УДК 622.235

И.А. Аленичев

КОРРЕКТИРОВКА УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА С УЧЕТОМ ОБВОДНЕННОСТИ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ РУД

Выявлены различия в характере взрывного разрушения обводненных и с естественной влажностью апатит-нефелиновых руд. Определен поправочный коэффициент на обводненность для расчета удельного расхода ВВ. Установлена зависимость удельного расхода в обводненных условиях от содержания P_2O_5 в руде. Предложен вариант корректировки типового проекта ведения взрывных работ на карьере.

Ключевые слова: обводненность, апатит-нефелиновые руды, удельный расход взрывчатого вещества, радиус переизмельчения, вновь образованная поверхность, средний размер куска, модель Кузнецова-Раммлера.

Введение

Проведенный анализ исследований [1–8] по изучению механизма взрывного разрушения водонасыщенных горных пород и грунтов показал, что обводненность массива горных пород, несомненно, сказывается как на подготовке к взрывным работам, так и на результатах взрыва. Но влияние водонасыщенности горных пород на степень дробления достаточно неоднозначно. Разными авторами отмечено как ухудшение, так и, в некоторых случаях, улучшение дробления. В большинстве же исследований отмечается, что при взрывании обводненных массивов горных пород изменяется механизм разрушения, уменьшается выход мелких фракций и увеличивается размер среднего куска. Несмотря на достаточную изученность вопроса, выполненные исследования не доведены до стадии практической реализации полученных результатов. Объясняется это тем, что каждая горная порода является сугубо индивидуальной, со своим набором свойств (пористость, трещиноватость, плотность, структурно-текстурные признаки и т.д.), влияющих на водонасыщение, поэтому необходимо оценивать влияние обводненности на взрываемость горных пород на конкретных

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 7. С. 364–373.
© 2016. И.А. Аленичев.

объектах. Особенно это относится к карьерам с большими водопритоками.

На Кольском полуострове самым обводненным является Коашвинский карьер Восточного рудника АО «Апатит», на котором максимальные значения водопритоков составляют 11 000 м^3/час. По данным гидрогеологической службы Восточного рудника с помощью водоотлива в среднем откачивается до 37,2 млн м^3 воды в год, а с помощью понизительных скважин удаляется до 18,2 млн м^3 воды в год.

С целью выявления различий в работе взрыва в сухих и обводненных условиях были проведены модельные взрывания образцов руды с различным содержанием P_2O_5.

С Коашвинского месторождения отбирали три керна диаметром 132 мм с различным содержанием P_2O_5. Далее их распиливали поперек, для получения дисков толщиной 20 мм. В центре дисков были просверлены отверстия диаметром 7,5 мм, для размещения ВВ. Для каждого типа руда изготавливались по два диска: 1 – для испытания в сухом состоянии, 2 – для испытаний в водонасыщенном состоянии (выдерживая в воде в течение 7 суток). Для исключения откольных явлений и разброса породы при взрыве, образцы помещались в стальное кольцо с резиновой прокладкой. На рис. 1 изображен модельный вид взрываемого образца.

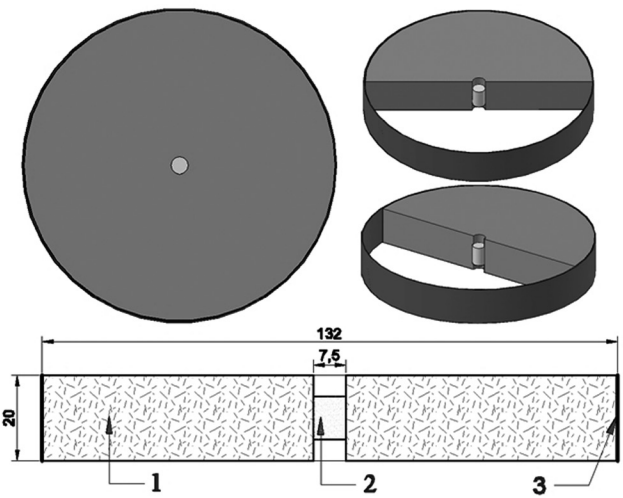

Рис. 1. Модельный вид взрываемого образца: 1 – образец руды; 2 – заряд ВВ (ТЭН 300 мг); 3 – металлический хомут

