполнения работ. В рассматриваемом паспорте БВР длина всех шпуров, кроме врубовых, одинаковая, диаметр одинаковый, расстояние в сетке бурения строго регламентировано, используется один тип ВВ; 111 шпуров разбиты на 18 серий взрывов. При корректировке паспорта БВР в настоящее время изменяется длина группы шпуров, сеть их сгущения с сохранением примерно одинаковых расстояний между шпурами и серийность взрыва группы шпуров. Для достижения максимального КПД от энергии взрыва необходим индивидуальный подход к выполнению БВР на основании точных данных о горно-геологических характеристиках забоя в пределах разрабатываемой заходки:

a. *Индивидуальная длина шпуров*. В случае ситуации, показанной на Рис. 6, при одинаковой длине шпуров часть забоя со слабыми породами после взрыва «уйдет» вперед относительно более крепких пород и забой придется выравнивать в следующем цикле, что создает дополнительные сложности. Индивидуальная длинна каждого шпура позволит обеспечить плоскость забоя.

b. *Сетка бурения шпуров с индивидуальным шагом* позволит обеспечить именно то количество шпуров, которое необходимо для разработки забоя. Например, для разрушения массива слабых пород необходимо меньшее количество шпуров, чем для крепких. Также это позволит обеспечить максимальное приближение к проектному контуру без переборов и недоборов.

c. *Разный диаметр шпуров.* Позволит закладывать разное количество ВВ для регулировки разрушающей энергии каждого заряженного шпура.

d. *Применение нескольких видов ВВ с разной мощностью взрыва.* Позволит создать именно ту энергию взрыва, которая необходима для разрушения породного массива в зоне действия шпура. Так, в части забоя с крепкими породами необходимо заряжать более мощное ВВ, а на участке забоя с мягкими породами – менее мощный вид ВВ. При этом разные виды ВВ должны быть однотипны по способу заряжания и внешним характеристикам.

e. *Взрывание каждого шпура отдельной короткозамедленной серией.* В рассматриваемом паспорте БВР в отдельной серии КЗВ одновременно взрывается до 13 шпуров. При этом образуются ударные и сейсмические волны определенной величины. При строительстве второго тоннеля, который прокладывается параллельно действующему первому, существует ограничение по сейсмической волне, которая возникает от взрыва и не должна представлять опасности для близлежащего сооружения. Данное ограничение определяет максимальное количество ВВ, которое может быть одновременно взорвано в забое, а максимальное количество ВВ в забое определяет максимальную длину уходки тоннеля за один цикл работ. На практике максимальная длина уходки, при которой КИШ будет удовлетворительным, может быть определена по следующему принципу: длина уходки меньше, либо равна половине ширины основания выработки:

Lух **<= В**осн**/2**

В рассматриваемом примере ограничение по количеству ВВ составляло не более 150 кг на весь забой, которое не позволяло увеличить длину заходки до 3 п. м при ширине основания тоннеля 7 метров. Поочередное взрывание каждого шпура позволило бы в 13 раз снизить воздействие ударной и сейсмической волны.

В настоящее время применение описанных выше методов технологически возможно, но потребует значительного времени и трудозатрат для проведения одного цикла взрывных работ.

