

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ПРЕДЕЛЬНОМ КОНТУРЕ КАРЬЕРА

ЖАРИКОВ С. Н., ТИМОФЕЕВ И. Н., ГУЛЕНКОВ Э. В., БУШКОВ В. К.

Увеличение угла откоса бортов карьера ведет к снижению объемов разности и повышает экономическую эффективность разработки месторождения. Однако при этом повышается риск обрушения откосных сооружений в карьере в результате геодинамических движений, связанных с горным давлением и влиянием кратковременных импульсных нагрузок, вызванных ведением взрывных работ. Оценка устойчивого состояния откосного сооружения при определенном угле основывается на измерениях сдвижения массива в том или ином направлении в рамках достаточно продолжительных периодов наблюдений, при этом короткопериодные деформации, приводящие к локальным межблочным подвижкам при обосновании устойчивых углов, не учитываются. В связи с этим недостаточно аккуратное ведение буровзрывных работ вблизи откосных сооружений может вызвать нарушение их устойчивости и привести к катастрофическим оползневым явлениям. В статье представлено описание исследований в области буровзрывных работ (БВР), которые были проведены на карьере «Восточный» Олимпиадинского месторождения. Изложен принцип разработки специальной технологии БВР на предельном контуре карьера, который заключается в изучении воздействия взрыва на контурный массив, установлении закономерностей протекания в массиве волновых процессов, выявлении взаимодействия зарядов контурной ленты в зависимости от прочностных характеристик массива, проведении опытно-промышленных испытаний способов заоткоски, определении этапности подхода технологических взрывов к охраняемому участку, а также критериев оценки эффективности производства БВР.

Ключевые слова: буровзрывные работы; карьер; контурное взрывание; сейсмическое действие взрыва; предельный контур карьера; скорость детонации; взрыв.

В статье представлено описание исследований в области буровзрывных работ, которые были проведены на карьере «Восточный» месторождения Олимпиадинское. Месторождение расположено на высоте 650–750 м над уровнем моря. Район относится к малообжитым северным территориям с низкой плотностью населения. Климат района резко континентальный, с суровой продолжительной холодной зимой и коротким жарким летом. Среднегодовая температура составляет –10 °С. Район месторождения отличается повышенной нормой выпадения осадков. Преобладают затяжные, морозящие дожди, а зимой – длительные и обильные снегопады.

Жариков Сергей Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник. 620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58, Институт горного дела УрО РАН. E-mail: 333vista@mail.ru

Тимофеев Иван Николаевич – заместитель операционного директора по буровзрывным работам. 660061, г. Красноярск, ул. Цимлянская, 37, АО «Полус Красноярск». E-mail: Timofeev@polyus.com

Гуленков Эдуард Викторович – начальник буровзрывного цеха рудоуправления Олимпиадинского ГОКа. 660061, г. Красноярск, ул. Цимлянская, 37, АО «Полус Красноярск». E-mail: GulenkovEV@polyus.com

Бушков Владимир Кириллович – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией геомеханики и инженерных исследований. 660028, г. Красноярск, ул. Телевизорная, 1, стр. 9, ООО «Полус Проект». E-mail: BushkovVK@polyus.com

Разработка месторождения ведется с высокой интенсивностью (скорость углубки по дну карьера 30–50 м/г, скорость разноса временно нерабочего борта 60–100 м/г, время отработки горизонта 1–2 мес.). Карьер обрабатывается крутыми слоями с выделением этапов. Высота рабочего уступа 10 м, нерабочего в предельном положении 20 и 30 м, углы откосов рабочих уступов 75°–80°, нерабочих строенных 60°–75°. Ширина рабочих площадок меняется от минимальной величины 30 м до 80–100 м.

Горные работы на карьере «Восточный» ведутся экскаваторами ЭЖГ-10 с объемом ковша 10 м³, РС-2000 и экскаваторами РС-3000 (15 м³). Транспортировка горной массы осуществляется автосамосвалами HD-785 фирмы KOMATSU грузоподъемностью 90 т, CATERPILLAR CAT-785C и TEREX MT-3300 AC грузоподъемностью 136 т. Выемка взорванного объема горной массы производится в течение суток после взрывных работ. Диспетчеризация горнотранспортного комплекса осуществляется с помощью автоматизированной системы управления горнотранспортным комплексом горно-обогачительного комбината (АС УГТК ГОК), построенной на базе системы управления канадской компании Wenco International Mining Systems Ltd.