Испытания проводились в промышленных условиях. В качестве взрывчатого вещества использовался ТЭН (тетранитропентаэритрит), навеской 300 мг. Инициировали заряд ВВ электровоспламенителем с помощью взрывной машинки.

Результаты испытаний приведены на рис. 2.

При обработке полученных результатов отмечено, что с увеличением содержания P_2O_5 в образцах увеличивается радиус переизмельчения, это характерно для обоих условий (рис. 3), но значительно большему переизмельчению в ближней зоне подверглись влагонасыщенные образцы. Также отмечено снижение площади вновь образованных поверхностей в водонасыщенных образцах на 5–8% по отношению к образцам с естественной влажностью (рис. 4) и увеличение среднего диаметра куска на 10–16% (рис. 5).

В связи с тем, что полученные результаты о степени и интенсивности дробления образцов руд довольно сложно перенести на конкретный массив горных пород, воспользуемся только результатом об увеличении размера среднего куска при взрыве водонасыщенных пород, который отмечен практически во всех

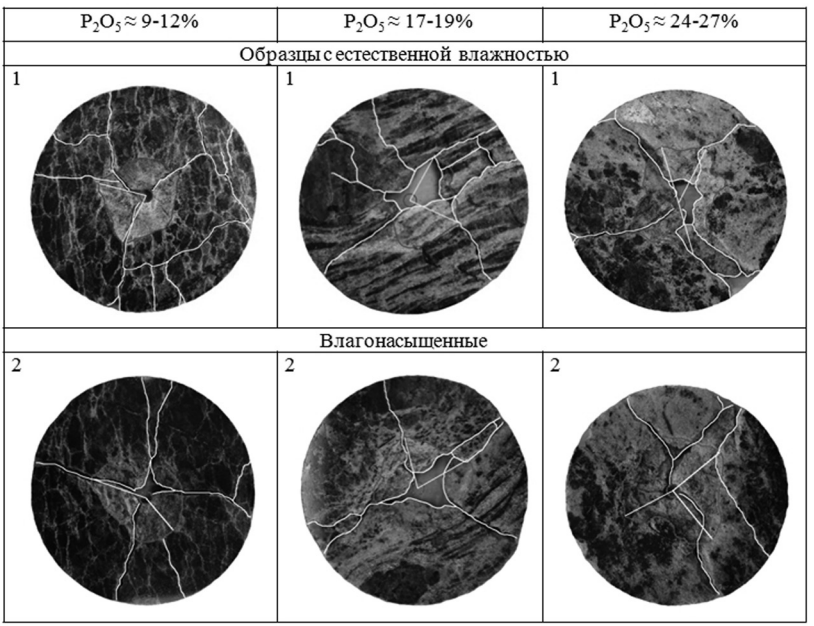

Рис. 2. Результаты взрывания образцов руды: 1 – естественная влажность; 2 – влагонасыщенные

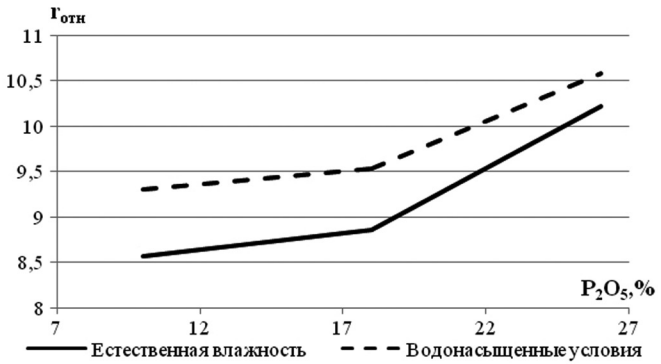

Рис. 3. Зависимость относительного радиуса переизмельчения от содержания полезного компонента