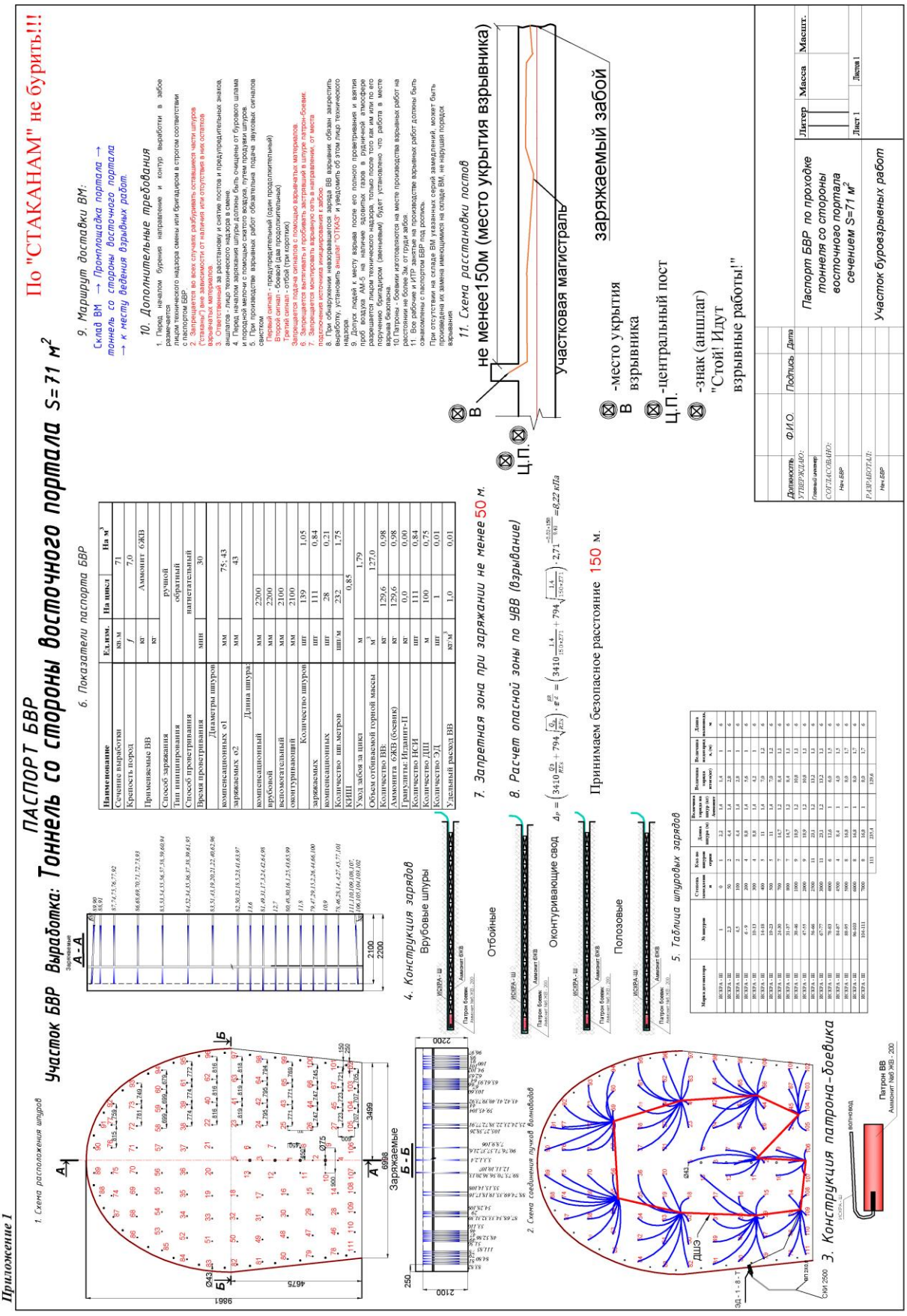

Рис. 7. Паспорт БВР по проходке тоннеля со стороны восточного портала сечением S=71 м²
Fig. 7. BVR passport for tunneling from the eastern portal section S=71 m²

