

УДК [622.23:622.014.3]:001.891

Реготунов Андрей Сергеевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: pochta8400@inbox.ru

Жариков Сергей Николаевич

кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
заведующий лабораторией,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: 333vista@mail.ru

Сухов Рудольф Иванович

кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: suhov@igduran.ru

Кутуев Вячеслав Александрович

научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: slavik1988@mail.ru

**ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ
БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ
И НЕОБХОДИМОСТЬ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ
ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
НА НЕКОТОРЫХ КРУПНЫХ ГОРНЫХ
ПРЕДПРИЯТИЯХ УРАЛА И СИБИРИ***

Аннотация:

Статья посвящена актуальным вопросам совершенствования буровзрывных работ на горных предприятиях, освоение месторождений полезных ископаемых на которых ведется открытым способом. Приводятся результаты оценки горно-геологических условий ведения буровзрывных работ (по коэффициенту крепости горных пород по шкале проф. М.М. Протодяконова, литологическим типам добываемых горных пород) и применяемых моделей буровой и зарядной техники, параметров взрывных скважин, видов взрывчатых веществ и средств инициирования для крупнейших горных предприятий Уральского региона (ПАО «Ураласбест», ПАО «Комбинат Магnezит», ЕВРАЗ «КГОК») и Восточной Сибири (ПАО «Полюс-Вернинское»). Приводятся результаты обзора актуальных вопросов буровзрывных работ на карьерах, требующих в настоящее время особого внимания со стороны производства и горной науки. В соответствии со сложившимися условиями эксплуатации месторождений, рассмотренными в статье, и ожидаемым их

DOI: 10.25635/2313-1586.2021.02.052

Regotunov Andrey S.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: pochta8400@inbox.ru.

Zharikov Sergey N.

Candidate of Technical Sciences,
Leading Researcher,
Head of laboratory,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: 333vista@mail.ru.

Sukhov Rudolf I.

Candidate of Technical Sciences,
Leading Researcher,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: suhov@igduran.ru.

Kutuev Vyacheslav A.

Researcher,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: slavik1988@mail.ru.

**ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE
OF DRILLING AND BLASTING
OPERATIONS AND THE NEED
FOR TRANSITION PROCESSES
AT SOME LARGE MINING ENTERPRISES
IN THE URALS AND SIBERIA**

Abstract:

The article is devoted to urgent issues of improving drilling and blasting operations at mining enterprises, in which the development of mineral deposits is carried out by the open method. It contains the results of the assessment of mining and geological conditions of drilling and blasting operations (according to the coefficient of rock strength on the scale of Prof. Protodyakonov and to lithological types of extracted rocks) and of applied models of drilling and charging equipment, parameters of blast wells, types of explosives, and means of initiation for the largest mining enterprises of the Ural region (PAO "Uralasbest", PAO "Magnezit Plant", EVRAZ "KGOK") and of Eastern Siberia (PAO "Polyus-Verninskoye"). The paper shows results of the review of current issues of drilling and blasting operations in quarries, which currently require special attention from production and mining science. In accordance with the existing field operating conditions discussed in the article as well as their expected changes in the future, we suggest possible directions for improving the parameters of drilling and blasting operations in

* Статья подготовлена по материалам исследований, выполненных в рамках Государственного задания № 075-00581-19-00, тема № 0405-2019-0005 (2019 – 2021 гг.)

изменением в будущем времени, высказаны возможные направления совершенствования параметров буровзрывных работ в условиях ПАО «Ураласбест», ПАО «Комбинат Магнетит», ЕВРАЗ «КГОК» и ПАО «Полюс-Вернинское». Обоснована необходимость применения нового методологического подхода к организации внедрения различных нововведений в производство буровзрывных работ на карьерах, основанного на исследовании переходных процессов и учете закономерностей их протекания. В статье применительно к буровзрывным работам раскрыто общее для горного производства понятие переходного процесса.

Ключевые слова: горное дело, переходные процессы, буровзрывные работы, открытые горные работы, разрушение горных пород, параметры БВР, крупные горные предприятия Урала и Сибири, направления технологического развития БВР.

the conditions of PAO "Uralasbest", PAO "Magnetit Plant", EVRAZ "KGOK" and PAO "Polyus-Verninskoye". The authors justify the necessity of applying a new methodological approach to the organization of the implementation of various innovations in the conduction of drilling and blasting operations in quarries, based on the study of transition processes and taking into account the patterns of their occurrence. The article reveals, in relation to drilling and blasting operations, the general concept of the transition process for mining production.