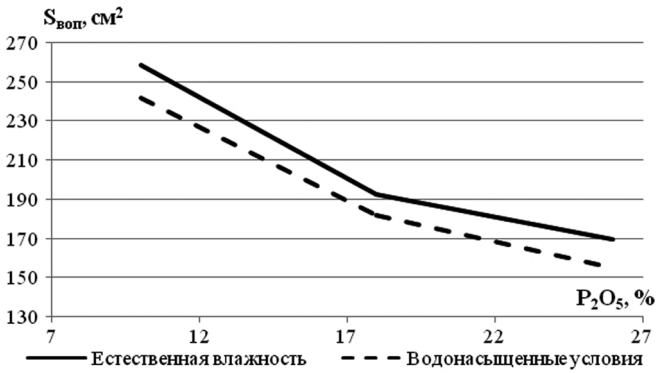

Рис. 4. Зависимость площади вновь образованных поверхностей от содержания полезного компонента

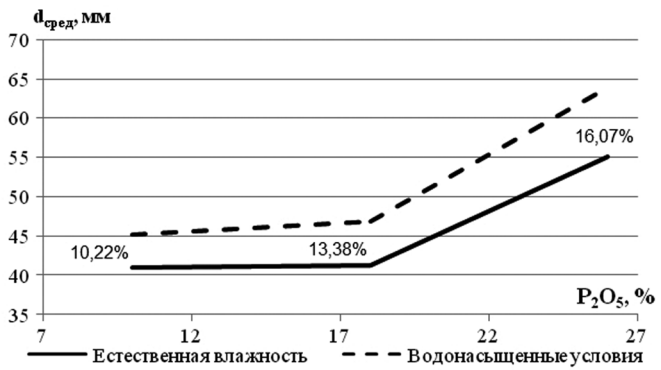

Рис. 5. Зависимость среднего диаметра куска от содержания полезного компонента

Таблица 1

Фактический удельный расход ВВ на дробление необводненных руд на Коашвинском карьере с 2011 по 2015 г

	2011	2012	2013	2014	2015	
P_2O_5, %	$q_{др}$, кг/м^3					$q_{сред}$, кг/м^3
5–7	1,198	1,207	1,216	1,208	1,211	1,208
9–12	1,254	1,266	1,270	1,239	1,248	1,255
17–19	1,348	1,365	1,360	1,356	1,367	1,359
24–27	1,383	1,392	1,401	1,410	1,389	1,395

исследованиях. Для апатит-нефелиновых руд это увеличение составляет 10–16%.

Для обоснования удельного расхода ВВ на отбойку первоначально была сделана выборка по фактическому удельному расходу на дробление необводненных руд (табл. 1), на основании которого по модели Кузнецова-Раммлера (KUZ-RAM)[1] (1) определялся средний размер куска взорванной горной массы для руд с различным содержанием апатита.

$$d_{ср} = \frac{0,15 \cdot (\rho_{П} \cdot f \cdot d_{з})^{0,33} \cdot d_{отд}}{q \cdot e_{ВВ}} \quad (1)$$

где $\rho_П$ – плотность породы, т/м^3; $d_з$ – диаметр заряда, м; f – коэффициент крепости по шкале М.М. Протодъяконова; $d_{отд}$ – диаметр естественной отдельности в массиве, м; q – удельный расход ВВ, кг/м^3; $e_{ВВ}$ – переводной коэффициент, как отношение теплоты взрыва эталонного (граммонит 79/21) к применяемому ВВ (для Фортис Эдвантэдж-70 составляет 1,17).