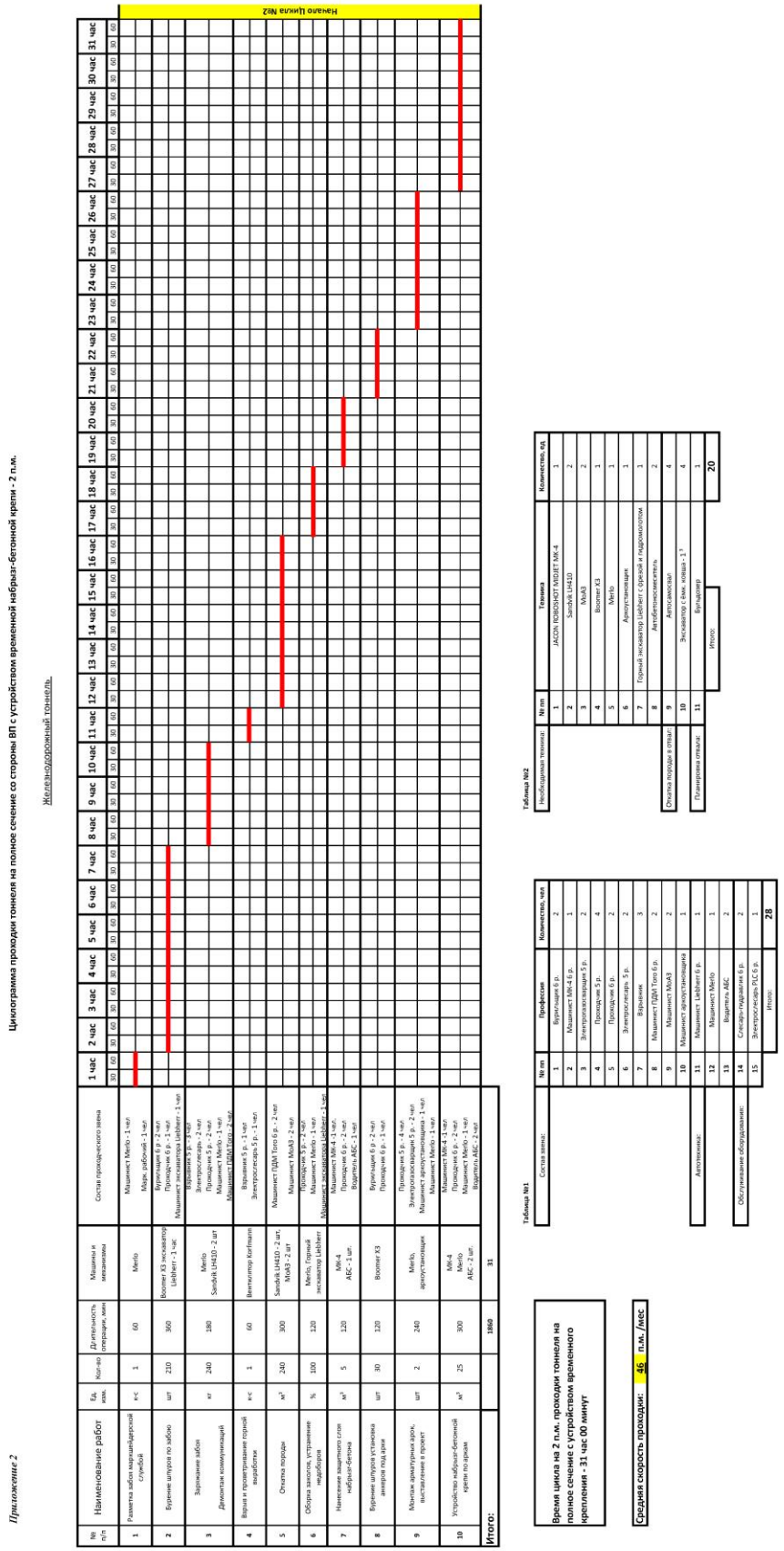

Рис. 8. Циклограмма проходки тоннеля на полное сечение со стороны ВП с устройством временной набрызг-бетонной крепи - 2 п.м.

Fig. 8. The cyclogram of the tunnel passage for the full cross-section from the side of the VP with a temporary spray-concrete support device is 2 p.m.

Поэтому при современном уровне науки и техники данная методология фактически не применима. Для решения данной задачи необходима полная механизация всех процессов производства БВР и развитие следующих направлений:

- Развитие горной техники. В частности, необходима буровая машина с возможностью автоматической замены бурового инструмента для бурения шпуров разного диаметра.
- Разработка программного обеспечения [10], которое позволит на основании полученных данных о геологическом строении забоя, рассчитать оптимальные параметры, составить схему бурения, заряжания и в автоматическом режиме выполнить эти операции.
- Разработка универсального типа ВВ [11], которое возможно применять в шпурах разного диаметра. Как вариант, это применение пастообразного, гелеобразного либо сыпучего типа ВВ.
- Механизация заряжания забоя. Необходимо наличие зарядной горной техники, которая в автоматическом режиме на основе примененной схемы бурения и данных о геологическом строении забоя выполнит заряжание нужного типа ВВ в каждый шпур, с установкой серий замедления и монтажом взрывной сети.

Заключение

Таким образом, рассмотрен практический пример применения горного способа посредством БВР. Выявлены отклонения и недочеты, возникающие при выполнении работ. Разобраны причины их возникновения и наглядно представлены негативные последствия описанных ситуаций. Показана прямая зависимость негативных факторов на скорость и стоимость производства работ. Сформулированы требования, которым должна удовлетворять каждая операция в цикле производства буровзрывных работ для исключения имеющихся недостатков. Предложена методология, внедрение которой позволит вывести горный способ на качественно новый уровень, повысить культуру производства и более рационально использовать имеющиеся в наличии ресурсы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков В. П., Наумов С. Н., Пирожкова А. Н., Храпов В. Г. Тоннели и метрополитены // Транспорт. Москва. 1975.