Условия залегания месторождения во многом определили способ вскрытия и систему разработки. Применение промежуточных контуров карьера позволило поддерживать не только высокую интенсивность, но и эффективность разработки. В первую очередь это связано с тем, что выделение промежуточного контура с последующей его разноской через небольшой промежуток времени (5 лет) позволяет уменьшить коэффициент запаса устойчивости и тем самым кратковременно повысить угол борта. С другой стороны, при подходе к конечным контурам карьера необходимо обеспечить уже долговременную устойчивость. В этом случае особого внимания требуют буровзрывные работы (БВР) в приконтурной зоне, иначе, как показала авария 2016 г., смелые технологические решения в динамике, без учета распространения волновых процессов, могут привести к катастрофическим последствиям.

В 2013–2014 гг. Институтом горного дела УрО РАН при взаимодействии с исследовательским центром ПАО «Полус» была проведена научно-исследовательская работа по совершенствованию БВР на предельном контуре карьера «Восточный» Олимпиадинского месторождения. Данная работа преследовала две цели. Во-первых, в условиях ГОКа «Олимпиадинский» необходимо было разработать параметры отработки приконтурных блоков, обеспечивающие снижение динамической нагрузки от взрывных работ на законтурный массив. Во-вторых, отработать и внедрить методику контроля заявленных производителем характеристик ВВ, применяемых при ведении взрывных работ. В организации и обеспечении исследований принимали участие: В. Г. Шеменов, С. Н. Жариков, А. С. Флягин, Н. И. Сартаков, В. К. Бушков, А. А. Рычков, И. Н. Тимофеев, Э. В. Гуленков и др. При плодотворном взаимодействии сотрудников ИГД УрО РАН и ПАО «Полус» обе цели были достигнуты. Описание основных результатов исследований приведено далее.

На первом этапе была установлена теоретическая сейсмоустойчивость горных пород карьера по методике [1]. На втором этапе проведены инструментальные измерения сейсмического действия взрывов с использованием аппаратуры фирмы Instantel (Канада), включающей 8-канальные цифровые сейсморегистраторы Minimate Plus (серия III), стандартные трехкомпонентные сейсмоприемники (ISEE версия, рабочий диапазон частот 2–250 Гц), микрофоны, соединительные кабели. Всего было проведено 24 измерения. На рис. 1 показано сопоставление расчетной скорости сейсмических колебаний для соответствующих участков массива с фактической (измеренной).

Согласно рис. 1, превышения скоростей наблюдаются на 15 пунктах из 24 измерений. Несмотря на это, разрушения откосных сооружений вблизи точек измерений не происходило, однако спустя некоторое время со стороны откосов наблюдались места вывалы породы, что на первый взгляд может быть и не связано с производством взрывов. Однако ввиду того, что прохождение волн в массиве горных пород и влияние колебаний на межблочные подвижки пока недостаточно изучено [2], было принято решение скорректировать методику расчета с учетом полученных результатов экспериментальных исследований.

На третьем этапе по результатам измерений устанавливалась скорость прохождения продольных волн и уточнялся коэффициент структурного ослабления, а также зоны распространения деформационных процессов согласно [3]. Основные используемые выражения представлены далее.

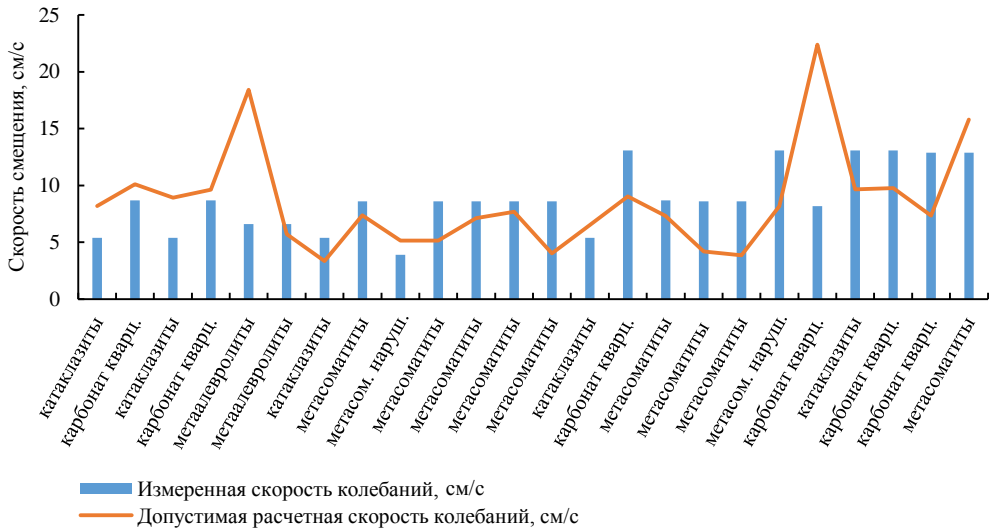


Рис. 1. Сравнение измеренной скорости колебаний с расчетной по сейсмостойчивости на карьере «Восточный»

