

УДК 622.271.1:622.342.1

Закалинский Владимир Матвеевич

доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН,
111020, Москва, Крюковский тупик, д. 4
e-mail: vmzakal@mail.ru, zakalinskiy_v@ipkonran.ru

Мингазов Рафаэль Якубович

ведущий инженер,
Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН,
e-mail: ghost1064@yandex.ru, mingazov_r@ipkonran.ru

Шиповский Иван Евгеньевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН
e-mail: iv_ev@mail.ru, shipovskiy_i@ipkonran.ru

**ВЛИЯНИЕ ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ НА БУРОВЗРЫВНЫЕ
РАБОТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
НА БОЛЬШОЙ ГЛУБИНЕ***Аннотация:*

Рассмотрены естественные природные и технологические факторы, а также научно-технические проблемы, связанные с глубиной разработки в сложных горно-геологических условиях. Раскрытие содержания одного из распространенных понятий – «глубина разработки» – позволило сформулировать методологический подход для оценки изменения горнотехнических процессов при освоении месторождений полезных ископаемых. Дано расчетное математическое определение технологическому понятию «глубина разработки» различных месторождений. Раскрытие содержания этого одного из самых распространенных параметров месторождений полезных ископаемых в рамках анализа современного уровня научно-технического состояния основных процессов горного производства позволило обосновать применение автоматизированной системы корректировки параметров выработок по мере увеличения из глубины. Показано существенное изменение условий горнотехнических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых. Отмечено влияние таких факторов, как увеличивающееся горное давление и образование техногенных зон, примыкающих к участкам горных работ. Данный подход связывает проблему влияния глубины разработки с экономической оценкой результатов коррекции процессов горного производства.

Ключевые слова: глубина разработки, открытые работы, подземные разработки, взрывные работы, трещины, горное давление, напряженное состояние, месторождение, рудники.

DOI: 10.25635/2313-1586.2022.02.046

Zakalinsky Vladimir M.

Doctor of Engineering Sciences,
Leading Researcher,
Institute of Comprehensive Exploitation
of Mineral Resources, RAS,
111020 Moscow, 4 Kryukovskiy tupik
e-mail: zakalinskiy_v@ipkonran.ru

Mingazov Rafael Y.

Leading Engineer,
Institute of Comprehensive Exploitation
of Mineral Resources, RAS,
e-mail: mingazov_r@ipkonran.ru

Shipovskii Ivan E.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Institute of Comprehensive Exploitation
of Mineral Resources, RAS,
e-mail: shipovskiy_i@ipkonran.ru

**THE INFLUENCE OF MINING
AND TECHNOLOGICAL FACTORS
ON DRILLING AND BLASTING
OPERATIONS DURING
THE DEVELOPMENT
OF DEPOSITS AT GREAT DEPTH***Abstract:*

The paper considers natural and technological factors, as well as scientific and technical problems related to the depth of development in difficult mining and geological conditions. The disclosure of the content of one of the common concepts – "depth of development" – allowed us to formulate a methodological approach for assessing changes in mining processes during the development of mineral deposits. We give a calculated mathematical definition of the technological concept of "depth of development" of various fields. The disclosure of the content of this one of the most common parameters of mineral deposits in the framework of the analysis of the current level of scientific and technical state of the main mining processes made it possible to justify the use of an automated system for adjusting the parameters of workings as they increase from depth. A significant change in the conditions of mining processes during the development of mineral deposits is shown. The influence of such factors as increasing rock pressure and the formation of man-made zones adjacent to mining areas is noted. This approach connects the problem of the influence of the depth of development with the economic assessment of the results of the correction of mining processes. The relevance of the approach is to trace on some aspects of its application with the depth of development.

Key words: depth of development, open-cast mining, underground mining, blasting, cracks, rock pressure, severity of condition, deposit, mines.