Key words: mining, transients processes, drilling and blasting operations, open-pit mining operations, destruction of rocks, parameters of drilling and blasting operations, large mining enterprises of the Urals and Siberia, directions of technological development of drilling and blasting operations.

Введение

На крупнейших горных предприятиях Уральского региона и Восточной Сибири назрело решение вопросов устойчивого технологического развития буровзрывных работ. Основными причинами сложившейся ситуации является нарастание информации об изменении горнотехнических условий по мере роста глубины извлечения запасов, постепенное замещение на предприятиях устаревшей горной техники новыми прогрессивными моделями, изменение экономических условий и других внешних факторов [1]. В табл. 1 приведены основные параметры буровзрывных работ на некоторых крупных карьерах Урала и Восточной Сибири. Как следует из табл. 1, на карьерах происходит увеличение объемов труднобуримых и скальных горных пород, неоднородности массивов горных пород и сопутствующее этому повышение блочности, трещиноватости и обводненности [2]. В ответ на изменения горнотехнических условий отмечается применение станков шарошечного бурения, ударно-вращательного и комбинированного действия, использование более широкого диапазона диаметров взрывных скважин в пределах одного месторождения, увеличение типов взрывчатых веществ, использование широкого ассортимента систем инициирования (СИ) [3, 4]. В ближайшей перспективе добыча минерально-сырьевых ресурсов будет производиться в сложных климатических и горнотехнических условиях глубокозалегающих сложноструктурных месторождений. При этом возникнет необходимость учитывать повышенные требования к безопасности и интенсивности горных работ.

Таблица 1

Основные параметры БВР на некоторых крупных горных предприятиях Урала и Сибири

Наименование горного предприятия	Коэффициент крепости пород (название породы)	Высота уступа, м	Диаметр скважины, мм	Модель бурового станка	Модель смесительно-зарядной машины	Расстояние между скважинами (в зависимости от <i>H</i> уступа и \varnothing скважин), м	Наименование взрывчатого вещества	Наименование взрывчатых материалов и систем инициирования
ПАО «Ураласбест»	7 - 20 (перидотиты, габбро, диориты, тальк-карбонатные, серпентиниты, граниты, дуниты)	15	215,9; 244,5	СБШ250МНА-32; Atlas Copco DML; Sandvik D1550	МЗВ-10; МЗГ-10; ТСЗМ-11 ПГ; МЗВ-15; СЗГМ-15Э; СЗГМ-24 ДК (доставщик)	7,0 × 6,0 6,0 × 5,5 6,0 × 6,0	порэмит 1А; ЗКВ; ЗКВ-Б	ДШН-10; ЭД-1-8Т; Шашки ПТ-П-750; НСИ: Искра С500-18, Искра С500-12, Искра П-25-10, Искра П-42-10
ПАО «Комбинат Магнезит» Карагайский карьер	4 - 18 (доломиты, магнезит, диабазы)	6 и 12	215,9; 244,5; 269,9	СБШ-200; СБШ-250МН	МЗ-ЗБ (зарядание взрывных скважин осуществляет подрядная организация)	5,0 × 5,0 5,5 × 5,5 6,0 × 6,0 6,5 × 6,5 7,0 × 7,0	нитронит; сибирит; АС-25П ($\varnothing 90$ и $\varnothing 120$ мм); гранулит М; граммонит; граммотол Т18	ДШЭ-12; ДШВ; ОША; ОШП; РП-Н; РП-8М; СИНВ
ЕВРАЗ «Качканарский ГОК»	6 - 18 (пироксениты диалаговые, оливиновые, плагиоклазовые, габбро)	15 - 20	203; 230; 250; 270; 140	СБШ-250-МН; СБШ-270-КП; PitViper-75; ROC-L8, DML	«Универсал ТС-4»; BCZN-25; ДК-25Пл (доставщик)	4,7 × 4,7 5,0 × 5,0 5,4 × 5,4 5,9 × 5,9 6,3 × 6,3	нитронит Э-70; нитронит Э-100; гранулотол; граммонит 79/21	ДШЭ-12; ДШЭ-6; ПТ-П-500; НСИ: RIONEL, EXEL
АО «Полюс Вернинское» ПАО «Полюс»	1 - 19 (песчаники серые, мелкозернистые, сланцы черные, кварц-серицитовые, филлитовидные, кварц жильный, молочно-белый, переслаивание песчаников, сланцев, алевролитов)	5 и 10	146; 152; 165; 215,9; 269,9; 250,8; 233	СБШ-250МН; Atlas Copco DML; Atlas Copco DM; Atlas Copco CM 785; SmartROC D65	Зарядание взрывных скважин осуществляет подрядная организация	от 4,0 × 4,0 до 7,5 × 7,5	эмульсолит П; гранулит АСП; березит Э-30; березит Э-50; березит Э-70; березит Э-100; аммонит 6ЖВ; нитронит П; ЗКВЭГ ($\varnothing 32$, $\varnothing 36$, $\varnothing 45$, $\varnothing 50$, $\varnothing 60$, $\varnothing 90$ мм)	ДШЭ-12; ДШМ-Э; ДШН-10; РП-Н; РП-Д; ТГФ-850, ТС-500Л, ТС-1000Л, ТПТ, П-500Л, Т-400Г, ТГ-500КД, ПДП-300, ПДП, ПТ-П 750, ПТ-П 500, ПТ-П 300, БШД-800; НСИ: RIONEL, EXEL, Primadet, Искра; Электронные СИ: Daveybickford, i-kon, E*STAR