Таблица 2

Скорректированный расчет удельного расхода ВВ

P_2O_5, %	ρ, т/м^3	$d_{зар}$, м	$d_{отд}$, м	f, ед	$d_к$, м	$e_{ВВ}$	$q_{др}$(сух), кг/м^3	$K^{обв}_{П}$	$q_{др}$(влаж), кг/м^3
5–7	2,894	0,2508	1,4	12,61	0,8	1,17	1,2080	1,0910	1,3178
9–12	2,995		1,5	11,21			1,2557	1,0927	1,3721
17–19	3,069		1,7	10,40			1,3595	1,1180	1,5199
24–27	3,114		2,0	6,24			1,3951	1,1384	1,5883

[1] Модель KUZ-RAM – модель определения среднего размера куска взорванной горной массы, широко применяемая во всем мире [9–14].

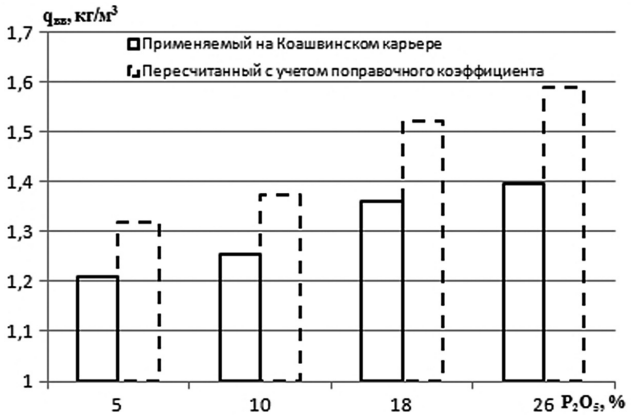

Рис. 6. Сравнение скорректированного удельного расхода для дробления водонасыщенных апатит-нефелиновых руд с применяемым удельным расходом на Коашвинском карьере в зависимости от содержания поленого компонента (P_2O_5)

Затем, принимая из эксперимента на сколько процентов увеличился размер куска при взрыве в условиях водонасыщения, решали обратную задачу по нахождению удельного расхода для водонасыщенных пород с целью обеспечения такой же степени дробления. Далее определяли коэффициент увеличения удельного расхода ВВ в обводненных условиях.

Расчетные значения удельных расходов представлены в табл. 2.

На рис. 6 представлено сравнение скорректированного удельного расхода для дробления водонасыщенных апатит-нефелиновых руд с применяемым удельным расходом на Коашвинском карьере.

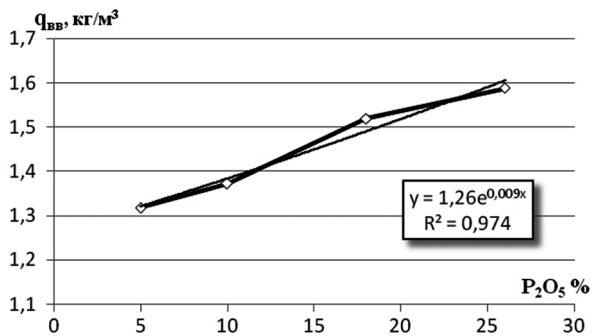

Рис. 7. Зависимость удельного расхода в условиях водонасыщения от содержания полезного компонента

Таблица 3

Результаты корректировки типового проекта ведения взрывных работ на руднике Восточный АО «Апатит»

Категория пород		**Среднее расстояние между трещинами, м**	**Краткая характеристика руд**	**$\sigma_{сж}$, МПа, P_2O_5, %**	**$q_{вв}$ на отбойку для ЭВВ «Фортис Эдвантэдж-70», кг/м^3**
по трещиноватости	**по взрываемости**				
IV	IV – трудно-взрываемые	1,0–1,5	Принятые в типовом проекте		
			Апатит-нефелиновые руды неизменные, необводненные. Водонасыщенные апатит-нефелиновые руды	80–160 P_2O_5 5–30%	1,25
			Уточненные значения		
			Водонасыщенные апатит-нефелиновые руды	100–130 P_2O_5 5–7%	1,32
				90–120 P_2O_5 9–12%	1,37
V	V – весьма трудно-взрываемые	более 1,5	Принятые в типовом проекте		
			Апатит-нефелиновые руды неизменные, необводненные. Водонасыщенные апатит-нефелиновые руды	80–160 P_2O_5 5–30%	1,3
			Уточненные значения		
			Водонасыщенные апатит-нефелиновые руды	90–120 P_2O_5 17–19%	1,52
				55–100 P_2O_5 24–27%	1,58

