3. Wannell, M. J., Colley, N. M., & Halford, F. R. The Use of a New Technique To Determine Permeability Anisotropy // Society of Petroleum Engineers. Schlumberger Evaluation & Production Services. 1993. P. 489-495.

4. Pankov M. V., Belozerov V. B., Mangazeev P. V. Analysis Of the development of the krapivinsky oil field // Center for professional retraining of oil and gas specialists: report. Tomsk, 2004. 425c.

5. Products. Standard sample of permeability and porosity of a full-size core [Electronic resource] / instrument-making company Ecogeosprom. Electron. Dan. Tver. Official site, 2018. URL: http://ecogeosprom.ru/product/standart/standart_23.html, free. Title from the screen. yaz. Rus., eng. Date of access: 05.08.2018 G.

УДК 622.233:622.235.535.2

ПОСТРОЕНИЕ НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ БВР В ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЕ КАРЬЕРА

С.Н. Жариков, В.А. Кутуев

Представлены некоторые результаты исследований в направлении изучения сейсмики взрывов выемочных блоков. Вопросы и решения по изучению распространения в горном массиве волновых процессов описаны специально для горных инженеров с минимальными теоретическими отступлениями и выделением максимального практического значения. Представлены методические разработки Института горного дела Уральского отделения Российской академии наук для определения защитных мероприятий от воздействия взрывных работ на охраняемые объекты в зависимости от массы ВВ в ступени замедления, коэффициента грунтовых условий и допустимой скорости сейсмических колебаний.

Ключевые слова: сейсмическое действие взрыва, сейсмоустойчивость, взрывные работы, разрушение горных пород, физико-механические свойства горных пород, безопасные расстояния.

Введение

За период более 14 лет работы Лаборатории разрушения горных пород Института горного дела УрО РАН (ЛРГП ИГД УрО РАН) на различных предприятиях Урала, Сибири, Казахстана в направлении измерений сейсмики взрывов накопился значительный объем данных. Анализ этих материалов показал, что имеются отклонения измеренных значений от предварительно рассчитанных по методическим рекомендациям [1]. Дальнейшее изучение причин отклонений привело к оценке структурных особенностей залегания горных пород и позволило выразить связь допустимой скорости колебаний в зависимости от прочностных характеристик массива при различном коэффициенте структурного ослабления. Сам коэффициент структурного ослабления является не строго определяемой величиной, т.к. пока нет методов точного описания массива, и значение этого коэффициента устанавливается в приближении. При этом в последнее

время развиваются методы исследования трещиноватости горных пород, снижается трудоёмкость исследований и возможно в ближайшем будущем оценивать структурное ослабление станет проще. Однако в настоящее время имеющиеся общие зависимости без учёта структуры массива либо с представлением его как некоторой усреднённой однородной среды ведут к отклонениям фактических и расчётных значений.

Теория вопроса

Закономерности распространения волн напряжения в массиве горных пород являются следствием физических процессов происходящих при взрыве. Сами процессы проходят на больших скоростях, чем и обуславливается сложность их изучения. Тем не менее, изучение этих процессов при разложении на части и последующее модельное представление при сопоставлении с практическими данными позволяет установить особенности протекания и объяснить сопутствующие явления [2 – 13]. Наиболее предсказуемы развитие детонации и движение ударной волны в трубах [3, 6]. В этой связи взрывные процессы представляют математически как процессы, протекающие в идеальной жидкости. Твёрдые и газообразные среды приводятся к идеальной жидкости через теплопроводность [14]. Самое трудное изучение взрыва непосредственно в промышленных условиях. В горном деле и строительстве взрываются большие объемы различных по крепости, пористости и структуре горных пород. В [15] указано на то, что математически описать состояние реального массива горных пород можно лишь в приближении, потому что сам массив меняет своё состояние в связи с различными процессами, вызванными тектоникой и техногенным воздействием. В этой связи каждый промышленный взрыв является в своем роде неповторимым. Однако последствия каждого взрыва в целях безопасности так или иначе должны быть прогнозируемыми. Поэтому в нормативной документации указаны зависимости для расчёта безопасных зон по поражающим факторам для человека и его имущества. При этом, что касается влияния сейсмики взрывов на здания, сооружения и другие охраняемые объекты, то освещение этого вопроса является недостаточным. Следует обратить внимание на то, что человек, животные, с одной стороны, и здания, сооружения - с другой, различно реагируют на прохождение поверхностной волны, выраженной в сейсмических колебаниях. Поэтому, вопрос обеспечения сейсмической безопасности зданий, сооружений, а также других промышленных и культурных объектов должен рассматриваться с учётом свойств грунтов, в которых эти колебания распространяются.