Введение

Для подземной разработки рудных месторождений в последние десятилетия характерны высокие темпы углубления горных работ, продиктованные быстрым истощением запасов полезных ископаемых, расположенных вблизи земной поверхности, а также увеличением спроса на ряд металлов, имеющих стратегическое значение [1, 2]. На настоящий момент отработка многих месторождений с применением буровзрывных работ на больших глубинах подземным способом имеет тенденцию реализации в сложных горно-геологических, гидрогеологических и газодинамических условиях.

Уже сегодня в ряде зарубежных стран с высокоразвитой горнодобывающей промышленностью (Канаде, ЮАР, Индии, США и др.) добычу наиболее ценных руд ведут на глубинах, превышающих 3 – 4 км. Так, на руднике Tau Tona Mine в ЮАР горные работы ведутся на глубине 4,5 км. Некоторые отечественные горнорудные шахты, например, шахты СУБРа, Норильска, Таштагола и другие также работают на глубинах 700 – 1000 м и более. Наиболее сложной и важной проблемой при разработке глубокозалегающих месторождений является увеличение давления вышележащей толщи пород и борьба с возрастанием напряжений в горном массиве.

В определенный момент эти напряжения превышают прочность пород, которые разрушаются с выделением значительной энергии. В предельном случае при разработке полезных ископаемых подземным способом происходит динамическое проявление горного давления в виде так называемого горного удара, что отрицательно сказывается на всех процессах горного производства.

К причинам изменений горного массива на больших глубинах прежде всего следует отнести естественные или природные и технологические факторы. К естественным относятся высокое естественное поле напряжений, обусловленное тектоническими силами; наличие концентрации напряжений вблизи разрывных нарушений; наличие высокомодульных горных пород, способных накапливать потенциальную энергию сжатия и склонных к хрупкому разрушению [3]. При этом разнообразие распределения напряжений зависит как от литологической, так и от структурно-геологической сложности. Чем она сложнее, тем больше будет множество величин и распределений напряжений. Прочность горной породы и условие ее предельного равновесия определяются соотношением «размер выработанного пространства – размеры макротрещин или множества трещин в ее окрестности», диссипативными структурами в виде мельчайших трещин на микро- и мезоуровне, видом напряженно-деформированного состояния в горном массиве. При отсутствии внешнего воздействия на горные породы в окрестности выработанного пространства геологическое и горнотехническое состояние среды определяется величиной горного и пластового давлений, соотношением компонент тензора напряжений.

Крайние проявления горного давления, например, на крутопадающих месторождениях, весьма разнообразны. Одним из распространенных видов таких проявлений горного давления является нарушение элементов систем разработки. Динамические формы проявления горного давления в виде «стреляний», интенсивного заколообразования и шелушения получили в основном развитие в прочных и монолитных породах. Формы проявления горного давления, таким образом, зависят от действующих напряжений и свойств массива горных пород.

К технологическим причинам, возникающим в результате горных работ, относятся образование зон их влияния. В них обычно меняются величина и ориентировка главных напряжений относительно их значений вне зоны действия этих работ на прилегающий горный массив. Сюда же входят образование открытых очистных пространств (очистные камеры, выработки различного назначения), которые являются дополнительными концентраторами напряжений; образование краевых частей целиков, оконтуренных несколькими плоскостями; задержка во времени процесса сдвижения

горных пород под влиянием очистных работ в определенных направлениях, вплоть до поверхности.

Техногенные причины, являясь следствием производственной деятельности человека, приобретают, в первую очередь, форму накопления воздействий взрывного и сейсмического характера. Регулярные или периодические сотрясения массива горных пород приводят к морфологическим особенностям их минералов, сказываясь на свойствах и характеристиках трещин и окружающей их среды.