Зависимость удельного расхода в обводненных условиях от содержания P_2O_5, (рис. 7) описывается следующей зависимостью (2)

$$y = 1,26 \cdot e^{0,009X} \quad (2)$$

В дальнейшем, полученные результаты были опробованы на практике, и на их основе скорректирован типовой проект ведения взрывных работ на руднике Восточный АО «Апатит» (табл. 3).

Выводы

Взрывное разрушение обводненных апатит-нефелиновых руд характеризуется увеличением зоны переизмельчения и уменьшением размеров зоны разрушения радиальными трещинами по сравнению с условиями естественной влажности. Для обеспечения требуемого качества дробления, в таких условиях, необходимо делать поправку на обводненность, посредством введения поправочного коэффициента при расчете удельного расхода, который в свою очередь зависит от содержания полезного компонента (P_2O_5) в руде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боровиков В.А.*, *Ванягин И.Ф.*, *Менжулин М.Г.*, *Цирель С.В.* Волны напряжений в обводненном трещиноватом массиве. – Л.: ЛГИ, – 1989. – 85 с.

2. *Гализин Д.Д.* Влияние обводненности трещиноватых массивов на их взрываемость: автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – М., 1997. – 19 с.

3. *Ефремов Э.И.* Влияние обводненности горных пород на механизм их разрушения и технологию взрывной отбойки // Вестник КДПУ – 2006 – Вып. 2(37), Ч. 2. – С. 75–77.

4. *Ефремов Э.И.* Особенности и методы взрывного разрушения обводненных горных пород // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – № 2. – С. 151–156.

5. *Комир В.М.*, *Кунаков Е.Ю.* Исследование влияния степени обводненности блочных моделей на интенсивность их дробления взрывом// Вісник КДПУ. – 2006. – вип. 2. – С. 69–71.

6. *Мирзаев Э.С.*, *Маточкин В.А.* Пути совершенствования технологии взрывной отбойки обводненных пород // Известия вузов. Горный журнал. – 1994. – № 2. – С. 56–62.

7. *Репин Н.Я.*, *Волобуев В.К.*, *Белов В.И.* Эффективность взрывных работ в обводненных породах Кузбасса. – М.: Обзор/ЦНИЭИуголь, 1979. – 35 с.

8. *Сивенков В.И.*, *Гализин Д.Д.* Влияние обводненности трещиноватых массивов на их взрываемость // Взрывное дело. – 1998. – № 91/48. – С. 86–89.

9. *Cunningham C. V. B.* The Kuz-Ram fragmentation model – 20 years on // European federation of explosives engineers: Brighton conference proceedings. – Brighton, 2005. – pp. 201–210.

10. *Faramarzi F., Mansouri H. and al.* A rock engineering systems based model to predict rock fragmentation by blasting // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. – 60 (2013). – pp. 82–94.

11. *Шапурин А. В.*, *Васильчук Я. В.* Прогнозирование гранулометрического состава взорванных горных пород // Взрывное дело. – 2013. – С. 79–91.

12. *Engin I. C.* A practical method of bench blasting design for desired fragmentation based on digital image processing technique and Kuz-Ram model // Rock Fragmentation by Blasting. 2010. – pp. 257–263.

