

УДК 622.235

Яковлев Виктор Леонтьевич

доктор технических наук, профессор,
советник РАН, член-корреспондент РАН,
главный научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58;
e-mail: yakovlev@igduran.ru;

Жариков Сергей Николаевич

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

Реготунов Андрей Сергеевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория разрушения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: pochta8400@inbox.ru;

Кутуев Вячеслав Александрович

научный сотрудник,
лаборатория разрушения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: 9634447996@mail.ru

Меньшиков Павел Владимирович

научный сотрудник,
лаборатория разрушения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: menshikovpv@mail.ru

**КОМПЛЕКСНОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ВЗРЫВНОЙ НАГРУЗКИ С УЧЕТОМ
ИНФОРМАЦИИ ОБ ИЗМЕНЧИВОСТИ
МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД
В ГРАНИЦАХ ВЫЕМОЧНОГО БЛОКА****Аннотация:*

Существующий принцип расчета параметров БВР по методикам основан на представлении массива как однородного по составу и строению объекта воздействия. Тем не менее реальный массив горных пород, предназначенный для взрывного разрушения, не является постоянным по своему строению и составу физическим объектом. Поэтому проектирование БВР должно решаться на основе принципов оперативного и систематического учета изменчивости физико-механических свойств горных пород в динамике процесса добычи и совершенствования на этой основе соответствующих подходов управления детонационными и энергетическими характеристиками эмульсионных ВВ (ЭВВ).

В статье обоснована актуальность выполняемых исследований, выполнен обзор современного состоя-

DOI: 10.25635/2313-1586.2024.04.096

Yakovlev Viktor L.

Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Adviser to the RAS,
Corresponding Member of the RAS,
Chief Researcher,
Institute of Mining UB RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: yakovlev@igduran.ru;

Zharikov Sergey N.

Candidate of Technical Sciences,
Leading Researcher,
Head of Laboratory of rock destruction,
Institute of Mining UB RAS
e-mail: 333vista@mail.ru

Regotunov Andrey S.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of rock destruction,
Institute of Mining UB RAS
e-mail: pochta8400@inbox.ru

Kutuev Vyacheslav A.

Researcher,
Laboratory of rock destruction,
Institute of Mining UB RAS
e-mail: 9634447996@mail.ru

Menshikov Pavel V.

Researcher,
Laboratory of rock destruction,
Institute of Mining UB RAS
e-mail: menshikovpv@mail.ru

**COMPREHENSIVE JUSTIFICATION
OF THE EXPLOSIVE LOAD, TAKING
INTO ACCOUNT INFORMATION ABOUT
THE VARIABILITY OF THE ROCK MASS
WITHIN THE BOUNDARIES
OF THE EXCAVATION BLOCK***Abstract:*

The existing principle of calculating the parameters of drilling and blasting operations according to the methods is based on the representation of the array as a homogeneous object of influence in composition and structure. Nevertheless, a real rock mass intended for explosive destruction is not a permanent physical object in its structure and composition. Therefore, the design of drilling and blasting operations should be solved on the basis of the principles of operational and systematic consideration of the variability of the physical and mechanical properties of rocks in the dynamics of the mining process, and improvement on this basis of appropriate approaches to control the detonation and energy characteristics of emulsion explosives.

The article substantiates the relevance of the research carried out, provides an overview of the current state of

* Исследования выполнены в рамках Государственного задания №075-00412-22 ПР, темы 1 (2022-2024): Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), пер. №1021062010531-8-1.5.1, а также при дополнительном привлечении хоздоговорных средств.

ния способов учета изменчивости свойств массива горных пород, физико-механических свойств и расчета конструкций зарядов ВВ. Показаны результаты определения показателей изменчивости физико-механических и структурных свойств горных пород, получаемых на основе данных шарошечного бурения, выбора порядка инициирования промежуточных детонаторов в скважинах в зависимости от прочности и неоднородности массива горных пород, а также управления скоростью детонации основного заряда ЭВВ с помощью изменения массы эмульсионного промежуточного детонатора.

Используя накопленную базу экспериментальных данных по сейсмическому воздействию взрывов в условиях месторождений Урала, Сибири, Карелии и Казахстана, установлены и приведены в статье коэффициенты грунтовых условий и показатели степени затухания сейсмических колебаний. Полученные эмпирические коэффициенты и показатели позволяют точнее и быстрее выполнять оценку скоростей смещения в ближней, промежуточной и дальней зонах и определять уровень сейсмического воздействия на охраняемые участки бортов карьеров при различном направлении инициирования скважинных зарядов ВВ с учетом фактора сезонности.*

Ключевые слова: разрушение горных пород, буровзрывные работы, карьер, прочностные свойства, энергетические и детонационные характеристики ВВ, параметры промежуточных детонаторов, неоднородность, сейсмозрывное воздействие.

methods for accounting for the variability of the properties of a rock mass, physical and mechanical properties and calculation of explosive charge structures. The results of determining the variability of the physico-mechanical and structural properties of rocks obtained on the basis of data from spherical drilling, choosing the order of initiation of intermediate detonators in wells depending on the strength and heterogeneity of the rock mass, as well as controlling the detonation rate of the main charge are shown emulsion explosives by changing the mass of the emulsion intermediate detonator.

Using the accumulated database of experimental data on the seismic effects of explosions in the conditions of deposits in the Urals, Siberia, Karelia and Kazakhstan, the coefficients of ground conditions and indicators of the degree of attenuation of seismic vibrations are established and presented in the article. The obtained empirical coefficients and indicators allow for more accurate and faster assessment of displacement velocities in the near, intermediate and far zones and to determine the level of seismic impact on protected areas of quarry sides in different directions of initiation of borehole explosive charges, taking into account the seasonality factor.

Key words: rock destruction, drilling and blasting, quarry, strength properties, energy and detonation characteristics of explosives, parameters of intermediate detonators, heterogeneity, seismic and explosive effects.

Введение

Взрывная подготовка горной массы к экскавации относится к основным технологическим процессам горного производства и в значительной мере определяет себестоимость добычи полезных ископаемых.