2. Меркин В. Е. [и др.] Сооружение тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами с использованием высокоточной обделки // Национальное объединение строителей, стандарт организации, освоение подземного пространства. СТО НОСТРОЙ 2.27.19-2011. Издание официальное, Москва, 2012 г.

3. Меркин В. Е. [и др.] Строительство подземных сооружений горным способом с применением обделок из набрызг-бетона. // Национальное объединение строителей, стандарт организации, освоение подземного пространства. СТО НОСТРОЙ 2.27.128-2013. Издание официальное, Москва, 2015 г.

4. Эстеров Я. Х., Бродов Е. Ю., Иванаев М. И., Дзасохова Л. В. Буровзрывные работы на транспортном строительстве. // Транспорт. Москва. 1966. 399 с.

5. Трушко О. В. [и др.] Строительство горных предприятий. Буровзрывной способ проведения горизонтальных горных выработок. Методические указания к практическим занятиям // Санкт-Петербургский горный университет. 2019. 23 с.

6. Меркулов А. В., Сильченко Ю. А., Скориков В. А. Проектирование паспортов буровзрывных работ при проходке горных выработок: Учебное пособие / Шахтинский институт ЮРГТУ. Новочеркасск : ЮРГТУ, 2002. 70 с.

7. Корабельников Н. А., Зинюков Ю. М. Методы инженерно-геологических исследований: Учебное пособие. Воронежский государственный университет. Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2021. 134 с.

8. Хмелевской В. К., Попов М. Г., Калинин А. В., Горбачев Ю. И., Шевнин В. А., Фадеев В. Е. Геофизические методы исследования // Под редакцией В. К. Хмелевского. М. : «Недра», 1988.

9. Лукьянов В. Г., Крец В. Г. Горные машины и проведение горно-разведочных выработок: учебник для вузов // 2-е изд. Москва : Издательство Юрайт, 2024. 342 с.

10. Соснин О. М., Шевырев Ю. В., Шевырева Н. Ю. Автоматизация горных машин и установок: учебник. М. : Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2019. 320 с.

11. Эквист Б. В. Технология и безопасность взрывных работ: учебник. М. : Издательский Дом НИТУ «МИСиС», 2021. 175 с.

12. Кирсанов А. К. [и др.] Методика расчета параметров буровзрывных работ при проходке горизонтальных и наклонных выработок // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им Г. И. Носова. 2014. № 4 (48). С. 5–9.

13. Кирсанов А. К. [и др.] Обзор существующих методик расчета параметров зон разрушения породного массива // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=19369 (дата обращения: 18.10.2024)

14. Кирсанов А. К. [и др.] Совершенствование методики расчета параметров буровзрывных работ при строительстве горизонтальных и наклонных горных ввработок на примере рудников ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» // Журнал Сибирского

федерального университета. Техника и Технологии. 2015. Т. 8. № 4. С. 396–405.

15. Kirsanov A. K. [и др.] Destruction of rock upon blasting of explosive agent // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12. № 13. Pp. 3978–3986.

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии CreativeCommons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:
Гутник Вячеслав Федорович, главный инженер ОП АО «БТС-ТРЕСТ» «Строительство Дуссе-Алиньского тоннеля Дальневосточной железной дороги». Gutnik.vf@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:
Гутник Вячеслав Федорович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, написание текста, выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF THE MINING METHOD IN THE CONSTRUCTION OF UNDERGROUND TRANSPORT COMMUNICATIONS

Vyacheslav F. Gutnik

Joint-Stock Company "BTS-TRUST"

* for correspondence: Gutnik.vf@yandex.ru

Article info
Received:
02 October 2024

Accepted for publication:
22 April 2025

Accepted:
30 April 2025

Published:
11 June 2025

Keywords: *mining method; BVR passport; tunnel; sinking; hole; temporary support; BB; spray-concrete; KISH.*

Abstract.
Underground transport communications (tunnels and subways), in the modern world, are an integral part of urban and intercity infrastructure. Every year the need for the construction of such facilities increases and against this background there is an increase in the implementation of new projects. The sinking technology directly affects the quality, cost, speed and safety of work. In this article, we will talk about the features of the mining method using drilling and blasting (BVR), using the example of the construction of a railway tunnel. The problems faced by builders will be outlined, tasks for each aspect considered will be formulated in the primary generalization and ways to solve them will be outlined. The factors that influence the choice of the method of tunneling and related mining are considered, with a brief description of each technology used. The problematic situations that arise during the production of tunneling work are shown. The analysis of the influence of the identified issues on the work cycle is performed and the causes of its occurrence are described, with the application of photographic materials. Each parameter of the applied BVR passport is considered, options for its adjustment in various mining and geological conditions, and the dependence of its compilation on the current level of scientific and technological progress is shown. Based on the data reviewed, criteria have been formed that must be met by the methods used to eliminate the identified shortcomings. The prospects for the development of various branches of science are predicted, with a qualitative change in the methodological approach, in order to achieve the presented model of mining operations. The implementation of the proposed measures involves a comprehensive increase in the efficiency of the BVR method, during the passage of any mining operations, and not only underground transport communications.