Сейсмическое действие взрыва является результатом развития волновых процессов от взрыва и выражается в колебаниях на поверхности. Скорость колебаний грунта в конкретной точке зависит от свойств грунта, расстояния до взрыва и массы заряда (если взрыв массовый, то масса в ступени замедления). Следует рассмотреть следующие факты относительно сейсмического действия взрывов [4 – 8, 15].

При различном удалении от взрыва степень влияния свойств грунта и параметров взрыва на скорость колебаний меняется. Горные массивы разной структуры по-разному реагируют на взрывное воздействие. Сейсмический эффект в них развивается по-разному.

Воздушный промежуток снижает распространение сейсмического эффекта. В этой связи экранирование взрыва (поверхностью разрыва) предотвращает развитие критических деформационных проявлений (сохраняет устойчивость грунта) в охраняемом направлении. Экранирование взрыва вызывает отражение волны от поверхности разрыва (возможен и кумулятивный эффект), что приводит к перераспределению энергии взрыва на разрушающее воздействие. Наличие экрана с одной стороны от взрыва вызывает прирост энергии на дробление около 10 %. Под воздействием сейсмической волны в блочном грунте помимо смещений блоков происходят поворотные явления, приводящие к межблочным подвижкам.

Горное давление влияет на распространение сейсмических волн. При увеличении горного давления работа камуфлетного взрыва уменьшается.

Исследование абсолютных характеристик разрушения на модельной среде мало информативно, вследствие качественных отличий натурных и модельных сред [4]. Поэтому распространение сейсмических волн в твёрдом грунте можно определить лишь в приближении по усреднённым параметрам среды. К таким можно отнести скорость продольных и поперечных волн, характеризующих прочностные характеристики среды и направления падения основных систем трещин, характеризующих структуру и блочность. При этом в скорости прохождения волн отражено влияние трещиноватости.

Данные и разработка номограммы

В качестве основы для разработки номограммы использованы данные, представленные в таблице. Физико-механические свойства указаны в диапазоне значений и выражают всю ту изменчивость состояния массива в естественном залегании, с которой имеют дело горные инженеры при организации и ведении процессов добычи полезных ископаемых. Следует отметить, что в данной работе не уточнялся импульс передаваемый взрывом массиву, связанный с детонационными характеристиками конкретного BB, рассматривалась исключительно масса.

Хотя нарушенный массив в зависимости от нагрузки может поразному отреагировать на прохождение волн различной мощности. Внимание на это обращено в работе [9]. Тем не менее для обобщения данных и построения взаимосвязи значений использование общего подхода является наиболее целесообразным, тем более что формульную часть в будущем

всегда можно уточнить. Частично погрешности уже уточнены при построении номограммы (рисунок).