Установлено, что на ряде крупных карьеров России [1] применяется до нескольких видов взрывчатых веществ (ВВ), типоразмеров диаметров взрывных скважин, схем и систем инициирования, вспомогательных средств формирования конструкции заряда ВВ. В работах [2, 3] показано, что при внедрении технических новшеств возникает ряд сложностей – повышенный выход некондиционных кусков разрушенной горной массы, значительный сейсмический эффект на законтурный массив с последующим заколообразованием и возможным обрушением уступов борта, неправильная форма развала взорванной горной массы. Происходит это из-за недостаточного детального учета изменчивости прочностных свойств горных пород в пределах выемочного блока и физико-химических свойств ВВ в скважине после заряжания, чем обусловлена необходимость уточнять разрушающую взрывную нагрузку и прогноз сейсмического действия взрыва.

Практика ведения буровзрывных работ (БВР) показывает, что за основные характеристики прочности массива горных пород на горных предприятиях принимаются коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова, категория буримости и взрываемости, устанавливаемые по частным классификациям самих предприятий. При таком подходе учитываются средние параметры отдельностей в массиве, что явно недостаточно для проектирования рациональной разрушающей взрывной нагрузки.

Выбор типа эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ), промежуточного детонатора, конструкции заряда ВВ, порядка внутрискважинного инициирования является

* Исследования выполнены при участии: А.С. Флягина, Л.А. Васильевой

одной из основных задач, которые приходится решать при составлении проекта на массовый взрыв очередного выемочного блока на карьере. В настоящее время на первое место, при обосновании параметров БВР выходит вопрос о достижении рационального соотношения между прочностными и структурными свойствами горных пород и энергетическими характеристиками ЭВВ, что достигается применением соответствующей конструкции заряда. Конструкция заряда должна обеспечивать такое распределение энергии взрыва, чтобы на участки массива горных пород с повышенной трещиноватостью приходилось меньше энергии, чем на остальной массив, и газовые потоки от взрывного превращения ЭВВ способствовали их схлопыванию. Теоретическому и экспериментальному обоснованию указанного вопроса посвящены работы [4 – 9]. Тем не менее подход к выбору места расположения промежуточного детонатора в заряде ЭВВ в зависимости от положения структурных неоднородностей требует дополнительного обоснования с учетом фактических измеренных значений скорости детонации на полигоне в гильзах или в скважинах в условиях карьера ВВ. Вторым важным вопросом является обеспечение стабильного физико-химического состава ЭВВ, т.к. согласно [10] установлено, что после заряжания ЭВВ и до взрыва изменяются такие свойства, как плотность, вязкость, газификация, температура эмульсии, значительно влияющие в целом на детонационные и энергетические характеристики ЭВВ. Третьим важным вопросом является расчет сейсмического действия взрыва на устойчивость охраняемых участков бортов карьера. Результаты исследований [11 – 16] свидетельствуют, что для прогнозирования скорости смещения различных грунтов в ближней и дальней зонах взрыва (законтурный массив горных пород, промышленные здания и домовладения вблизи горного предприятия) разработаны различные расчетные модели. Однако в отечественных и зарубежных исследованиях недостаточно рассмотрен фактор сезонности, т.е. влияние положительной и отрицательной температур грунта на сейсмозрывное воздействие, главным образом, в ближней и промежуточной (средней) зонах действия взрыва.

Таким образом, целью исследований является разработка комплексного подхода обоснования параметров БВР, предполагающего поэтапное определение информации об изменчивости свойств массива горных пород, характеристик ЭВВ и уточнение на этой основе величины и направления действия взрывной нагрузки с оценкой уровня сейсмического воздействия на охраняемые участки бортов карьера и объекты, расположенные на дневной поверхности.

Результаты исследований

Профессор, д.т.н. И.А. Тангаев впервые предложил способ оперативного уточнения физико-механических свойств по энергоемкости шарошечного бурения взрывных скважин [17]. Далее способ получил развитие в работах [18 – 26] и в ИГД УрО РАН [27 – 29], что стало основой для дальнейшего развития способа в части определения зон неоднородности массива горных пород по данным шарошечного бурения взрывных скважин. В процессе исследований установлено, что разброс измеренных значений момента вращения шарошечного долота относительно среднего значения находится в корреляционной зависимости со скоростью бурения на неоднородном участке локального массива. Реализация установленного факта в производственных условиях позволяет моделировать распределение крепости горных пород с учетом их неоднородности по высоте уступа выемочного блока. Для этого был разработан соответствующий методический подход [30], апробированный на карьере ПАО «Ураласбест».

В результате (рис. 1) установлены прочностные модели состояния массива горных пород по его буримости, дополненные данными о неоднородности массива горных пород по признаку «асбестовая волокно-вмещающая порода». Анализ моделей в целом показал, что на горизонтальных и вертикальных сечениях по контрасту выбранной ха-

рактические наблюдения различия буримости серпентинитов. В некоторых случаях это можно связать с зоной техногенной нарушенности от предыдущих взрывов на отработанном горизонте. В целом опытно-промышленная проверка показала удовлетворительные результаты и указала на перспективу развития дальнейших исследований в этом направлении.