Характерно, что техногенные воздействия проявляют себя и спустя некоторое время после деятельности человека. При этом имеющееся при определенных условиях перераспределение напряженного состояния в массиве лишь усугубляет приведенные изменения. В результате на участках максимальных растягивающих деформаций на всю мощность слоя образуются глубокие трещины, некоторые с частичным раскрытием, что в совокупности скажется, например, на гидрогеологическом факторе. Воздействие буровзрывных работ является также причиной интенсивности природного водопритока. В условиях повышенного горного давления глубина разработки с изменением свойств массива и характера его динамических проявлений существенно сказывается на конструктивных элементах систем разработки, в частности, на способах и параметрах буровзрывных работ. Следовательно, возрастание напряжения вышележащей толщи пород и изменение связанных с увеличением глубины залегания горно-технологических факторов влияет на процессы разработки месторождений полезных ископаемых. В результате отработка нижележащих горизонтов с целью сохранения эффективности очистных работ сопровождается изменениями соответствующих параметров буровзрывных работ.

Таким образом, развитие взаимодействия с глубиной разработки основных процессов горного производства является важной проблемой для глубокозалегающих месторождений.

Основная часть

В методологическом подходе примем в качестве основных, с влиянием на них глубины разработки месторождения, следующие горнотехнические процессы и структуры (компоненты) горного производства: систему разработки как конструктивную структуру части объема выемочного пространства; взрывную отбойку в ее пределах; третий компонент – состояние массива горных пород, в котором непосредственно осуществляется добыча полезного ископаемого; критерий экономической эффективности.

По мере изменения с глубиной условий разработки месторождения между ними устанавливается определенная связь, например, взрывная отбойка как часть процесса системы разработки совместно связаны с изменяющимся состоянием массива горных пород. Оценим уровень научно-технического состояния каждого из них при условии влияния глубины разработки месторождения. Так как с самого начала разработка месторождения связана с буровзрывными работами, важны вопросы управления энергией взрыва, эффективности разрушения и дробления горных пород, повышения его КПД. Многие аспекты научных основ и практики взрывного разрушения массивов горных пород изучены на приемлемом уровне. Однако в постановке влияния горно-технологических факторов, связанных с глубиной разработки, они в некоторых вопросах изучены недостаточно, в частности, управление направленным действием взрыва в изменяющемся массиве и многие другие.

В связи с этим прежде всего уточним понятие «на больших глубинах», которое стало повсеместно встречаться в современной практике разработки месторождений полезных ископаемых и зачастую отождествляется со словосочетанием «в сложных горно-геологических условиях». Следует отметить, что в определенный момент понижения уровня разработки месторождения напряжения в окружающем массиве превышают прочность пород, которые начнут разрушаться с выделением значительной энергии. В пределе происходит динамическое проявление горного давления в виде так называемо-

го горного удара, что отрицательно сказывается на разработке полезных ископаемых подземным способом. Постепенное же изменение характера напряженного состояния массива с глубиной оказывает влияние прежде всего на технологические аспекты систем разработки, из которых особое значение имеют взрывные работы. Как следует из исследований школы ИГД СО РАН, массив и шахтный блок с глубиной от взрыва к взрыву испытывают изменение напряженно-деформированного и фазового состояний, вызывая зоны дезинтеграции в массиве горных пород.

Исходное напряженное состояние массива, представленное вначале вертикальными собственными весами пород величинами и горизонтальными тектоническими напряжениями, по мере увеличения глубины разработки начинает изменяться. В качестве критерия действующих напряжений в рамках понятия «большая глубина» достаточно использовать предел прочности массива на сжатие [4]. Для этого надо задать следующее условие:

$$2\rho g H \geq \sigma_m.$$

Отсюда получаем значение «большой глубины»:

$$H_b \geq \sigma_m / (2\rho g).$$

В качестве примера в массивах с пределом прочности на сжатие $\sigma_m = 26$ МПа, плотностью $\rho = 2600$ кг/м³, $g = 9,81$ м/с² при подстановке численных значений большими являются глубины:

$$H_b \geq \sigma_m / (2\rho g) \geq 500 \text{ м.}$$

Если предел прочности массива в два раза меньше ($\sigma_m = 13$ МПа), то большая глубина с разрушением выработок начинается уже с 250 м. Таким образом, понятие «большой глубины» до некоторой степени является условным и различным при разработке месторождений полезных ископаемых.