Класс	Группа пород	Прочность		Прочность		Плотность,		Модуль		Скорость		Допустимая скорость сейсмических коле-							
пород		на сжатие, в образце,		жение в		γ _n , 17 M		упругости, Е, ГПа		продольных волн в по-		оании, у, м/с при коэффициенте структурного ослабле-							
		σ [°] сж, МПа		образце, σ_p^{ρ} , МПа						роде, С _р , м/с		ния масс				сива,	λ, ед.	2200203	1992000
												λ=	0,5	$\lambda = 0,1$		$\lambda = 0,066$		$\lambda = 0,05$	
		от	до	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до	OT	до
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Супеси, суглинки, глины, мергель, угли бурые и ка-																		
	менные мягкие и средней	03	40	0.1	5	11	22	0.5	25	600	3300	0.25	0.5	0.05	0.23	0.03	0.15	0.03	0.12
не породы	крепости, выветрелые ар-	0,5	40	0,1		1,1	2,2	0,5	25	000	3300	0,25	0,5	0,05	0,25	0,03	0,15	0,05	0,12
	гиллиты, весьма слаоые алевролиты																		
	Сланцы песчанистые, фос-	1						-				-	-						
ISIL K	фориты, антрациты и дру-	3	60	1.5	8	1.5	2,5	5	50	1800	4500			0,19	0,24	0,12	0,16	0,09	0.12
ые и м	гие крепкие угли, алевро- литы плотные, аргиллиты			0		1.0	÷							3	1	10	10	1	12
	Сульфидные руды, пери-											1						Ĭ	
ILOI	дотиты серпентизирован-	15	80	2,5	11	2,5	2,7	15	65										
с, П	ные, пироксениты, сланцы карбонатно-глинистые									2500	4900		0,14		0,28	0,09	0,19	0,07	0,14
HBIG	гипсо-ангидриты, глини-																		
Полускалы	стые доломиты, сидериты								_										
	Известняки, глинистые	30			12	2,5	2,8	20	80	2800	5400								
	викованные, ангидриты,		100	3,5									0,17		0.27	0.11	0.10	0.00	0.12
	песчаники с глинистым														0,27	0,11	0,18	0,08	0,15
	цементом, габбро-нориты,																		
	Аргиллиты тонкозерни-				-		-			-	-	1							
	стые весьма плотные, апа-																		
	тито-нефелиновая руда,	40	115	5	14	26	28	25	100	3000	5600		0.22	0.30	0.14	0.20	0.11	0.15	
	сланцы песчанистые мра-		115		14	2,0	2,0	25	100	5000	5000	1		0,22	0,50	0,14	0,20	0,11	0,15
	моризованные, песчаники																		
	серые Известняки, скарны магне-			-			-					{					-		_
	тит-гранатовые, кварциты	45	120	5,5	15	2,6		25	100		5800								
	ожелезненные пористые,						3			3200		0,22	0,29	0,15	0,19	0,11	0,15		
	гаобро-нориты, перидоти- ты серпентизированные					1.13						0,	5	3	2	1	1.0	2	
1db.	сиенит-порфиры																		
obc	Порфириты эпидотизиро-				1			30	105	3400	5900			2					
Ie I	ванные, оазальты, фосфо- риты, граниты крупно- и	50	130	6	16	2,7	3						0.22					0,11	0,15
IBHB	среднезернистые, диабазы,														0.31	0,15	0,20		
Легкоразрушаемые скал	пегматиты, скарны, гнейсы													0,22					
	и гранодиориты крупно- зернистые, сиениты сред-																		
	незернистые																		
	Гнейсы гранат-																		
	порфиры, кварциты желе-	55	140	6,5	17	2,7	3,1	35	110	3600	6000						0,20	0,11	0,15
	зистые полуокисленные,																		
	песчаники мелкозерни-													0,23	0,31	0.15			
	стые, халькопириты, гра- нито-гнейсы, гранат-																	1088 C	
	магнетитовые скарны, мер-																		
	гель кремнистый, порфи-																		
	Магнетитовые руды пого-							5										-	
	вики оруденелые, пирро-																		
	тины, гранатовые скарны,	(0)	100	-	10	27	2.1	10	110	2000	(100			0.00	0.22	0.15	0.01	0.10	0.16
	лаорадориты, песчаники окремненые гранат-	60	150		18	2,7	3,1	40	115	3800	6100			0,23	0,32	0,15	0,21	0,12	0,16
	магнетитовые скарны, ба-																		
	зальты пористые		-																