Актуальные условия ведения буровзрывных работ на карьерах

С увеличением глубины карьеров протяженность фронта горных работ сокращается, что приводит к уменьшению рядов и общего числа скважин в блоке. Растет число рабочих площадок, расположенных на значительном расстоянии друг от друга (в случае разработки карьеров через промежуточные контуры – и в плане, и по высоте), возрастает стесненность ведения работ. Это влияет на производительность горных машин, затраты энергии при бурении взрывных скважин и доставке взрывчатых компонентов на место производства работ. На многих горных предприятиях отмечается нехватка достоверного представления о свойствах массивов горных пород, подлежащих буровзрывной отбойке, что отражается на режимах эксплуатации и надежности работы сложной и дорогостоящей буровой техники. Вследствие этого затраты на буровой инструмент, особенно в крепких и крепчайших породах, могут достигать до 70 % в себестоимости буровых работ [5]. Кроме того, недостаточное технологическое картирование при планировании буровзрывных работ создает условия для неправильного выбора параметров взрывного разрушения массивов в конкретных горнотехнических условиях предприятий, в существующих экономических реалиях служит причиной нерациональной расстановки, повсеместно используемой отслужившей нормативный срок буровой техники, требующей замены [6].

Многие горные предприятия ведут добычу твердых полезных ископаемых вблизи границ населенных пунктов, например, ПАО «Комбинат Магнезит» (карьер Карагайский), и испытывают необходимость в пересмотре параметров взрывных работ для снижения вызываемых взрывными работами сейсмических колебаний, оказывающих вредное влияние на расположенные вблизи карьера промышленные, административные и жилые здания и сооружения [7].

Увеличение глубины карьеров многих горных предприятий повлекло увеличение рисков возникновения внезапных обрушений уступов на предельном контуре. Это обуславливает необходимость заблаговременной разработки и реализации специальной технологии, обеспечивающей снижение до безопасного уровня сейсмического воздействия взрыва на законтурный массив.

Изменение спроса на основную продукцию заставляет горные предприятия прибегать к диверсификации горного производства и добывать наряду с основным видом полезного ископаемого сопутствующие минеральные ресурсы, востребованные в промышленности и строительстве.

Показатели буровзрывных работ для отечественных горных предприятий отстают от достигнутых на зарубежных карьерах, где используются более производительные и безопасные станки шарошечного, пневмоударного бурения, и высокими темпами происходит внедрение автоматизированных средств в управлении буровыми работами, экспрессных методов получения информации о свойствах массива горных пород для дальнейшего применения при планировании взрывных работ [8 – 12].

Таким образом, в настоящее время на карьерах Урала и Сибири необходимо внедрение ряда важнейших инноваций и усовершенствований.

Совершенствование БВР

Недостаточная стойкость шарошечных долот в трещиноватых, сильно перемещающихся, обводненных массивах горных пород требует решения задачи значительно увеличения их качества на основе новейших технологий изготовления бурового инструмента и рационального выбора марок твердого сплава, соответствующих прочностным и абразивным свойствам горных пород.