For citation: Gutnik V.F. Analysis of the application of the mining method in the construction of underground transport communications. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 2(168):131-143. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-131-143, EDN: BZIMLQ

Thanks: *for the idea of what the BVR method will be in the future, I express my gratitude to Nikolai Vasilyevich Parkhomenko, an explosives expert who began his career by profession on December 12, 1964 and works to this day.*

REFERENCES

1. Volkov V.P., Naumov S.N., Pirozhkova A.N., Khrapov V.G. Tunnels and subways. *Transport.* Moscow, 1975.

2. Merkin V.E. [et al.] Construction of tunnels by tunneling mechanized complexes using high-precision lining. *National Association of Builders, standard of organization, development of underground space.* STO NOSTRA 2.27.19-2011. Official publication. Moscow, 2012.

3. Merkin V.E. [et al.] Construction of underground structures by mining with the use of sprayed concrete linings. *National Association of Builders, standard of organization, development of underground space. STO* NOSTRA 2.27.128-2013. Official publication. Moscow, 2015.

4. Esterov Ya.X. [et al.] Drilling and blasting operations in transport construction. *Transport.* Moscow, 1966. 399 p.

5. Trushko [et al.] Construction of mining enterprises. Drilling and blasting method of horizontal mining. Methodological guidelines for practical exercises. *St. Petersburg Mining University.* 2019. 23 p.

6. Merkulov A.V. [et al.] Design of passports for drilling and blasting operations during mining: A textbook. Shakhty Institute of YURSTU. Novocherkassk: YURSTU; 2002. 70 p.

7. Korabelnikov N.A., Zinyukov Y.M. Methods of engineering and geological research: A textbook / Voronezh State University. Voronezh: VSU Publishing House; 2021. 134 p.

8. Khmelevskoy V.K., Popov M.G., Kalinin A.V., Gorbachev Yu.I., Shevnin V.A., Fadeev V.E. Geophysical research methods. Edited by V.K. Khmelevsky. M.: "Nedra"; 1988.

9. Lukyanov V.G., Kretz V.G. Mining machines and conducting mining and exploration workings: textbook for universities // 2nd ed. Moscow: Yurait Publishing House; 2024. 342 p.

10. Sosnin O.M., Shevyrev Yu.V., Shevyreva N.Yu. Automation of mining machines and installations: textbook. M.: Ed. The house of NUST MISIS; 2019. 320 p.

11. Ekvist B.V. Technology and safety of blasting operations: textbook M.: Publishing House of NUST MISIS; 2021. 175 p.

12. Kirsanov A.K. [et al.] Methodology for calculating the parameters of drilling and blasting operations during the sinking of horizontal and inclined workings. *Bulletin of the Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov.* 2014; 4 (48):5–9.

13. Kirsanov A.K. [et al.] Review of existing methods for calculating parameters of rock mass destruction zones. *Modern problems of science and education.* 2015. № 1-1. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=19369 (date of reference: 10/18/2024).

14. Kirsanov A.K. [et al.] Improvement of the methodology for calculating the parameters of drilling and blasting operations during the construction of horizontal and inclined mine workings on the example of the mines of the ZF of OJSC MMC Norilsk Nickel. *Journal Siberian Federal University. Engineering and Technology.* 2015; 8(4):396–405.

15. Kirsanov A.K. [et al.] Destruction of rock upon blasting of explosive agent. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.* 2017; 12(13):3978–3986.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Vyacheslav F. Gutnik, Chief Engineer of the Joint-Stock Company "BTS-TRUST" "Construction of the Dusse-Alin tunnel of the Far Eastern Railway", Gutnik.vf@yandex.ru

Contribution of the authors:

Vyacheslav F. Gutnik – formulation of a research task, scientific management, conceptualization of research, data collection and analysis, review of relevant literature, writing of the text, conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.