Скорости продольных волн, м/с, в зависимости от условий определялись по следующим выражениям. Для катаклазитов

$$C_{p.k} = \sqrt[3]{\frac{56,25 \cdot 10^8 Q g [1 + (1 - 2\nu)\varepsilon]^8}{\gamma R^3 \left(37,5 \left(1 - \frac{4}{3} k_{sp}^2\right) \left[(1 + (1 - 2\nu)\varepsilon]^{8/3} - 1\right)\right)^2};$$

для остальных пород

$$C_{p.ост} = \left\{ \frac{7,5 \cdot 10^4 \sqrt{2g} \cdot 10^3 Q^{0,75} [1 + (1 - 2\nu)\varepsilon]^4}{\sqrt{d_{свб}} \gamma^{0,75} R^{2,375} 37,5 \left(1 - \frac{4}{3} k_{sp}^2\right) \left[(1 + (1 - 2\nu)\varepsilon]^{8/3} - 1\right)} \right\}^{1/1,75},$$

где Q – масса ВВ в ступени замедления, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; ν – коэффициент Пуассона; ε – суммарная деформация; γ – плотность пород, т/м³;

R – расстояние, м; k_{sp} – коэффициент, характеризующий соотношение поперечной и продольной волны для горной породы; $d_{скв}$ – диаметр скважины, мм.

Свойства пород в естественном залегании [4] вычислялись на основе определенных характеристик волновых процессов. Прочность при растяжении, МПа, устанавливалась по выражению

$$\sigma_p = \frac{g \gamma C_p}{2604,1k},$$

где g – скорость сейсмических колебаний, м/с; C_p – скорость продольных волн, м/с; k – поправочный коэффициент, $k = 1,1-1,3$.

Зоны распространения деформационных процессов, согласно [3], определялись по выражениям

$$\begin{aligned} R_{уп} &= \frac{C_p}{10} \sqrt[3]{Q}; \\ R_{сд} &= \frac{\sqrt{C_s}}{10} \sqrt[3]{Q}; \\ R_{тр} &= \sqrt{\frac{C_p}{C_s}} \sqrt[3]{Q}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $R_{уп}$ – радиус упругой зоны, за пределами которой исключено формирование остаточных деформаций среды, м; $R_{сд}$ – радиус зоны наибольших сдвиговых деформаций, м; C_s – скорость поперечной волны, м/с; $R_{тр}$ – радиус зоны трещинообразования, м.

На четвертом этапе работы по результатам проведенных исследований сейсмического действия технологических взрывов для условий карьера «Восточный» ГОКа «Олимпиадинский» устанавливались и обосновывались параметры обработки приконтурных блоков, обеспечивающие снижение динамической нагрузки от взрывных работ на законтурный массив, а также параметры контурного взрывания в зависимости от прочностных характеристик горных пород. В результате исследований в соответствии с нормативными документами (*Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах»*. Сер. 13. Вып. 14. М.: Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности, 2014. 332 с.; *Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»*. Сер. 03. Вып. 78. М.: Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности, 2014. 276 с.) был разработан технологический регламент производства БВР на предельном контуре карьера «Восточный», являющийся логическим завершением этой части работы. В рамках программы опытно-промышленных испытаний были опробованы разные параметры БВР, среди которых дальнейшее использование получили: заоткоска скважинами переменной глубины; заоткоска с применением контурных лент на строенный уступ и двух рядов наклонных скважин на высоту уступа с уменьшенным зарядом, взрывааемых рядом с контурной лентой, представляющих собой буфер из взорванной горной массы, способствующий осушению горизонта и создающий вместе со взорванной контурной лентой хороший экран, препятствующий тыльному воздействию

взрыва на законтурный массив; также получили применение компенсационные скважины в контурной ленте, количество и расположение которых определяются прочностными свойствами горных пород.

Скорость поперечной волны для выражения (1) определялась умножением k_{sp} , определенному по коэффициенту Пуассона, на скорость продольной волны C_p .