Важное значение при освоении сложноструктурных массивов горных пород имеет внедрение автоматизации процесса бурения, что позволит повысить управле-

мость и плавность изменения режима бурения при частой перемежаемости по составу и структуре горных пород. Перспективны решения, способствующие повышению мобильности, компактности шарошечных буровых станков.

Для совершенствования буровзрывных работ в сложноструктурных массивах горных пород необходимо обеспечить совершенствование конструкции зарядов взрывчатых веществ. Экспериментальное применение в ПАО «Ураласбест» рассредоточенных зарядов показало значительную эффективность [13]: фактический расход эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) при применении рассредоточенных зарядов в сравнении с базовым вариантом, где не было рассредоточенных зарядов, оказался меньше в 1,15 – 1,4 раза.

В результате совершенствования параметров буровзрывных работ, проведенного Институтом горного дела УрО РАН на Карагайском карьере ПАО «Комбинат Магнетит», установлена возможность снижения вредного влияния взрывного разрушения на охраняемые объекты за счет применения предохранительных укрытий-локализаторов, улучшения конструкции зарядов ВВ и параметров рабочих уступов [14].

Оптимизация схем инициирования выемочных блоков, параметров технологии предварительного щелеобразования, диаметра и плотности ВВ в массивах горных пород с развитой трещиноватостью может обеспечить снижение сейсмического воздействия на предельном контуре карьера [15], что было достигнуто на карьерах ПАО «Полус».

Повышение качества дробления, снижение вредного влияния взрывных работ перспективно за счет взрывания зарядов ЭВВ на подпорную стенку. В результате создаются условия для более длительного воздействия взрывного импульса на массив, что способствует более полному использованию энергии взрыва и повышению степени дробления горной массы. Основные варианты нововведений на некоторых крупных горных предприятиях Урала и Сибири сведены в табл. 2.

Однако горные предприятия достаточно медленно и со значительным сомнением приступают к выбору рациональных видов инноваций, наиболее подходящих сложившимся условиям добычи полезных ископаемых, так как в своей деятельности не располагают надежными расчетными методиками для определения ожидаемых результатов от внедряемых инноваций и оценки рисков возможных необоснованных затрат в результате этого.

Применение методологического подхода к исследованию переходных процессов, предложенного чл.- корр. РАН В.Л. Яковлевым [1, 16 – 20], основанного на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности позволяет при оценке динамики развития горных работ заранее выявить комплекс факторов, способных оказать негативное влияние на процесс внедрения новшеств и решений и установить совокупность переходных процессов, заблаговременно и системно учитывающих влияние изменений, сопровождающих внедрение инноваций. Для буровзрывных работ методологический подход обеспечивает комплексное рассмотрение и системное объединение разнообразных параметров, характеризующих состояние и процессы разрушения массива горных пород, функционирование буровой и зарядной техники, действие зарядов ВВ в массиве горных пород и вблизи охраняемых объектов с целью выявления инновационного потенциала развития технологии БВР, в том числе за счет применения научных знаний в смежных областях науки. Методологический подход позволяет выполнить учет технических и технологических особенностей разработки месторождения для определения на этой основе впоследствии мер по преодолению негативных явлений от внедрения инноваций в БВР.