Следует отметить, что разработка целостной методики буровзрывных работ как следствие исследования многочисленных ситуаций представляет определенные трудности. Во многих случаях вопросы решаются косвенным образом на основе использования некоторых априорных знаний, практического опыта и технологических новаций, отвечающих наилучшим доступным технологиям (НДТ) из справочников (ИТС). Однако картина усугубляется в постановке исследований с глубиной.

Анализ изучения различных методик по буровзрывным работам показал, что эволюция такого процесса горного производства как «взрывная отбойка» традиционно удовлетворялась его текущим уровнем. В связи с этим актуально его развитие, связанное с глубиной разработки месторождения в современных условиях.

Массив горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых подвергается такого рода воздействиям, что его условно можно отнести к процессу. При воздействии внешних сил, к которым относятся и эффекты влияния больших глубин, массив изменяет свои размеры и форму. Дополним некоторые отмеченные выше особенности естественного происхождения изменения массива горных пород с глубиной. Изменяется характер его трещиноватости, крепость и другие свойства. Известно, что при взрыве заряда ВВ массив разрушается не только от действия газов взрыва на стенки зарядной камеры, но и от действия взрывной волны. Разрушающее действие волны зависит от ее скорости и амплитуды. Последние зависят от величины импульса, переданного взрывом породе, акустической жесткости породы, представляющей собой произведение объемного веса породы на скорость продольной волны в массиве. Эти факторы и направление вектора главных напряжений стандартно учитываются в технологии взрывных работ. Их недооценка в лучшем случае сказывается на качестве грансостава, в худшем – на конструктивных особенностях систем разработки [5, 6].

Для оценки состояния массива горных пород используются данные геологических и маркшейдерских служб в комплексе с результатами геофизического мониторинга. Представляют интерес современные научные модельные методы численного исследования массива горных пород, например, метод сглаженных частиц, позволяющий

выделять направленные зоны действия взрыва с оценкой в них фрагментации горного материала. Если этим данным придать характер системной оценки разработки месторождения с глубиной, то появляется возможность научно-технической корректировки параметров различных процессов горного производства.

Система разработки, представляющая собой конструктивную структуру части объема выемочного пространства, является конечным горнотехническим процессом, использующим результаты предыдущих действий. Этому процессу присуща относительно медленная ассимиляция, связанная с большим объемом очистных работ. Для отслеживания влияния на них глубины разработки необходимо использовать соответствующие проекты, варианты которых обусловлены характером интенсивности предыдущих процессов.

Завершающим результатом является экономическая эффективность, изменяющаяся с глубиной и имеющая особенности, следующие из данного подхода. Так, если допустить, что условия разработки месторождения с глубиной не изменяются, то экономическая эффективность добычи 1 м^3 полезного ископаемого останется постоянной. При неизбежном возрастании ее величины с глубиной она может быть уменьшена лишь за счет сохранения неизменными параметров отдельных процессов.

Методология с прослеживанием в современных условиях исчерпывающих данных по основным процессам горного производства позволяет использовать научно-технический прогресс в части применения автоматизированной системы корректировки их параметров с глубиной разработки.

Актуальность можно проследить на примерах из практики использования некоторых ее фрагментов. Для Кукисвумчоррского месторождения, на котором поля напряжений на глубоких горизонтах сформированы определенным образом, потребовалось решение проблемы влияния глубины разработки на взрывные работы [3, 5]. Научная сторона заключалась в натуральных наблюдениях и экспериментальных исследованиях напряженного состояния массива горных пород с целью выявить закономерности изменения напряжений с глубиной.