Свойства горных пород и допустимые скорости сейсмических колебаний

Окончание

-																		
Скальные породы средней трудности разрушения	2 Граниты мелкозерни- стые, гранито-гнейсы, кварциты, диориты, пор- фириты, долериты, ба- зальты среднезернистые, гранодиориты	3 65	4	8	6 20	2,8	3,2	9 45	10 120	4000	12 6200	0,5	0,24	16 0,34	0,16	<u>18</u> 0,23	0,12	0,17
	Железистые кварциты, габбро-диабазы, брекчии роговиково-кварцевые, гнейсы и граниты мелко- зернистые, пироксен- гранатовые скарны	70	170	9	21	2,8	3,2	50	125	4200	6200		0,26	0,36	0,17	0,24	0,13	0,18
	Габбро, граниты, кварци- ты железистые, кварце- вые порфиры, уртиты, андезиты плотные, пес- чаники оруденелые, дже- спилиты плотные, грей- зены	80	180	10	22	2,8	3,3	55	130	4400	6300		0,27	0,36	0,18	0,24	0,14	0,18
	Кварциты безрудные, скарны, кварцевые дже- спилиты, мелкозернистые габбро, альбитофиры плотные, сиенит- порфиры	90	190	11	23	2,8	3,3	60	135	4600	6400		0,29	0,37	0,19	0,24	0,14	0,18
	Базальты лабрадоровые, роговики железистые, руды мелкозернистые магнетито-гематитовые	100	200	12	24	2,8	3,4	65	140	4800	6500		0,30	0,37	0,20	0,24	0,15	0,18
кальные породы	Скарны сканолитовые, диорит-порфириты, анде- зитовые порфириты, ро- говики, скарнированные пироксеном, гнейсы био- титовые, биотит- гранатовые и пироксено- вые окварцованные	160	240	18	30	2,8	3,4	70	145	5000	6600		0,44	0,45	0,29	0,30	0,22	0,23
Трудноразрушаемые с	Скарны окремненные, диорит-порфириты, скар- нированные пироксеном роговики, нефриты, аль- битофиры сильно оквар- цованные мелкозерни- стые, джеспилиты очень плотные, базальты мел- козернистые, андезиты весьма плотные	190	280	20	35	2,8	3,7	85	180	5500	7000		0,44	0,46	0,29	0,30	0,22	0,23
Весьма трудноразрушаемые скальные породы	Микрокварциты очень плотные сливные, скарны интенсивно окремнен- ные, кварц сливной, неизменные сливные ан- дезиты, джеспилиты, ба- зальты, кремень, микро- граниты, железные руды неизмененные гематито- сливные	225	450	25	50	2,8	4,7	100	230	6000	8000		0,50	0,45	0,33	0,30	0,25	0,23



Номограмма для определения допустимого сейсмического воздействия в породах с различными прочностными свойствами и допустимой массы ВВ в ступени замедления при известном расстоянии до охраняемого объекта

В процессе анализа данных фактических измерений сейсмики взрывов, полученных сотрудниками ЛРГП ИГД УрО РАН, установлены средние отклонения фактических колебаний от расчётных значений при различных коэффициентах грунтовых условий [1, 16-21]. В среднем от 8,5 до 24,5 % (меньшему значению соответствует K = 650, большему K = 200). На этой основе установлены уточняющие зависимости для расчёта допустимых скоростей колебаний в зависимости от физико-механических свойств горных пород при различном структурном ослаблении массива. С точки зрения обеспечения безопасности горных работ, полученные результаты имеют высокую значимость. На основе данных таблицы, с учётом уточнений построена номограмма, указанная на рисунке.

Обсуждение результатов

Номограмма позволяет на основе известной скорости продольной волны в массиве и предполагаемом коэффициенте структурного ослабления определить допустимую скорость сейсмических колебаний, которая характеризует сейсмоустойчивость объекта. Затем определить в зависимости от расстояния и грунтовых условий безопасную массу ВВ в ступени. При движении по монограмме в обратную сторону можно определить зону сдвиговых деформаций и упругую зону, за которой исключены остаточные деформации. На отдельном графике в зависимости от массы ВВ в ступени можно определить зону трещинообразования.

Заключение

На основе данных о физико-механических свойствах горных пород и данных о распространении в них сейсмических колебаний при массовых взрывах, построена номограмма для определения ограничений по массе зарядов в ступени замедления, обеспечивающих сейсмобезопасность охраняемых объектов. Номограмма также позволяет при выбранном варианте быстро оценить последствия взрыва и зоны техногенного нарушения. В основе номограммы лежит методика ИГД УрО РАН разработанная в соответствии с фундаментальными принципами распространения сейсмических волн.