Таблица 2

**Основные варианты нововведений
на некоторых крупных горных предприятиях Урала и Сибири**

Горное предприятие	Современные условия ведения буровзрывных работ	Факторы, предопределяющие нововведения	Возможные направления совершенствования
ПАО «Ураласбест»	Растет число рабочих площадок, расположенных на значительном расстоянии друг от друга (по высоте, изменяется конструкция рабочей зоны за счет частичной или полной консервации уступов).	Экономические	<ul style="list-style-type: none">• приобретение и внедрение мобильных шарошечных буровых станков
	Высокая вариабельность свойств горных пород в массиве и недостаточность информации об этом при проектировании БВР.	Технологические	<ul style="list-style-type: none">• изменение конструкции заряда ВВ в скважинах;• уточнение прочностных свойств горных пород в процессе бурения взрывных скважин;• оптимизация конструкции шарошечных долот и режимов бурения
	Наличие устаревших буровых станков.	Промышленная безопасность	<ul style="list-style-type: none">• приобретение и внедрение шарошечных буровых станков
ЕВРАЗ «КГОК»	Высокая интенсивность горных работ.	Экономические	<ul style="list-style-type: none">• внедрение диспетчеризации горного оборудования
	Значительная степень разрушения законтурного массива технологическими взрывами и недостаточность об этом информации.	Технологические	<ul style="list-style-type: none">• проведение исследований сейсмобезопасной технологии взрывного разрушения массива горных пород;• взрывание на подпорную стенку;• уточнение свойств горных пород в процессе бурения взрывных скважин
	Наличие устаревших буровых станков.	Промышленная безопасность	<ul style="list-style-type: none">• приобретение и внедрение шарошечных буровых станков
ПАО «Комбинат Магнит Карагайский карьер»	Горные работы усложнены тем, что при разноске северо-западного борта карьера фронт ведения горных работ подходит вплотную к охраняемым объектам города.	Экономические Технологические Промышленная безопасность	<ul style="list-style-type: none">• изменение конструкции заряда ВВ в скважинах;• проведение мониторинга взрывного воздействия горных работ на охраняемые объекты;• применение предохранительных укрытий-локализаторов разлета взорванной горной массы;• разработка и внедрение специальной технологии взрывных работ
АО «Полюс-Вернинское» ПАО «Полюс»	Высокая интенсивность нагружения взрывом из-за большой массы ВВ в степени замедления. Чрезмерные деформации, за счет чего коэффициент трещинной пустотности массива возрастает до опасных значений в пределах призмы возможного обрушения уступа.	Экономические Технологические Промышленная безопасность	<ul style="list-style-type: none">• внедрение автоматизированных технологий бурения взрывных скважин;• уточнение свойств массива горных пород в процессе бурения взрывных скважин;• исследование сейсмического действия взрыва на законтурный массив карьера;• оптимизация схем инициирования выемочных блоков, параметров технологии предварительного щелеобразования, диаметра заряда и плотности ВВ

Указанные явления при внедрении новшеств и решений могут проявляться в необоснованном увеличении экономических затрат, повышении рисков возникновения инцидентов и аварий, в нестабильной работе нового горного оборудования, недостижении запланированных показателей эффективности разрушения массива горных пород, от пересмотра схем инициирования, параметров рассредоточения заряда в скважинах и др. Своевременное получение и учет информации о процессах и явлениях, сопровождающих внедрение инноваций (новых технологических решений, приобретения и применения новой высокопроизводительной техники и др.) на горных предприятиях имеет решающее значение для организации предсказуемого переходного процесса. Под переходным процессом для БВР понимается приведение производственной системы БВР (или отдельных ее элементов) в соответствие с наступившими условиями (уровнем спроса на продукцию, горно-геологической обстановкой, требованиями безопасности и др.) в более эффективное состояние (оцениваемое по следующим критериям: производительность, энергоемкость, себестоимость, риск нежелательных событий) за счет заранее организованных действий, направленных на своевременное выявление и учет недостающей информации о взаимосвязях между параметрами принимаемых нововведений и изменяющимися условиями ведения горных работ.

Для применения методологического подхода, основанного на учете переходных процессов, в целях совершенствования БВР на карьерах необходимо решить следующие задачи [1]:

- оценить состояние массива горных пород и спрогнозировать перспективные условия ведения БВР;
- установить соответствие принятых параметров технологии БВР результатам разрушения горного массива в сложившихся и перспективных условиях их применения;
- оценить соответствие технических характеристик буровых и смесительно-зарядных машин, параметров конструкции зарядов ВВ, расстояний между скважинами, типов ВВ и СИ сложившимся и перспективным условиям их применения.

Для решения указанных задач и выявления целесообразных переходных процессов в первую очередь требуется создание методик, позволяющих получать и применять дополнительную информацию о прочностных и структурных свойствах массивов горных пород, намеченных к взрывному разрушению; устанавливать параметры размещения зарядов в скважинах для различных составов ВВ с учетом состояния массива горных пород, определять параметры буровых станков, породоразрушающего инструмента в зависимости от свойств горных пород в массиве и прогнозных данных по развитию карьера; устанавливать рецептурный состав ВВ для необходимой скорости детонации зарядов с учетом сопротивляемости массива разрушающему действию взрыва; выявлять параметры инициирования скважин на блоке в соответствии со структурно-прочностными свойствами массива горных пород; устанавливать взаимосвязи между технологическими параметрами буровзрывного разрушения и показателями эффективности смежных процессов добычи (экскавации, транспортирования, дробления на обогащательной фабрике); выявлять перспективные виды буровой и зарядной техники в зависимости от параметров рабочей зоны карьера и прогнозной информации об изменении характеристик месторождения полезных ископаемых.