С целью реализации влияния горно-геологических факторов на буровзрывные работы с глубиной разработки была поставлена и решена техническая задача по созданию ориентированного взрывного воздействия на горный массив посредством комплексного использования взрывчатых веществ и конструкции заряда, при взрыве которых формируется механизм направленного взрыва. Аналитический аспект задачи включал, в частности, известное выражение, что минимальное давление, необходимое для возникновения взрывной волны в породе, прямо пропорционально ее плотности и квадрату скорости волны напряжений.

Фиксирование связи взрывного разрушения горных пород комбинированными зарядами с различными промежутками с условиями повышенного горного давления с глубиной месторождения позволило реализовать эффективные способы взрывного воздействия на массив [8, 9, 10].

На Гайском подземном руднике отработка запасов месторождения на больших глубинах в интервале 990 – 1310 м в условиях высокого горного давления изменила способ очистной выемки [7, 11]. Прежняя схема разработки обуславливала негативный результат, когда стенки камер разрушались в результате раскрытия естественных и наведенных трещин под действием напряжений, полученных при ведении буровзрывных работ. В кровле камеры образовывались заколы и вывалы с обрушением их в выработанное пространство, что приводило к изменению ее формы. Было принято решение при помощи двух панелей в лежачем и висячем боках создать защитную зону. В результате перераспределением концентрации максимальных сжимающих напряжений были разгружены выработки днища и кровля будущих камер, что позволило вести очистную выемку в условиях измененного горнотехнического состояния.

При разработке угольных месторождений в лавах имеются свои особенности ведения буровзрывных работ, связанные с влиянием проявлений в них горного давления [12]. С учетом известной специфики, связанной с повышенной опасностью при разработке подземных угольных месторождений, буровзрывные работы недостаточно связывать только с глубиной разработки. Имеют значение технологические новации, отвечающие безопасным технологиям НДТ из справочников ИТС.

Так, при добыче угля подземным способом для снижения образования взрывоопасных скоплений метана при буровзрывных работах использовалась гидро- и гидротелевая забойка. Для пылеподавления при взрыве шпуров и скважин может осуществляться внутренняя, внешняя или комбинированная гидрозабойка. В качестве материалов для гидрозабойки обычно применяется вода, в зимний период при открытой добыче угля возможно также применять водные растворы солей NaCl и CaCl₂ или снежно-ледяную смесь [13].

При открытой разработке месторождений особенности влияния глубины можно проследить на примере технологии производства буровзрывных работ на глубоких карьерах Узбекистана [14]. С увеличением глубины карьеров возник ряд проблем, усложняющих их разработку. В частности, на стоимости буровзрывных работ в дробильно-размалывающих циклах рудопереработки горной массы стало отражаться уменьшение трещиноватости и увеличение крепости пород с глубиной. Параллельное увеличение обводненности взрывааемых пород и водопритока в карьерах повлекло увеличение стоимости как водоотлива, так и буровзрывных работ [15]. Вынужденный переход на водоустойчивые ВВ существенно увеличил затраты на транспорт добываемой горной массы, из-за сокращения фронта работ ограничили возможности в обеспечении требуемой производительности карьера. Для обеспечения на прежнем уровне его проектной производительности с увеличением глубины добычных забоев свыше 400 – 700 м пришлось перейти на циклично-поточную технологию и взрывание высоких сдвоенных уступов с усиленными зарядами ВВ. Работа зарядов дробления производилась в замкнутом пространстве с повышенным удельным расходом взрывчатого вещества. Кроме того, для решения большинства проблем глубоких карьеров было предусмотрено внедрение инновационной технологии взрывного дробления горных пород глубокими (30 – 50 м) скважинами большого диаметра (250 – 320 мм) [16]. Взрывание основных зарядов в зажатой среде позволило более эффективно использовать энергию взрывчатого вещества за счет исключения выброса продуктов разложения ВВ в воздушное пространство и потерь энергии на разбрасывание разрыхленной взрывом горной породы. Это достигалось применением схем замедления, обеспечивающих работу зарядов на забой с одинаковым кумулятивным действием и нарастанием напряженности массива от каждого последующего ряда взрывааемых зарядов.