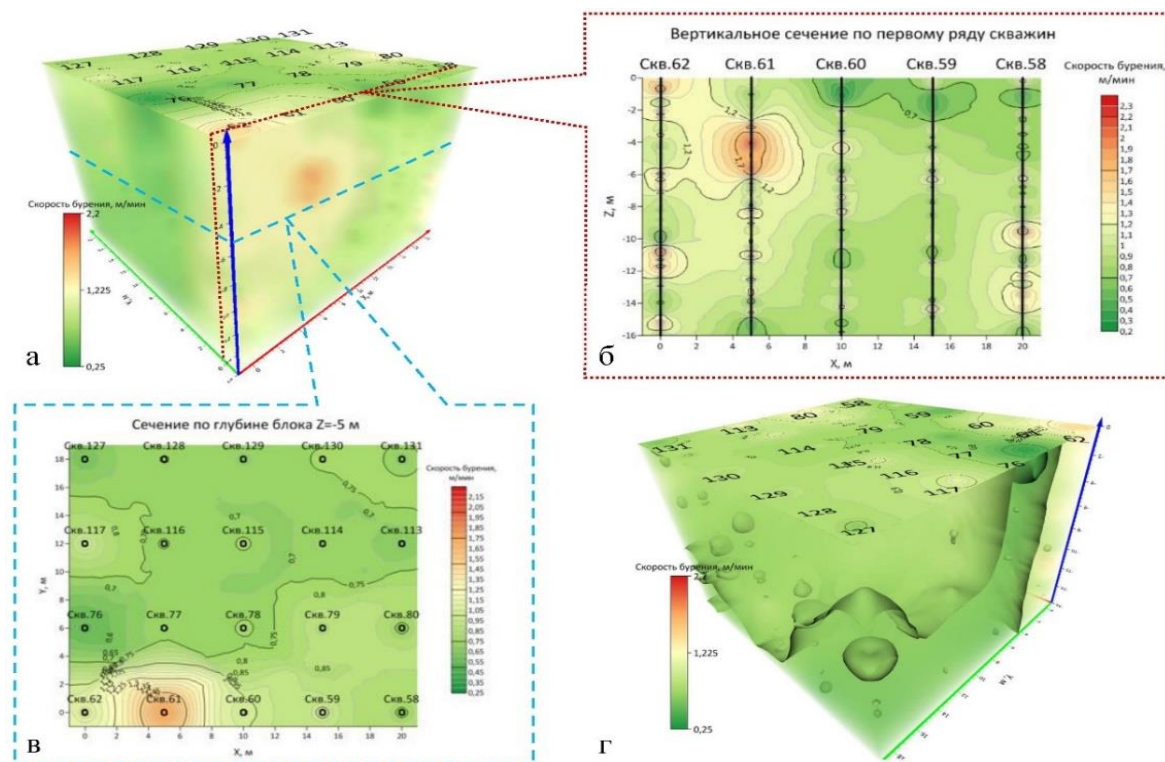


Рис. 1. Моделирование свойств массива горных пород по его буримости:

- а – цифровая модель по скорости бурения каждого метра скважин;
- б, в – вертикальное и горизонтальное сечения модели;
- г – модель для оценки неоднородности массива по содержанию асбестового волокна в руде

Полученные модели с указанными на них участками возможной неоднородности были использованы для разработки критериального подхода к выбору промежуточных детонаторов в зависимости от структурных свойств массива и фактически измеренных детонационных характеристик конкретных ЭВВ, а также обоснования порядка внутрискважинного инициирования. Условия выбора представлены в табл. 1.

Масса и тип промежуточного детонатора (ПД) должны определяться по результатам проведенных исследований скорости детонации и плотности ЭВВ, представленных в табл. 2. Особенности детонационных свойств ЭВВ и ПД могут быть уточнены при проведении периодических и полигонных испытаний.

Высота расположения ПД в скважинном заряде определяется по маркшейдерским профилям и ранее уточненным моделям расположения зон неоднородности в массиве выемочных блоков. Оптимальное расстояние расположения ПД от трещины составляет 0,5 – 1 м. При расположении ПД на меньшем расстоянии от трещины при взрыве теряется энергия на ее раскрытие.

В результате исследований по разработке подхода к управлению детонационными характеристиками заряда ЭВВ установлена возможность стабилизации в скважинных условиях плотности состава ЭВВ с помощью добавления микросфер.

Таблица 1

**Условия выбора способа инициирования скважинных зарядов
в зависимости от трещиноватости**

Высота уступа, м	Трещиноватость (слоистость)	Способ инициирования	Кол-во ПД
< 15 м	Крупноблочный массив без слоистости с редкими трещинами	Прямое, обратное или центральное	1
	Сеть мелких трещин или крупная трещина в верхней и/или средней части борта	Обратное	
	Сеть мелких трещин или крупная трещина в нижней и/или средней части борта	Прямое	
	Сеть мелких трещин или крупные трещины в верхней и нижней части борта	Центральное	
	Сеть мелких трещин или крупные трещины во всем борту	Прямое, обратное или центральное	
от 15 до 25 м	Крупноблочный массив без слоистости с редкими трещинами	Встречное В-Н (0-500), Н-В (0-500) или (0-0)	2
	Сеть мелких трещин или крупные трещины в верхней и средней части борта	Встречное Н-В (0-500)	
	Сеть мелких трещин или крупные трещины в нижней и средней части борта	Встречное В-Н (0-500)	
	Сеть мелких трещин или крупные трещины в средней части борта	Встречное (0-0)	
	Сеть мелких трещин или крупные трещины в верхней и нижней части борта или во всем борту	Встречное В-Н (0-500), Н-В (0-500) или (0-0)	
> 25 м	Крупноблочный массив без слоистости с редкими трещинами	Встречное многоточечное (0-0-0), Н-В (0-0-500), В-Н (0-0-500), Н-Ц и В-Ц (0-500-0) или Ц-Н и ЦВ (500-0-500)	3
	Сеть множества мелких или крупных трещин во всем борту с преобладанием нарушения в верхней части	Встречное многоточечное Н-В (0-0-500)	
	Сеть множества мелких или крупных трещин во всем борту с преобладанием нарушения в нижней части	Встречное многоточечное В-Н (0-0-500)	
	Сеть множества мелких или крупных трещин во всем борту с преобладанием нарушения в средней части	Встречное многоточечное Н-Ц и В-Ц (0-500-0)	
	Сеть множества мелких или крупных трещин во всем борту с преобладанием нарушения в верхней и нижней части	Встречное многоточечное Ц-Н и Ц-В (500-0-500)	
	Сеть множества мелких или крупных трещин во всем борту	Встречное многоточечное (0-0-0), Н-В (0-0-500), В-Н (0-0-500), Н-Ц и В-Ц (0-500-0) или Ц-Н и ЦВ (500-0-500)	

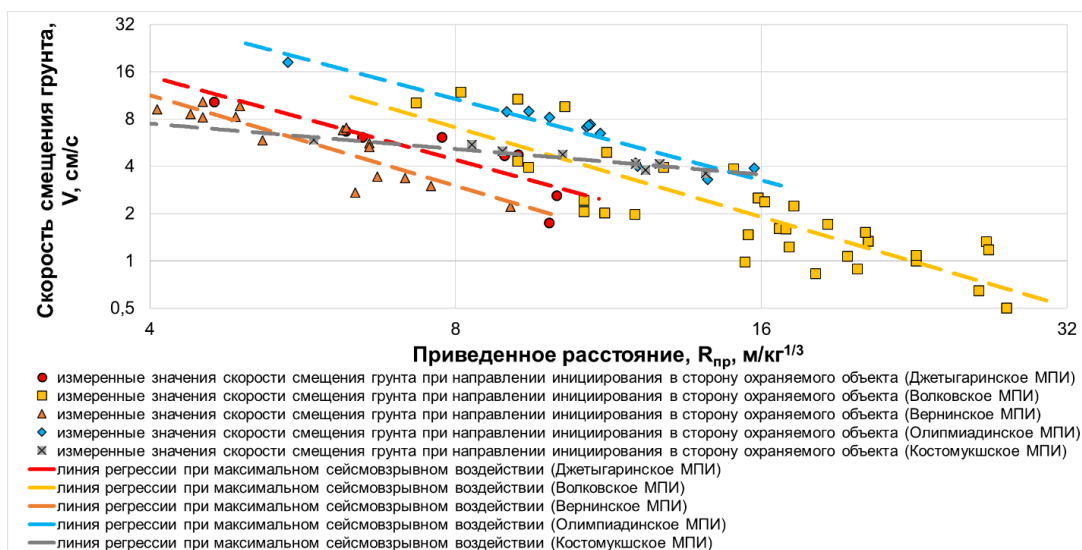
В, Н, Ц – верхнее, нижнее и центральное расположение ПД в скважине