Направление дальнейших исследований

Дальнейшие направления исследований в области сейсмического действия взрывов связаны с развитием: физических представлений о взрыве, математических методов описания состояния массива, методов изучения прочностных характеристик и структуры горных пород.

Для совершенствования разработанной номограммы следует уточнять взаимосвязь допустимой скорости сейсмических колебаний со структурным ослаблением пород в массиве. Для этого необходимо соответствующее развитие экспрессного определения свойств пород в естественном залегании. Исследования выполнены в рамках Государственного задания № 075-00581-19-00, темы № 0405-2019-0005 (2019 – 2021 гг.), а также при дополнительном привлечении хоздоговорных средств.

Список литературы

1. Методика обеспечения сейсмобезопасной технологии ведения взрывных работ. Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1984. 12 с.

2. Зельдович Я. Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966. 687 с.

3. Харитон Ю.Б. Сборник научных статей. Саров: ВНИИЭФ, 2003. 451 с.

4. Адушкин В.В., Соловьев С.П. Генерация электрического и магнитного поля при воздушных, наземных и подземных взрывах // Физика горения и взрыва. 2004. Т. 40. № 6. С. 42 – 51.

5. Садовский М.А. Геофизика и физика взрыва: избранные труды / отв. ред. В.В. Адушкин. М.: Наука, 2004. 440 с.

6. Взрывные генераторы мощных импульсов электрического тока / под ред. В.Е. Фортова. М.: Наука, 2002. 399 с.

7. Орленко Л.П. Физика взрыва и удара: учеб. пособие для вузов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 304 с.

8. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М.: Недра, 1976. 271 с.

9. Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах: пер. с англ. / под. ред. Г.П. Демидюк, Н.С. Бахаревич. М.: Недра, 1980. 453 с.

10. Kahriman A. Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2004. V. 24 (11). P. 887

11. Ak H., Konuk A. The effect of discontinuity frequency on ground vibrations produced from bench blasting: a case study // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2008. V. 28 (9). P.686–694.doi.org/10.1016/j.soildyn 2007.11.006.

12. Evaluation of ground vibration effect of blasting operations in a magnesite mine / H. Ak, M. Iphar, M. Yavuz, A. Konuk // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2009. V. 29 (4). P. 669–676. doi.org/10.1016/j.soildyn. 2008.07.003.

13. Kumar R., Choudhury D., Bhargava K. Determination of blastinduced ground vibration equations for rocks using mechanical and geological properties // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016. V. 8 (3). P. 341 –349. doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.10.009. 14. Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва. М.: Изд-во «Физматгиз», 1959. 792 с.

15. Адушкин В.В., Спивак А.А. Геомеханика крупномасштабных взрывов. М.: Недра, 1993. 319 с.

16. Совершенствование буровзрывных работ на предельном контуре карьера / С.Н. Жариков, И.Н. Тимофеев, Э.В. Гуленков, В.К. Бушков // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2018. № 1. С. 48–55. 55. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-1-48-55.

17. Жариков С.Н., Кутуев В.А. Результаты экспериментальных исследований динамического действия взрыва на предельном контуре карьера Джетыгаринского месторождения // Проблемы недропользования. 2019. № 2 (21). С. 20 – 26. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.020.

18. Научные исследования сейсмического действия взрыва на подземный газопровод высокого давления / С.Н. Жариков, Г.П. Берсенёв, В.А. Кутуев, А.С. Флягин // Проблемы недропользования. 2019. № 3 (22). С. 145-154. DOI: 10.25635/2313-186.1019.03.145.

19. Научное обеспечение производства особо ответственных видов взрывных работ на основе опыта лаборатории разрушения горных пород / С.Н. Жариков, П.В. Меньшиков, В.А. Кутуев, С.С. Таранжин // Проблемы недропользования. 2020. № 1 (24). С. 66–79. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.01.066.