В целом исследование закономерностей переходных процессов лежит в основе ресурсосберегающего инновационного развития горных работ на карьерах.

Выводы

Современный этап развития открытых горных работ характеризуется значительными объемами выемки горной массы с больших глубин и освоением новых сложно-структурных месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока. По мере нарастания горнотехнической информации о месторождении, изменениях состояния приме-

няемой техники, прогрессе в смежных областях горной науки, влиянии экономической конъюнктуры требуется периодическое совершенствование параметров буровзрывных работ.

Выявлены основные направления технологического развития БВР для некоторых крупных карьеров Уральского региона и Сибири, такие как получение, обработка и применение дополнительной информации о свойствах и структуре горного массива, исследование вопросов выбора перспективной буровой и зарядной техники, конструкций зарядов и способов их инициирования. Установлено, что достижение системного и управляемого внедрения нововведений требует исследования переходных процессов и учета закономерностей их развития.

Список литературы

1. Яковлев В.Л., 2019. *Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов*. Екатеринбург: УрО РАН, 284 с.
2. Комащенко В.И., Воробьев Е.Д., Лукьянов В.Г., 2017. Разработка технологии взрывных работ, уменьшающей вредное воздействие на окружающую среду. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, Т. 328, № 8, С.33 - 40.
3. Яковлев В.Л., Галкин А.М., Гусев Р.М., 2014. *Опыт проектирования, строительства и эксплуатации глубоких карьеров*. Екатеринбург: УрО РАН, 105 с.
4. Бондаренко И.Ф., Жариков С.Н., Зырянов И.В., Шеменёв В.Г., 2017. *Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии*. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 172 с.
5. Жариков С.Н., Меньшиков П.В., Кутуев В.А., Таранжин С.С., 2020. Научное обеспечение производства особо ответственных видов взрывных работ на основе опыта лаборатории разрушения горных пород. *Проблемы недропользования*, № 1, С. 66 – 79. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.01.066
6. Буткин В.Д., Гилев А.В. и др., 2010. *Выбор и рациональная эксплуатация буровых инструментов и станков на карьерах*. Красноярск: СФУ, 236 с.
7. Сухов Р.И., Реготунов А.С., 2019. Анализ состояния парка станков и направлений совершенствования технологии бурения. *Технология и безопасность взрывных работ. Материалы научно-производственных семинара и конференции 2018 г. Отв. ред. Г.П. Берсенёв*. Екатеринбург: ООО Универсальная Типография «Альфа Принт», С. 37 – 42.
8. Сухов Р.И., Реготунов А.С., 2020. Методические основы исследования факторов повышения производительности и снижения себестоимости буровых работ на карьерах. *Технология и безопасность взрывных работ: Материалы научно-производственных семинара и конференции 2019 г. Отв. ред. Г.П. Берсенев*. Екатеринбург: ООО Универсальная Типография «Альфа Принт», С. 34 – 42.
9. SakizU., KayaG.U., YaraliO., 2021. Prediction of drilling rate index from rock strength and cerchar abrasivity index properties using fuzzy inference system. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 14, No. 5. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06647-w>
10. Camargo L.F.R., Henrique L., Pacheco D. and Sartori F., 2018. A method for integrated process simulation in the mining industry. *European Journal of Operational Research*, Vol. 264, No. 3, pp. 1116 - 1129. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.07.013>
11. Krúpa V., Kruláková M., Lazarová E., Labaš M., Feriančíková K., Ivaničová L., 2018. Measurement, modeling and prediction of penetration depth in rotary drilling of rocks. *Measurement*, Vol. 117, pp. 165 - 175. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.12.007>
12. Hong-li Wang, Wei Bao, Xian-tang Zhang and Tai-hui Xu, 2017. Study on prediction of rotary-impact drilling speed of rock drill. *Advances in Engineering:International Con-*

ference on Manufacturing Engineering and Intelligent Materials (ICMEIM 2017), Vol. 100, pp. 201 – 206. <https://doi.org/10.2991/icmeim-17.2017.34>

13. Котяшев А.А., Шеменев В.Г., 2015. Апробация технологии разрушения массивов скальных пород с применением рассредоточенных зарядов. *Горный журнал Казахстана*, № 7, С. 30 – 34.