Таблица 2

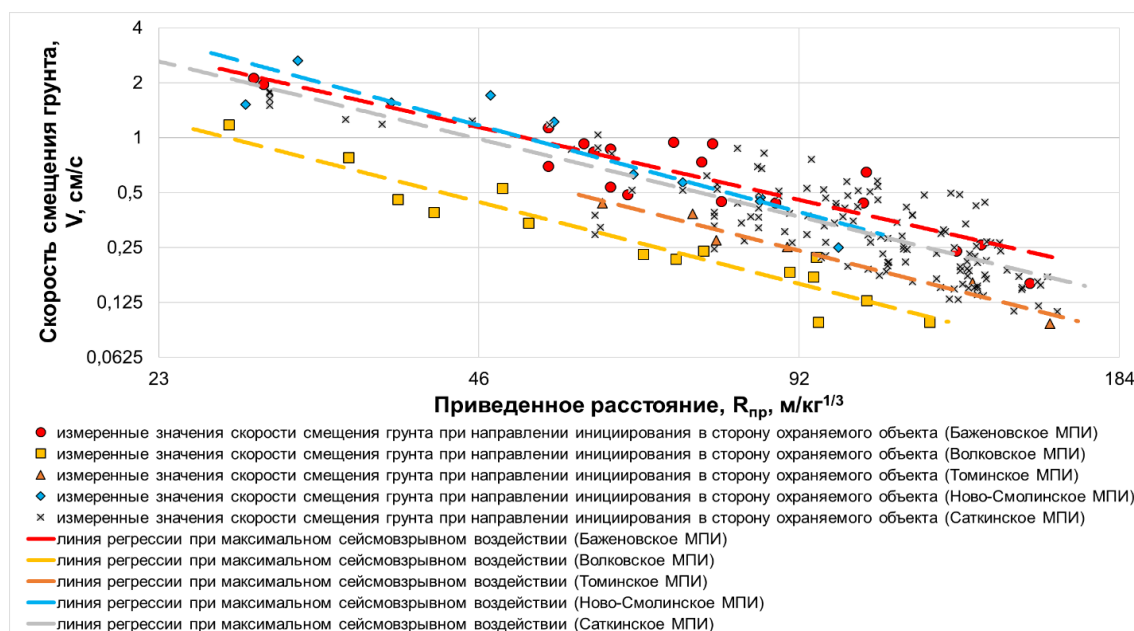
Определение рациональных масс и типов ПД для применяемых ЭВВ

ип ЭВВ	Постоянная плотность ЭВВ, г/см ³	Уравнение	Коэффициент детерминации	Максимальная скорость детонации, м/с	Оптимальная масса ПД	Диапазон оптимальных масс ПД	Рекомендуемые типы ПД
Фортис 70	1,15	$D(1,15) = -0,0169 \cdot Q_{\text{ПД}}^2 + 21,771 \cdot Q_{\text{ПД}} - 1130,7$	0,709	5900	650	600 - 750	ПДП-600, ПТ-600Л, Т-600Г, ПТ-П750
Фортис 85	1,15	$D(1,15) = -0,4158 \cdot Q_{\text{ПД}}^2 + 460,98 \cdot Q_{\text{ПД}} - 121783$	0,347	5900	550	500 - 600	ПТ-П500, ТС-500Л, Т-500Л, ПДП-600, ПТ-600Л, Т-600Г
Фортис 100	1,1	$D(1,1) = -0,0173 \cdot Q_{\text{ПД}}^2 + 26,515 \cdot Q_{\text{ПД}} - 4300$	0,852	5900	780	750 - 800	ПТ-П750, Т-400Г (2 шт.), ТП-400 (2 шт.), БШД-800У, Т-800, РУВ-800
	1,15	$D(1,15) = -0,0085 \cdot Q_{\text{ПД}}^2 + 10,092 \cdot Q_{\text{ПД}} + 2522,2$	0,981	5525	580	500 - 600	ПТ-П500, ТС-500Л, Т-500Л, ПДП-600, ПТ-600Л, Т-600Г
	1,17	$D(1,17) = -0,0142 \cdot Q_{\text{ПД}}^2 + 18,331 \cdot Q_{\text{ПД}} - 136,85$	0,939	5775	650	600 - 750	ПДП-600, ПТ-600Л, Т-600Г, ПТ-П750
	1,2	$D(1,2) = -0,0108 \cdot Q_{\text{ПД}}^2 + 16,991 \cdot Q_{\text{ПД}} - 507,83$	0,646	6200	800	750 - 850	ПТ-П750, Т-400Г (2 шт.), ТП-400 (2 шт.), БШД-800У, Т-800, РУВ-800, ТГФ-850Э
Гранэммит ОМ-70	1,1	$D(1,1) = -0,0136 \cdot Q_{\text{ПД}}^2 + 14,935 \cdot Q_{\text{ПД}} + 1291,1$	0,964	5400	550	500 - 600	ПТ-П500, ТС-500Л, Т-500Л, ПДП-600, ПТ-600Л, Т-600Г
Нитронит Э-70	1,11	$D(1,11) = -0,0033 \cdot Q_{\text{ПД}}^2 + 6,4637 \cdot Q_{\text{ПД}} + 2906,8$	0,496	6100	950	850 - 1000	ТГФ-850Э, ПТ-П500 (2 шт.), ТС-500Л (2 шт.), Т-500Л (2 шт.), ТС-1000Л, ТГУ-1000К
	1,12	$D(1,12) = -0,0016 \cdot Q_{\text{ПД}}^2 + 3,686 \cdot Q_{\text{ПД}} + 3327,7$	0,997	5400	1150	1000 - 1200	ПТ-П500 (2 шт.), ТС-500Л (2 шт.), Т-500Л (2 шт.), ТС-1000Л, ТГУ-1000К, ПДП-600 (2 шт.), ПТ-600Л (2 шт.), Т-600Г (2 шт.)
	1,15	$D(1,15) = -0,0024 \cdot Q_{\text{ПД}}^2 + 5,2893 \cdot Q_{\text{ПД}} + 2710$	0,570	5600	1100		Т-400Г, ТП-400, ПТ-П500, ТС-500Л, Т-500Л
	1,2	$D(1,2) = -0,009 \cdot Q_{\text{ПД}}^2 + 8,5969 \cdot Q_{\text{ПД}} + 2243,7$	0,326	4300	475	400 - 500	Т-400Г, ТП-400, ПТ-П500, ТС-500Л, Т-500Л
	1,23	$D(1,23) = -0,0098 \cdot Q_{\text{ПД}}^2 + 10,721 \cdot Q_{\text{ПД}} + 2134,6$	0,449	5070	550	500 - 600	ПТ-П500, ТС-500Л, Т-500Л, ПДП-600, ПТ-600Л, Т-600Г
	1,25	$D(1,25) = -0,0136 \cdot Q_{\text{ПД}}^2 + 14,433 \cdot Q_{\text{ПД}} + 1568,6$	0,578	5400	525	500 - 600	
Порэммит-1А	1,11	$D(1,11) = -0,0686 \cdot Q_{\text{ПД}}^2 + 113,27 \cdot Q_{\text{ПД}} - 41204$	0,583	5550	825	800 - 850	Т-400Г (2 шт.), ТП-400 (2 шт.), БШД-800У, Т-800, РУВ-800, ТГФ-850Э,
	1,26	$D(1,26) = -0,1683 \cdot Q_{\text{ПД}}^2 + 239,45 \cdot Q_{\text{ПД}} - 79232$	0,698	5900	710	700 - 750	ПТ-П750