20. Zharikov S., Kutuev V. About Order of Comprehensive Solving the Seismic and Pre-splitting Issues for Drill-and-Blastin Open-Pits // Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. 2019. P. 437-445.DOI: 10.1007/978-3-030-31970-0 46.

21. Kutuev V.A. Investigating the seismic impact made by the underground large-scale blast on the secure facilities of Kyshtym GOK when caving the floor pillar // News of the Higher Institutions. Mining Journal. 2020. V. 2. P. 25–36. DOI: 10.21440/05361028-2020-2-25-36.

Жариков Сергей Николаевич, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, зав. лабораторией, <u>333vista@mail.ru</u>, Россия, Екатеринбург, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,

Кутуев Вячеслав Александрович, науч. сотрудник, <u>slavik1988@mail.ru</u>, Россия, Екатеринбург, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук

> CONSTRUCTION OF A NOMOGRAM FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF DBW IN THE PIT'S CONTOUR ZONE

> > S. N. Zharikov, V. A. Kutuev

The article presents some results of research in the direction of studying the seismics of explosions of dredging blocks. Questions and solutions for studying the distribution of

wave processes in a mountain range are described specifically for mining engineers with minimal theoretical deviations and maximum practical significance. The article presents methodological developments of The Institute of mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences for determining protective measures against the impact of blasting on protected objects, depending on the mass of explosives in the deceleration stage, the coefficient of ground conditions and the permissible speed of seismic vibrations.

Key words: seismic effect of explosion, seismic stability, explosion work, destruction of rocks, physical and mechanical properties of rocks, safe distances.

Zharikov Sergey Nikolaevich, candate of technical sciences, leading researcher, head of a laboratory, <u>333vista@mail.ru</u>, Russia, Yekaterinburg, Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,

Kutuev Vyacheslav Alexandrovich, researcher, <u>slavik1988@mail.ru</u>, Russia, Yekaterinburg, Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Reference

1. Methodology for ensuring earthquake-proof technology for conducting explosive operations. Sverdlovsk: Institute of mining of MISI USSR, 1984. 12.

2. Zeldovich Ya. b., Reiser Yu. P. physics of shock waves and high-temperature hydrodynamic phenomena. Moscow: Nauka, 1966, 687 p.

3. Khariton Yu. b. Collection of scientific articles. Sarov: VNIIEF, 2003. 451 p.

4. Adushkin V. V., Solov'ev S. P. Generation of electric and magnetic fields in air, ground and underground explosions. Gorenje I vzvastva Physics. 2004, Vol. 40, No. 6, Pp. 42-51.

5. Sadovsky M. A. Geophysics and physics of explosion: selected works / ed. V. V. Adushkin. Moscow: Nauka, 2004, 440 p.

6. Explosive generators of powerful pulses of electric current / ed. V. E. Fortov, Moscow: Nauka, 2002, 399 p.

7. Orlenko L. P. Physics of explosion and impact: textbook. manual for universities. Moscow: FIZMATLIT, 2006. 304 p.

8. Mosinets V. N. Crushing and seismic action of explosion in rock formations. Moscow: Nedra, 1976, 271 p.

9. Kuk M. A. Science of industrial explosives: TRANS. from English / ed. G. P. Demidyuk, N. S. Baharevich. M.: Nedra, 1980. 453 p.

10. Kahriman A. Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry // Soil Dynamics and Earthquake En-gineering. 2004. V. 24 (11). P. 887–892. doi.org/10.1016/j.soildyn.2004.06.018.

11. Ak H., Konuk A. The effect of discontinuity frequency on ground vibrations produced from bench blasting: a case study // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2008. V. 28 (9). P. 686–694. doi.org/10.1016/j.soildyn.

2007.11.006.

12. Evaluation of ground vibration effect of blasting operations in a magnesite mine / H. Ak, M. Iphar, M. Yavuz, A. Konuk // Soil Dynamics and Earthquake Engineering.

2009. V. 29 (4). P. 669-676. doi.org/10.1016/j.soildyn. 2008.07.003.

13. Kumar R., Choudhury D., Bhargava K. Determination of blast-induced ground vibration equations for rocks using mechanical and geological properties // Journal of Rock