14. Меньшиков П.В., Таранжин С.С., Флягин А.С., 2019. Применение предохранительных укрытий из шин автосамосвалов при ведении взрывных работ на Карагайском карьере. *Проблемы недропользования*, № 2, С. 27 – 33. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.02.027>

15. Жариков С.Н., Шеменев В.Г., Кутуев В.А., 2017. Об особенностях производства буровзрывных работ в условиях севера. *Проблемы недропользования*, №3, С. 30 - 36. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.030

16. Яковлев В.Л., 2017. Исследование переходных процессов – новый методологический подход к разработке и развитию инновационных технологий добычи и рудо-подготовки минерального сырья при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений. *Проблемы недропользования*, № 2, С. 5 – 14. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.02.005

17. Яковлев В.Л., 2020. О методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых для разработки стратегии развития минерально-сырьевой базы России. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 7, С. 5 – 20. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-7-5-20>

18. Яковлев В.Л., Осипова И.А., 2020. Переходные процессы при отработке угольного месторождения в свете интеллектуального управления. *Известия Уральского государственного горного университета*, № 4, С. 166 - 172. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2020-4-166-172>

19. Яковлев В.Л., Корнилков С.В., Соколов И.В., 2018. *Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья*. Екатеринбург: УрО РАН, 360 с.

20. Корнилков С.В., Яковлев В.Л., 2016. О методических подходах к прогнозу технологического развития в горнодобывающих отраслях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S21, С. 418 – 434.

References

1. Yakovlev V.L., 2019. *Issledovanie perekhodnykh protsessov – novoe napravlenie v razvitiy metodologii kompleksnogo osvoeniya georesursov* [Study of transients as a new direction in the development of the methodology of integrated development of geo-resources]. Ekaterinburg: UrO RAN, 284 p.

2. Komashchenko V.I., Vorob'ev E.D., Luk'yanov V.G., 2017. *Razrabotka tekhnologii vzryvnykh rabot, umen'shayushchei vrednoe vozdeistvie na okruzhayushchuyu sredu* [Development of a blasting technology that reduces the harmful impact on the environment]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, Vol. 328, № 8, p. 33 – 40.

3. Yakovlev V.L., Galkin A.M., Gusev R.M., 2014. *Opyt proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii glubokikh kar'erov* [Experience in the design, construction and operation of deep quarries]. Ekaterinburg: UrO RAN, 105 p.

4. Bondarenko I.F., Zharikov S.N., Zyryanov I.V., Shemenov V.G., 2017. *Burovzryvnye raboty na kimberlitovykh kar'erakh Yakutii* [Drilling and blasting operations at the kimberlite quarries of Yakutia]. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 172 p.

5. Zharikov S.N., Men'shikov P.V., Kutuev V.A., Taranzhin S.S., 2020. *Nauchnoe obespechenie proizvodstva osobo otvetstvennykh vidov vzryvnykh rabot na osnove opyta laboratorii razrusheniya gornykh porod* [Scientific support for the production of particularly re-

sponsible types of explosive devices based on the experience of the Rock Destruction Laboratory]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 1, S. 66 – 79. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.01.066

6. Butkin V.D., Gilev A.V. i dr., 2010. *Vybor i ratsional'naya ekspluatatsiya burovnykh instrumentov i stankov na kar'erakh* [Selection and rational operation of drilling tools and machines in quarries]. Krasnoyarsk: SFU, 236 p.

7. Sukhov R.I., Regotunov A.S., 2019. *Analiz sostoyaniya parka stankov i napravlenii sovershenstvovaniya tekhnologii bureniya* [Analysis of the state of machinery park and of directions for improving drilling technology]. *Tekhnologiya i bezopasnost' vzryvnykh работ: Materialy nauchno-proizvodstvennykh seminarov i konferentsii 2018 g.* Otv. red. G.P. Bersenev. Ekaterinburg: OOO Universal'naya Tipografiya "Al'fa Print", p. 37 – 42.

8. Sukhov R.I., Regotunov A.S., 2020. *Metodicheskie osnovy issledovaniya faktorov povysheniya proizvoditel'nosti i snizheniya sebestoimosti burovnykh работ na kar'erakh* [Methodological foundations of the study of factors for increasing the productivity and reducing the cost of drilling operations at quarries]. *Tekhnologiya i bezopasnost' vzryvnykh работ: Materialy nauchno-proizvodstvennykh seminarov i konferentsii 2019 g.* Otv. red. G.P. Bersenev. Ekaterinburg: OOO Universal'naya Tipografiya "Al'fa Print", p. 34 – 42.