При исследовании и анализе данных замеров сейсмике ближней и промежуточной зон взрыва (рис. 2а), в области приведенных расстояний $4 \leq R_{пр} < 28$, в условиях карьеров Джетыгаринского, Костомукшского, Вернинского, Олимпиадинского и Волковского месторождений установлено, что коэффициент пропорциональности между приведенным расстоянием и скоростью смещения при среднем прогнозе сейсмозрывного воздействия $K'_{ср} = 83,8 - 659,6$, а при максимальном прогнозе $K'_{макс} = 95 - 840$, для всех исследуемых грунтов с коэффициентами крепости $f = 6 - 19$ и категориями по трещиноватости $K_{тр} = II - IV$, при положительной и отрицательной температурах грунта. Показатель степени затухания сейсмических колебаний находился в диапазоне $n = 1,47 - 1,92$. При максимальном прогнозе сейсмозрывного воздействия для всех исследуемых грунтов, с отрицательной и положительной температурой, средние значения $K' = 468$ и $n = 1,7$.



а – ближняя и промежуточная зоны взрыва



б – дальняя зона взрыва

Рис. 2. Зависимость $V = f(R_{пр})$ при массовых взрывах в условиях месторождений Урала, Сибири, Карелии и Казахстана

Исследования сейсмике дальней зоны взрыва (рис. 2б) в области приведенных расстояний $28 \leq R_{пр} \leq 161$, в условиях Баженовского, Волковского, Саткинского, Томинского, Ново-Смолинского месторождений и близлежащих населенных пунктов, по-

казали, что коэффициент пропорциональности при среднем прогнозе сейсмозрывного воздействия $K'_{\text{ср}} = 133,6 - 730,2$, а при максимальном прогнозе $K'_{\text{макс}} = 210 - 890$, для всех исследуемых грунтов с коэффициентами крепости $f = 5 - 16$ и категориями по трещиноватости $K_{\text{тр}} = \text{II} - \text{IV}$, при положительной и отрицательной температурах грунта. Показатель степени затухания сейсмических колебаний находился в диапазоне $n = 1,32 - 1,56$. При максимальном прогнозе сейсмозрывного воздействия для всех исследуемых грунтов, с отрицательной и положительной температурой, средние значения $K' = 550$ и $n = 1,44$.

В результате анализа экспериментальных данных разработан комплексный подход к обоснованию параметров БВР, который подразумевает поэтапное уточнение параметров зарядов ВВ в зависимости от уточняющейся во времени информации о параметрах разрушающего воздействия и свойствах массива горных пород. Последовательность этапного подхода к определению параметров БВР представлена на рис. 3.