13. *Keen S., Hossack A. and al.* Development and implementation of a geotechnical database management system / 15th Coal operators' conference, University of Wollongong, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy and Mine Managers Association of Australia, 2015. – pp. 347–357.

14. *Ramen B., Apurna G.* Effect of blast design parameters on fragmentation – an application of Kuz-Ram Model // Journal of Mines Metals and Fuels. 2012. – 60 (9–10). – pp. 206–215. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Аленичев Игорь Алексеевич – ведущий технолог,
e-mail: igor-alenichev@ya.ru,
Горный институт Кольского научного центра РАН.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 7, pp. 364–373.

UDC 622.235

I.A. Alenichev

CORRECTION OF EXPLOSIVE RATIO WITH ALLOWANCE FOR APATITE-NEPHELINE ORES FLOODING

The paper presents the differences in character of the blasting destruction of flooded and with natural water content apatite-nepheline ores. Correction factor on flooding for the explosive ratio calculation has been defined. Dependence of explosive ratio in the flooded conditions from the content P_2O_5 in the ore has been established. Variant of standard blasting project correction at the open pit has been proposed.

Key words: flooding, apatite-nepheline ores, explosive ratio, overgrinding radius, new surface, middle prill, KUZ-RAM model.

AUTHOR

Alenichev I.A., Leading Technologist, e-mail: igor-alenichev@ya.ru,
Mining Institute of Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences,
184209, Apatity, Russia.

REFERENCES

1. Borovikov V.A., Vanyagin I.F., Menzhulin M.G., Tsirel' S.V. *Volny napryazheniy v obvodnennom treshchinovatom massive* (Stress waves in watered jointy rock mass), Leningrad, LGI, 1989, 85 p.

2. Galizin D. D. *Vliyanie obvodnennosti treshchinovatykh massivov na ikh vzryvaemost'* (Influence of water content on blastability of rocks), Candidate's thesis, Moscow, 1997, 19 p.

3. Efremov E. I. *Vestnik KDPU*, 2006, issue 2(37), part 2, pp. 75–77.

4. Efremov E. I. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2010, no 2, pp. 151–156.

5. Komir V. M., Kunakov E. Yu. *Visnik KDPU*, 2006, issue 2, pp. 69–71.

6. Mirzaev E. S., Matochkin V. A. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 1994, no 2, pp. 56–62.

7. Repin N. Ya., Volobuev V. K., Belov V. I. *Effektivnost' vzryvnykh rabot v obvodnennykh porodakh Kuzbassa* (Blasting efficiency in watered rocks in Kuzbass), Moscow, Obzor/TsNIEIugol', 1979, 35 p.

8. Sivenkov V. I., Galizin D. D. *Vzryvnoe delo*. 1998, no 91/48, pp. 86–89.

9. Cunningham C. V. B. The Kuz-Ram fragmentation model 20 years on. *European federation of explosives engineers: Brighton conference proceedings*. Brighton, 2005. pp. 201–210.

10. Faramarzi F., Mansouri H. and al. A rock engineering systems based model to predict rock fragmentation by blasting. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 60 (2013). pp. 82–94.

11. Shapurin A. V., Vasil'chuk Ya. V. *Vzryvnoe delo*. 2013, pp. 79–91.

12. Engin I. C. A practical method of bench blasting design for desired fragmentation based on digital image processing technique and Kuz-Ram model. *Rock Fragmentation by Blasting*. 2010. pp. 257–263.

13. Keen S., Hossack A. and al. Development and implementation of a geotechnical database management system. *15th Coal operators' conference, University of Wollongong, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy and Mine Managers Association of Australia*, 2015. pp. 347–357.

14. Ramen B., Apurna G. Effect of blast design parameters on fragmentation an application of Kuz-Ram Model. *Journal of Mines Metals and Fuels*. 2012. 60 (9–10). pp. 206–215.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА» НА 20-й МЕЖДУНАРОДНОЙ ВЫСТАВКЕ MINING WORLD RUSSIA-2016