9. Sakiz U., Kaya G.U., Yarali O., 2021. Prediction of drilling rate index from rock strength and cerchar abrasivity index properties using fuzzy inference system. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 14, No. 5. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06647-w>

10. Camargo L.F.R., Henrique L., Pacheco D. and Sartori F., 2018. A method for integrated process simulation in the mining industry. *European Journal of Operational Research*, Vol. 264, No. 3, pp. 1116 - 1129. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.07.013>

11. Krúpa V., Kruľáková M., Lazarová E., Labaš M., Feriančíková K., Ivaničová L., 2018. Measurement, modeling and prediction of penetration depth in rotary drilling of rocks. *Measurement*, Vol. 117, pp. 165 - 175. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.12.007>

12. Hong-li Wang, Wei Bao, Xian-tang Zhang and Tai-hui Xu, 2017. Study on prediction of rotary-impact drilling speed of rock drill. *Advances in Engineering: International Conference on Manufacturing Engineering and Intelligent Materials (ICMEIM 2017)*, Vol. 100, pp. 201 – 206. <https://doi.org/10.2991/icmeim-17.2017.34>

13. Kotyashov A.A., Shemenev V.G., 2015. *Aprobatsiya tekhnologii razrusheniya mas-sivov skal'nykh porod s primeneniem rassredotochennykh zaryadov* [Technology approbation for destruction of rock massifs with use of dispersed charges]. *Gornyi zhurnal Kazakhstana*, № 7, p. 30 – 34.

14. Men'shikov P.V., Taranzhin S.S., Flyagin A.S., 2019. *Primenenie predokhranitel'nykh ukrytii iz shin avtosamosvalov pri vedenii vzryvnykh работ na Karagaiskom kar'ere* [Use of safety shelters made of dump truck tires during blasting operations at the Karagaysky quarry]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2, p. 27 – 33. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.02.027>

15. Zharikov S.N., Shemenev V.G., Kutuev V.A., 2017. *Ob osobennostyakh proizvodstva burovzryvnykh работ v usloviyakh severa* [On the peculiarities of drilling and blasting operations in the north conditions]. *Problemy nedropol'zovaniya*, №3, p. 30 - 36. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.030

16. Yakovlev V.L., 2017. *Issledovanie perekhodnykh protsessov – novyi metodologicheskii podkhod k razrabotke i razvitiyu innovatsionnykh tekhnologii dobychi i rudopodgotovki mineral'nogo syr'ya pri osvoenii glubokozalegayushchikh slozhnostrukturnykh mestorozhdenii* [Study of transitional processes as a new methodological approach to the development and improvement of innovative technologies for the extraction and preparation of mineral raw materials during the development of deep-lying complex-structured deposits]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2, p. 5 – 14. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.02.005

17. Yakovlev V.L., 2020. *O metodologii kompleksnogo osvoeniya zapasov mestorozhdenii tverdykh poleznykh iskopaemykh dlya razrabotki strategii razvitiya mineral'no-syr'evoi bazy Rossii* [On methodology of complex development of reserves of solid mineral

deposits for improvement of strategy for the extension of mineral resource base of Russia]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, № 7, p. 5 – 20. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-7-5-20>

18. Yakovlev V.L., Osipova I.A., 2020. *Perekhodnye protsessy pri otrabotke ugol'nogo mestorozhdeniya v svete intellektual'nogo upravleniya* [Transients in the development of a coal deposit in the light of intelligent management]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, № 4, p. 166 - 172. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2020-4-166-172>

19. Yakovlev V.L., Kornil'kov S.V., Sokolov I.V., 2018. *Innovatsionnyi bazis strategii kompleksnogo osvoeniya resursov mineral'nogo syr'ya* [Innovative basis of strategy for integrated development of mineral resources]. Ekaterinburg: UrO RAN, 360 p.

20. Kornil'kov S.V., Yakovlev V.L., 2016. *O metodicheskikh podkhodakh k prognozu tekhnologicheskogo razvitiya v gornodobyvayushchikh otraslyakh* [On methodological approaches to the forecasting the technological development in the mining industries]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № S21, p. 418 – 434.