Прохождение взрывной волны по неоднородной по плотности трещиноватой горной породе способствовало снижению потерь энергии. При этом дополнительное дробление способствовало ослаблению молекулярных или кристаллических связей, что улучшало процесс обогащения при комплексном извлечении полезных компонентов месторождения. Стало использоваться погрузочно-транспортное оборудование большой производительности (самосвалы грузоподъемностью больше 180 т, экскаваторы с емкостью ковша >20 м³). Это позволило главный транспортный поток перевести на конвейерную линию, для чего потребовался переход на повышенную степень дробления горной массы зарядами ВВ в сухих и обводненных с глубиной скважинах.

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых картина коррекции параметров буровзрывных работ с глубиной, за исключением некоторых ситуаций и особенностей, существенно упрощается из-за отсутствия непосредственной толщи горных пород над взрывааемыми уступами. Здесь чаще более приемлема формулировка «в сложных горно-геологических условиях».

Таким образом, актуальным фактором методологического подхода, помимо результатов анализа научно-технического состояния основных процессов горного производства и его экономической оценки, является использование компьютерной автоматизированной системы их корректировки с глубиной разработки месторождений полезных ископаемых.

Заключение

1. Выполнен анализ научно-технического состояния основных процессов горного производства, результаты которого можно использовать в соответствующих компьютерных программах для корректировки влияния с глубиной отдельных параметров разработки месторождений.

2. Показан характер изменения свойств естественного (природного) и технологических составляющих разработки месторождений полезных ископаемых по мере глубины.

3. Определено и уточнено понятие «на больших глубинах» как условного и различного при разработке месторождений полезных ископаемых.

4. Результаты исследований по влиянию свойств массива с глубиной на буровзрывные работы позволят повысить научно-технический уровень современной разработки полезных ископаемых.

Список литературы

1. Викторов С.Д., Гончаров С.А., Иофис М.А., Закалинский В.М., 2019. *Механика сдвига и разрушения горных пород*. Отв. ред. акад. К.Н. Трубецкой; Ин-т комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН. Москва: РАН, 360 с.

2. Курленя М.В., Серяков В.М., Еременко А.А., 2005. *Техногенные геомеханические поля напряжений*. Новосибирск: Наука, 264 с.

3. Козырев А.А., Савченко С.Н., Панин В.И., Семенова И.Э., Рыбин В.В., Федотова Ю.В., Козырев С.А. и др., 2019. *Геомеханические процессы в геологической среде горнотехнических систем и управление геодинамическими рисками: монография*. Апатиты: КНЦ РАН, 431 с.

4. Певзнер М.Е., Попов В.Н., Макаров А.Б., 2012. *Геомеханика*. Москва: Изд-во МГГУ.

5. Скипочка С.И., Паламарчук Т.А., Прохорец Л.В., Бобро Н.Т. *Закономерности изменения напряженно-деформированного состояния породного массива при интенсификации горных работ*. Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, г. Днепр. URL: [http://www.kdu.edu.ua/GV_jurnal/GV_2_2016\(18\)/26-40_.pdf](http://www.kdu.edu.ua/GV_jurnal/GV_2_2016(18)/26-40_.pdf) (дата обращения 29.06.2022)

6. *Правила безопасности при взрывных работах*, 2015. Санкт-Петербург: ДЕАН, 304 с.

7. *Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 23-2017. Добыча и обогащение руд цветных металлов*. URL: <http://gost.gtsever.ru/Index2/1/4293740/4293740353.htm> (дата обращения 29.06.2022)

8. Мальский К.С., Боровков Ю.А., 2020. Анализ результатов исследований по снижению прочности горных пород от серийного взрывания скважинных зарядов взрывчатых веществ. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*, 1(1), С. 39 - 45.