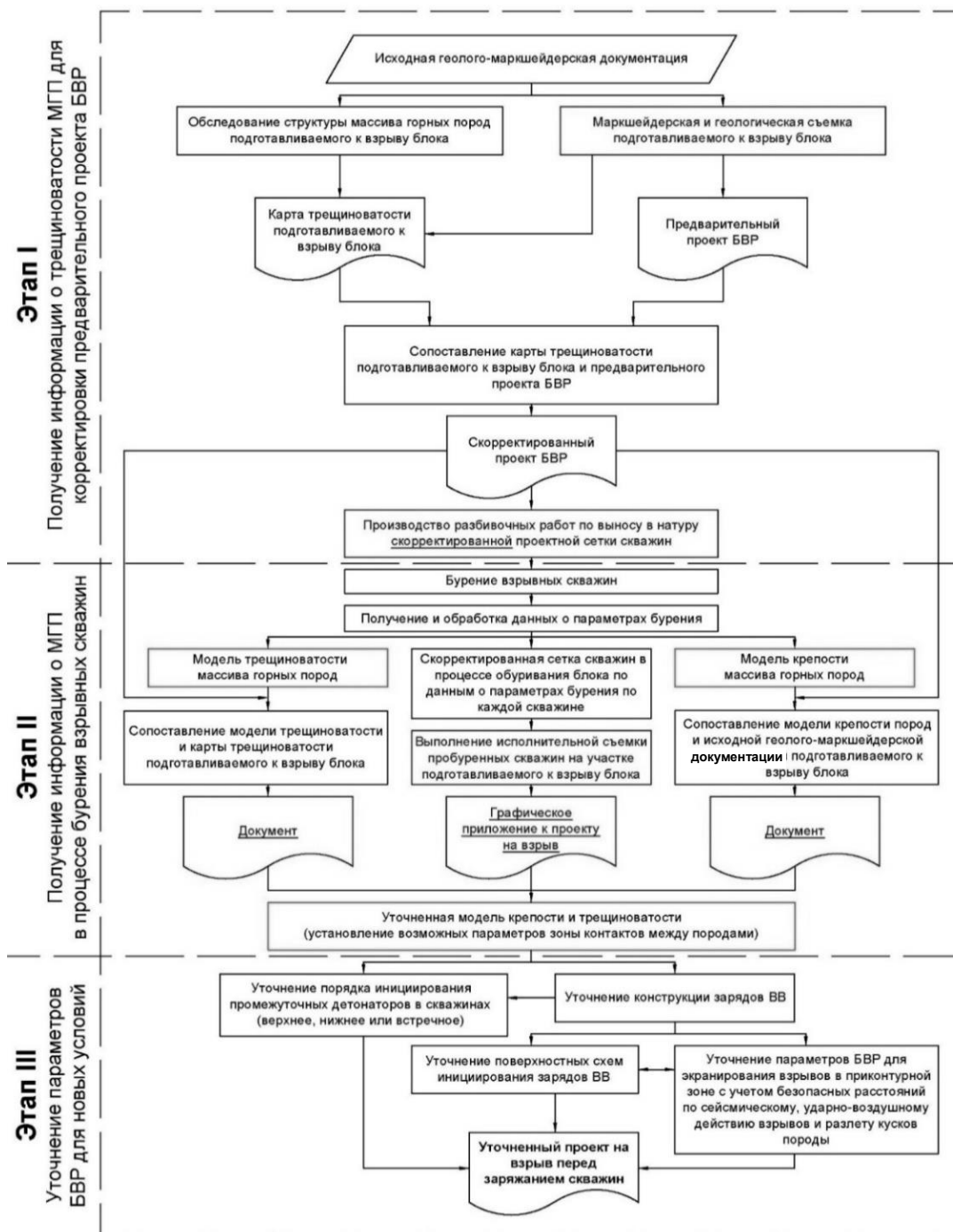


Рис. 3. Поэтапное обоснование параметров БВР к изменяющимся горно-геологическим условиям в динамике открытой разработки ПИ

Выводы

Разработан комплексный подход обоснования параметров БВР с учетом изменчивости свойств массива горных пород и разрушающей взрывной нагрузки в динамике горных работ в карьере, отличающийся от известных подходов тем, что свойства массива горных пород и разрушающей нагрузки уточняются по мере отработки месторождения систематически и оперативно с применением специальных технических средств. В основе комплексного подхода лежат усовершенствованные приемы определения показателей изменчивости физико-механических свойств горных пород, получаемых на основе данных обуривания выемочных блоков; регрессионных связей между свойствами зарядов ЭВВ и их детонационными характеристиками, в том числе меры по стабилизации этих характеристик; параметров промежуточных детонаторов и схем их размещения в зарядах в соответствии с уточненной информацией о структурном состоянии массива горных пород; а также прогнозных значений сейсмического воздействия технологических взрывов. Комплексный подход включает геометризацию массива горных пород по трещиноватости, уточнение свойств пород выемочного блока по данным бурения и поэтапную корректировку параметров БВР при подготовке к взрыву.

Список литературы

1. Реготунов А.С., Жариков С.Н., Сухов Р.И., Кутуев В.А., 2021. Оценка современного состояния буровзрывных работ и необходимость осуществления переходных процессов на некоторых крупных горных предприятиях Урала и Сибири. *Проблемы недропользования*, № 2(29), С. 52-62. DOI 10.25635/2313-1586.2021.02.052.
2. Реготунов А.С., Меньшиков П.В., Жариков С. Н., Кутуев В.А., 2022. Современные технические решения для адаптации параметров взрывного разрушения горных пород на карьерах. *Проблемы недропользования*, № 3(34), С. 114-127. DOI 10.25635/2313-1586.2022.03.114.
3. Яковлев В.Л., 2019. *Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов*. Екатеринбург: УрО РАН, 284 с.
4. Котяшев А.А., Шеменев В.Г., 2015. Апробация технологии разрушения массивов скальных пород с применением рассредоточенных зарядов. *Горный журнал Казахстана*, № 7, С. 30-34.
5. Рожков А.А., 2019. Оценка влияния параметров рассредоточения скважинных зарядов на выход некондиционной фракции кварцевой руды. *Проблемы недропользования*, № 1(20), С. 63-69. DOI 10.25635/2313-1586.2019.01.063.
6. Корнилков М.В., Лохни Х., Шеменев В.Г. и др., 2015. Промышленные испытания эмульсионного взрывчатого вещества "Фортис". *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 6, С. 40-44.
7. Шеменев В.Г., Матухно Н.С., Флягин А.С., Леонтьева И.А., 2018. Испытания образцов пористой аммиачной селитры (ПАС) производства НАК "АЗОТ" на совместимость с эмульсией порэмита 1А. *Взрывное дело*, № 119-76, С. 98-106.
8. Зимин А.С., Соснин В.А., Шмотьев А.С., Соломин Е.С., 2021. Исследование физико-химических и детонационных характеристик эмульсионного взрывчатого состава на микросферах FORESPHERE производства ООО "ФОРЭС". *Взрывное дело*, № 131-88, С. 115-123.
9. Соснин В.А., Межеричкий С.Э., Печенев Ю.Г. и др., 2016. Особенности механизма детонации эмульсионных взрывчатых веществ. *Вестник Технологического университета*, Т. 19, № 19, С. 28-33.
10. Жданов Ю.В., Андержанов С.Р., Соснин В.А., Соснин А.В., 2016. Полимерные микросферы в эмульсионных взрывчатых веществах. *Вестник Технологического университета*, Т. 19, № 19, С. 7-10.