9. Борщ-Компониец В.И., Макаров А.Б., 1986. *Управление горным давлением при отработке мощных пологих рудных залежей*. Москва: Недра.

10. Каспарьян Э.В., Козырев А.А., Иофис М.А., Макаров А.Б., 2006. *Геомеханика*. Учебник для студентов ВУЗов. Москва, Высшая школа.

11. Бирючев И.В., Зубков А.В., 2017. Способ отработки запасов месторождения на больших глубинах в условиях высокого горного давления. *Известия вузов. Горный журнал*, № 3, С. 13 - 17.

12. Тациенко В.П., Гейхман И.Л., Бучатский В.М., 2008. Исследование влияния проявлений горного давления в очистных забоях на изменение параметров буровзрывных работ. *Взрывное дело*. Выпуск № 100/57. С. 245 - 250.

13. *Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 37-2017. Добыча и обогащение угля. Дата введения 2018.06.01.* URL: <https://docs.cntd.ru/document/556173717?ysclid=14z7wp2ag1139214717> (дата обращения 29.06.2022)

14. Рахимов В.Р., Петросов Ю.Э., Мухаммедов И.М., 2008. Выбор эффективных параметров интенсивного дробления руд в процессах рудопереработки на полиметаллических месторождениях. *Актуальные проблемы обеспечения интеграции науки, образования и производства: Сборник научных статей международной научно-практической конференции, Ташкент*.

15. Янников А.М., 2019. *Гидрогеология глубоких горизонтов вмещающих толщ трубки «интернациональная» (республика Саха (Якутия))*: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 27 с.

16. Айнбиндер И.И., Родионов Ю.И., Овчаренко О.В., Аршавский В.В., Ефимов Ф.К., 1988. Развитие интенсивных методов добычи руд на больших глубинах. *Интенсивные методы добычи руд на больших глубинах*. Москва: ИПКОН, С. 59 - 75.

References

1. Viktorov S.D., Goncharov S.A., Iofis M.A., Zakalinskii V.M., 2019. *Mekhanika sdvizheniya i razrusheniya gornyx porod* [Mechanics of displacement and destruction of rocks]. Otv. red. akad. K.N. Trubetskoi; In-t kompleksnogo osvoeniya neдр im. akademika N.V. Mel'nikova RAN. Moscow: RAN, 360 p.

2. Kurlenya M.V., Seryakov V.M., Eremenko A.A., 2005. *Tekhnogennye geomekhanicheskie polya napryazhenii* [Technogenic geomechanical stress fields]. Novosibirsk: Nauka, 264 p.

3. Kozyrev A.A., Savchenko S.N., Panin V.I., Semenova I.E., Rybin V.V., Fedotova Yu.V., Kozyrev S.A. i dr., 2019. *Geomekhanicheskie protsessy v geologicheskoi srede gornotekhnicheskikh sistem i upravlenie geodinamicheskimi riskami: monografiya* [Geomechanical processes in the geological environment of mining systems and geodynamic risk management: monograph]. Apatity: KNTs RAN, 431 p.

4. Pevzner M.E., Popov V.N., Makarov A.B., 2012. *Geomekhanika* [Geomechanics]. Moscow: Izd-vo MGGU.

5. Skepochka S.I., Palamarchuk T.A., Prokhorets L.V., Bobro N.T. *Zakonomernosti izmeneniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya porodnogo massiva pri intensifikatsii gornyx rabot* [Regularities of changes in the stress-strain state of the rock mass during the intensification of mining operations]. Institut geotekhnicheskoi mekhaniki im. N.S. Polyakova NAN Ukrainy, g. Dnepr. URL: [http://www.kdu.edu.ua/GV_jurnal/GV_2_2016\(18\)/26-40_.pdf](http://www.kdu.edu.ua/GV_jurnal/GV_2_2016(18)/26-40_.pdf) (data obrashcheniya 29.06.2022)

6. *Pravila bezopasnosti pri vzryvnykh rabotakh* [Safety rules for blasting operations], 2015. Sankt-Peterburg: DEAN, 304 s.