11. Садовский М.А., 2004. *Избранные труды: Геофизика и физика взрыва*. Москва: Наука, 440 с.
12. Миронов П.С., 1973. *Взрывы и сейсмобезопасность сооружений*. Москва: Недра, 168 с.
13. Фадеев А.Б., Картузов М.И., Кузнецов Г.В., 1977. *Методические указания по обеспечению устойчивости откосов и сейсмической безопасности зданий и сооружений при ведении взрывных работ на карьерах*. Ленинград: ВНИМИ, 17 с.
14. Верховланцев А.В., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю., Шкурко А.В., 2019. Мониторинг сейсмического воздействия взрывов на карьере «Шахтау». *ФТПРПИ*, №2, С. 59-69.
15. Duvall W.I., Petkof B., 1959. *Spherical Propagation of Explosion-Generated Strain Pulses in Rock*; USBM: Washington, DC, USA, 21 pp.
16. Holmberg R., Persson P.-A., 1978. The Swedish approach to contour blasting. *Proceedings of the 4th Conference on Explosives and Blasting Technique, Society of Explosives Engineers, New Orleans, Louisiana, 10-15 February*, pp. 113-127.
17. Тангаев И.А., 1978. *Буримость и взрываемость горных пород*. Москва: Недра, 184 с.
18. Bilgin N., Kahraman S., 2003. Drillability prediction in rotary blast hole drilling. *1st International Mining Congress and Exhibition of Turkey, IMCET*, P. 177-182.
19. Liu H., Karen Yin K., 2001. Analysis and interpretation of monitored rotary blasthole drill data. *International Journal of Surface Mining Reclamation and Environment*, August 15 (3), P. 177-203.
20. Hatherly P., Scheduling S. J., Leung R., Robinson D., 2015. Drill monitoring results reveal geological conditions in blasthole drilling. *International Journal of Rock mechanics and Mining Sciences*, September, № 78, P. 144-154.
21. Zhou H., Hatherly P., Monteiro S. T., Ramos F., Oppolzer F., Nettleton E., Scheduling S.J., 2012. Automatic rock recognition from drilling performance data. *Proceedings, IEEE International Conference on Robotics and Automation. RiverCentre, Saint Paul, Minnesota, USA, May 14-18*. P. 3407-3412.
22. Kelessidis V.C., 2011. Rock drillability prediction from in situ determined unconfined compressive strength of rock. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, V. 111, P. 429-436.
23. Khorzoughi M.B., Hall R., Apel D., 2018. Rock fracture density characterization using measurement while drilling (MWD) techniques. *International Journal of Mining Science and Technology*, V. 28, № 6, P. 859-864. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.01.001.
24. Radosław W., Waldemar K., Łukasz B., Waldemar R., 2021. Identification of rock mass critical discontinuities while borehole drilling. *Energies. MDPI*, V. 14 (10), P. 1-21. DOI: 10.3390/en14102748.
25. Teale R., 1965. The concept of specific energy in rock drilling. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, V 2, P. 57-73.
26. Коваленко В.А., Стубарев В.М., Мамедов М.Х. и др., 2001. Автоматизированная система сбора данных с буровых станков. *Горный журнал*, № 2, С. 37-39.
27. Regotunov A.S., Sukhov R.I., 2019. Automated device to study the properties of rocks during drilling blast holes in open-pit mines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 262, no. 1, article 012057. DOI: 10.1088/1755-1315/262/1/012057.
28. Сухов Р.И., Реготунов А.С., Гращенко Д.А., 2019. Развитие метода получения информации о состоянии массива горных пород в процессе бурения технологических скважин. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S37, С. 446-454. DOI: 10.25018/02361493-2019-11-37-446-454.

29. Жариков С.Н., 2017. Взаимосвязь процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 2, С. 62-67.

30. Яковлев В.Л., Жариков С.Н., Реготунов А.С., Кутуев В.А., 2024. Методика измерения детонационных характеристик эмульсионных ВВ и экспресс-определения прочностных свойств горных пород. *Горная промышленность*, №5, С. 37-44, DOI 10.30686/1609-9192-2024-5-37-

References

1. Regotunov A.S., Zharikov S.N., Sukhov R.I., Kutuev V.A., 2021. Otsenka sovremennogo sostoyaniya burovzryvnykh работ i neobkhodimost' osushchestvleniya perekhodnykh protsessov na nekotorykh krupnykh gornykh predpriyatiyakh Urala i Sibiri [Assessment of the current state of drilling and blasting operations and the need for transitional processes at some large mining enterprises in the Urals and Siberia]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2(29), P. 52-62. DOI 10.25635/2313-1586.2021.02.052.

2. Regotunov A.S., Men'shikov P.V., Zharikov S. N., Kutuev V.A., 2022. Sovremennye tekhnicheskie resheniya dlya adaptatsii parametrov vzryvnogo razrusheniya gornykh porod na kar'erakh [Modern technical solutions for adapting the parameters of explosive rock destruction in quarries]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 3(34), P. 114-127. DOI 10.25635/2313-1586.2022.03.114.

3. Yakovlev V.L., 2019. Issledovanie perekhodnykh protsessov – novoe napravlenie v razvitiy metodologii kompleksnogo osvoeniya georesurov [Study of transition processes as a new direction in the development of the methodology of integrated exploration of georesources]. Ekaterinburg: UrO RAN, 284 p.

4. Kotyashov A.A., Shemenov V.G., 2015. Aprobatsiya tekhnologii razrusheniya mas-sivov skal'nykh porod s primeneniem rassredotochennykh zaryadov [Approbation of the technology of destruction of rock formations using dispersed charges]. *Gornyi zhurnal Kazakhstana*, № 7, P. 30-34.

5. Rozhkov A.A., 2019. Otsenka vliyaniya parametrov rassredotocheniya skvazhinnykh zaryadov na vykhod nekonditsionnoi fraktsii kvartsevoi rudy [Assessment of the influence of downhole charge dispersal parameters on the yield of substandard quartz ore fraction]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 1(20), P. 63-69. DOI 10.25635/2313-1586.2019.01.063.

6. Kornilov M.V., Lokhni Kh., Shemenov V.G. i dr., 2015. Promyshlennye ispytaniya emul'sionnogo vzryvchatogo veshchestva "Fortis" [Industrial tests of the emulsion explosive "Fortis"]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, № 6, P. 40-44.

7. Shemenov V.G., Matukhno N.S., Flyagin A.S., Leont'eva I.A., 2018. Ispytaniya obraztsov poristoi ammiachnoi selitry (PAS) proizvodstva NAK "AZOT" na sovместimost' s emul'siei poremita 1A [Tests of samples of porous ammonium nitrate (PAN) produced by AZOT for compatibility with poremite 1A emulsion]. *Vzryvnoe delo*, № 119-76, P. 98-106.

8. Zimin A.S., Sosnin V.A., Shmot'ev A.S., Solomin E.S., 2021. Issledovanie fiziko-khimicheskikh i detonatsionnykh kharakteristik emul'sionnogo vzryvchatogo sostava na mikrosferakh FORESPHERE proizvodstva OOO "FORES" [Investigation of physical-chemical and detonative characteristics of an emulsion explosive composition on FORESPHERE microspheres manufactured by FORES]. *Vzryvnoe delo*, № 131-88, P. 115-123.

9. Sosnin V.A., Mezheritskii S.E., Pechenev Yu.G. i dr., 2016. Osobennosti mekhanizma detonatsii emul'sionnykh vzryvchatykh veshchestv [Features of the detonation mechanism of emulsion explosives]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, Vol. 19, № 19, P. 28-33.

10. Zhdanov Yu.V., Anderzhanov S.R., Sosnin V.A., Sosnin A.V., 2016. Polimernye mikrosfery v emul'sionnykh vzryvchatykh veshchestvakh [Polymer microspheres in emulsion explosives]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, Vol. 19, № 19, P. 7-10.

11. Sadvovskii M.A., 2004. *Izbrannye trudy: Geofizika i fizika vzryva* [Selected works: Geophysics and physics of explosion]. Moscow: Nauka, 440 p.
12. Mironov P.S., 1973. *Vzryvy i seismobezopasnost' sooruzhenii* [Explosions and earthquake safety of structures]. Moscow: Nedra, 168 p.
13. Fadeev A.B., Kartuzov M.I., Kuznetsov G.V., 1977. *Metodicheskie ukazaniya po obespecheniyu ustoichivosti otkosov i seismicheskoi bezopasnosti zdaniy i sooruzhenii pri vedenii vzryvnykh rabot na kar'erakh* [Methodological guidelines for ensuring slope stability and seismic safety of buildings and structures during blasting operations in quarries]. Leningrad: VNIMI, 17 p.
14. Verkholyantsev A.V., Dyagilev R.A., Shulakov D.Yu., Shkurko A.V., 2019. *Monitoring seismicheskogo vozdeistviya vzryvov na kar'ere "Shakhtau"* [Monitoring of the seismic effects of explosions at the Shakhtau quarry]. *FTPRPI*, №2, P. 59-69.
15. Duvall W.I., Petkof B., 1959. *Spherical Propagation of Explosion-Generated Strain Pulses in Rock*; USBM: Washington, DC, USA, 21 pp.
16. Holmberg R., Persson P-A., 1978. The Swedish approach to contour blasting. *Proceedings of the 4th Conference on Explosives and Blasting Technique, Society of Explosives Engineers, New Orleans, Louisiana, 10-15 February*, pp. 113-127.
17. Tangaev I.A., 1978. *Burimost' i vzryvaemost' gornyykh porod*. Moscow: Nedra, 184 p.
18. Bilgin N., Kahraman S., 2003. Drillability prediction in rotary blast hole drilling. *1a International Mining Congress and Exhibition of Turkey*, IMCET, P. 177-182.
19. Liu H., Karen Yin K., 2001. Analysis and interpretation of monitored rotary blasthole drill data. *International Journal of Surface Mining Reclamation and Environment*, August 15 (3), P. 177-203.
20. Hatherly P., Scheduling S. J., Leung R., Robinson D., 2015. Drill monitoring results reveal geological conditions in blasthole drilling. *International Journal of Rock mechanics and Mining Sciences*, September, № 78, P. 144-154.
21. Zhou H., Hatherly P., Monteiro S. T., Ramos F., Oppolzer F., Nettleton E., Scheduling S.J., 2012. Automatic rock recognition from drilling performance data. *Proceedings, IEEE International Conference on Robotics and Automation. RiverCentre, Saint Paul, Minnesota, USA, May 14-18*. P. 3407-3412.
22. Kelessidis V.C., 2011. Rock drillability prediction from in situ determined unconfined compressive strength of rock. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, V. 111, P. 429-436.
23. Khorzoughi M.B., Hall R., Apel D., 2018. Rock fracture density characterization using measurement while drilling (MWD) techniques. *International Journal of Mining Science and Technology*, V. 28, № 6, P. 859-864. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.01.001.
24. Radosław W., Waldemar K., Łukasz B., Waldemar R., 2021. Identification of rock mass critical discontinuities while borehole drilling. *Energies. MDPI*, V. 14 (10), P. 1-21. DOI: 10.3390/en14102748.
25. Teale R., 1965. The concept of specific energy in rock drilling. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, V 2, P. 57-73.
26. Kovalenko V.A., Stubarev V.M., Mamedov M.Kh. i dr., 2001. *Avtomatizirovannaya sistema sbora dannykh s burovykh stankov* [Automated data collection system from drilling rigs]. *Gornyy zhurnal*, № 2, P. 37-39.
27. Regotunov A.S., Sukhov R.I., 2019. Automated device to study the properties of rocks during drilling blast holes in open-pit mines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 262, no. 1, article 012057. DOI: 10.1088/1755-1315/262/1/012057.
28. Sukhov R.I., Regotunov A.S., Grashchenko D.A., 2019. *Razvitie metoda polucheniya informatsii o sostoyanii massiva gornyykh porod v protsesse bureniya tekhnologicheskikh skvazhin* [Development of a method for obtaining information about the state of a rock

mass during the drilling of technological wells]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № S37, P. 446-454. DOI: 10.25018/02361493-2019-11-37-446-454.

29. Zharikov S.N., 2017. Vzaimosvyaz' protsessov sharoshechnogo bureniya i vzryvnogo razrusheniya massiva gornykh porod. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii [Relationship between the processes of ball drilling and explosive destruction of rock mass]. Gornyi zhurnal, № 2, P. 62-67.

30. Yakovlev V.L., Zharikov S.N., Regotunov A.S., Kutuev V.A., 2024. Metodika izmereniya detonatsionnykh kharakteristik emul'sionnykh VV i ekspress-opredeleniya prochnostnykh svoistv gornykh porod [Method for measuring the detonation characteristics of emulsion explosives and express determination of the strength properties of rocks]. Gornaya promyshlennost', №5, P. 37-44, DOI 10.30686/1609-9192-2024-5-37-