7. *Informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam ITS 23-2017. Dobycha i obogashchenie rud tsvetnykh metallov* [Information and technical handbook on the best available ITS technologies 23-2017. Extraction and enrichment of non-ferrous metal ores]. URL: <http://gost.gtsever.ru/Index2/1/4293740/4293740353.htm> (data obrashcheniya 29.06.2022)

8. Mal'skii K.S., Borovkov Yu.A., 2020. Analiz rezul'tatov issledovaniy po snizheniyu prochnosti gornyykh porod ot seriinogo vzryvaniya skvazhinnykh zaryadov vzryvchatykh veshchestv. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii [Analysis of the results of studies on reducing the strength of rocks from serial detonation of borehole charges of explosives]. Geologiya i razvedka, 1(1), P. 39 - 45.

9. Borshch-Komponiets V.I., Makarov A.B., 1986. Upravlenie gornym davleniem pri otrabotke moshchnykh pologikh rudnykh zalezhei [Control of rock pressure during mining of powerful shallow ore deposits]. Moscow: Nedra.

10. Kaspar'yan E.V., Kozyrev A.A., Iofis M.A., Makarov A.B., 2006. Geomekhanika. Uchebnik dlya studentov VUZov [Geomechanics. Textbook for university students]. Moscow, Vysshaya shkola.

11. Biryuchev I.V., Zubkov A.V., 2017. Sposob otrabotki zapasov mestorozhdeniya na bol'shikh glubinakh v usloviyakh vysokogo gornogo davleniya [A method of mining the reserves of the deposit at great depths in conditions of high mountain pressure]. Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal, № 3, P. 13 - 17.

12. Tatsienko V.P., Geikhman I.L., Buchatskii V.M., 2008. Issledovanie vliyaniya proyavlenii gornogo davleniya v ochistnykh zaboyakh na izmenenie parametrov burovzryvnykh rabot [Investigation of the influence of the manifestations of rock pressure in the treatment faces on the change in the parameters of drilling and blasting operations]. Vzryvnoe delo. Vypusk № 100/57. P. 245 - 250.

13. Informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam ITS 37-2017. Dobycha i obogashchenie uglya. Data vvedeniya 2018.06.01 [Information and Technical handbook on the best available ITS technologies 37-2017. Coal mining and processing. Date of introduction 2018.06.01]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/556173717?ysclid=l4z7wp2agl139214717> (Data obrashcheniya 29.06.2022)

14. Rakhimov V.R., Petrosov Yu.E., Mukhammedov I.M., 2008. Vybor effektivnykh parametrov intensivnogo drobleniya rud v protsessakh rudopererabotki na polimetallicheskih mestorozhdeniyakh [Selection of effective parameters for the intensive crushing of ores in ore processing at polymetallic deposits]. Aktual'nye problemy obespecheniya integratsii nauki, ob-razovaniya i proizvodstva: Sbornik nauchnykh statei mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Tashkent.

15. Yannikov A.M., 2019. Gidrogeologiya glubokikh gorizontov vmeshchayushchikh tolshch trubki "internatsional'naya" (respublika Sakha (Yakutiya)) [Hydrogeology of the deep horizons of the enclosing strata of the "international" tube (Republic of Sakha (Yakutia))]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Voronezh, 27 s.

16. Ainbinder I.I., Rodionov Yu.I., Ovcharenko O.V., Arshavskii V.V., Efimov F.K., 1988. Razvitie intensivnykh metodov dobychi rud na bol'shikh glubinakh [Development of intensive methods of ore extraction at great depths]. Intensivnye metody dobychi rud na bol'shikh glubinakh. Moscow: IPKON, P. 59 - 75.