На пятом этапе работы исследовались детонационные характеристики эмульсионного ВВ эмулит ВЭТ-700 (Эмулиты марок «ВЭТ». Технические условия ТУ-7276-016-17131060-2001; Регламент технологического процесса изготовления промышленных взрывчатых веществ эмулитов марок «ВЭТ» по техническим условиям ТУ-7276-016-17131060-2001 в смесительно-зарядных машинах «FLEXI-TRUCK») [5]. Измерения проводились реостатным методом в соответствии с положениями, изложенными в [6–9]. В таблице представлены результаты измерений.

Данные по измерениям скорости детонации взрывчатого вещества эмулит ВЭТ-700 на карьере «Восточный»

Дата взрыва	Скорость детонации, м/с	Плотность ВВ, г/см ³
23.10.2013	4930	1,090
25.10.2013	5070	1,095
23.10.2013	4900	1,130
29.10.2013	5150	1,140
21.10.2013	4810	1,150
28.10.2013	5150	1,152
28.10.2013	5450	1,155
04.06.2014	4560	1,146
02.06.2014	4600	1,148
04.06.2014	4570	1,180
02.06.2014	4550	1,145

По результатам измерений в 2013–2014 гг. построена зависимость изменения скорости детонации от плотности взрывчатого вещества, заряжаемого в скважины (рис. 2). С учетом того, что шаг значений плотности в диапазоне рассматриваемых данных неодинаковый, путем интерполяции получены дополнительные значения, которые использованы для построения более наглядного графика.

Полученный результат позволил сделать предварительный вывод, что наиболее стабильные значения детонации достигаются при плотностях 1,090–1,138 (на графике эта зона обозначена пунктиром). Целесообразно придерживаться указанной плотности ВВ при зарядании скважин выемочного блока.

Следует отметить, что существенное влияние на эффективность БВР в целом и на предельном контуре карьера в частности оказывают детонационные характеристики взрывчатых веществ и технические характеристики средств инициирования. От скорости детонации и плотности ВВ существенным образом зависят давление, создаваемое во взрывной полости в момент взрыва, и, соответственно, параметры нагружения горного массива. Взаимодействие ударных волн соседних зарядов определяет краткосрочное распространение волновых процессов в массиве и соответствующий сейсмический эффект. Средства инициирования имеют определенную погрешность по замедлению срабатывания, и чем больше установленное производителем время внутрискважинного замедления при фиксированной норме погрешности, тем больше и сама погрешность. В результате по-

грешность может превышать по времени поверхностное замедление между зарядами, вследствие чего количество сработавших в ступени замедления зарядов может не соответствовать расчетному значению, и сейсмический эффект усилится.

В целом проделанную работу на карьере «Восточный» можно характеризовать следующим образом. Для снижения динамического воздействия технологических взрывов на устойчивость откосных сооружений карьера проводился комплекс исследований сейсмической устойчивости горного массива. По результатам исследований сейсмоустойчивости горных пород разрабатывалась специальная технология производства БВР на предельном контуре карьера. Разработанные технологические приемы проходили промышленные испытания в рамках соответствующей программы, которая утверждалась руководством горного предприятия, включала этапы выполнения, перечень необходимых ресурсов, порядок контроля за выполнением пунктов программы. После реализации программы и опытно-промышленных испытаний полученные результаты анализировались и был составлен внутренний нормативный документ предприятия по производству БВР на предельном контуре карьера (технологический регламент).

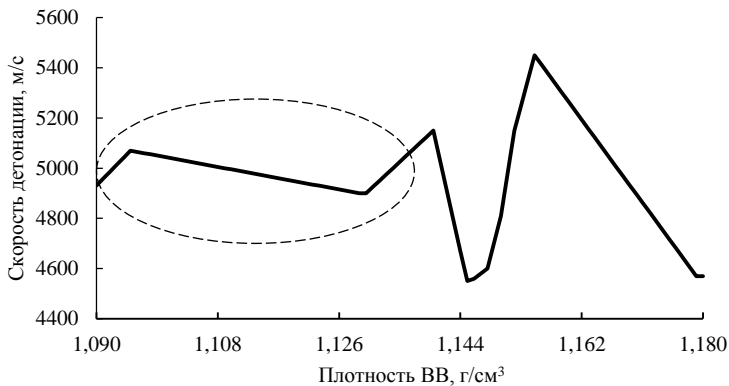


Рис. 2. Зависимость скорости детонации от плотности ЭВВ эмулит ВЭТ-700 (скважинные заряды диаметром 250 мм)

Итак, в результате работы было осуществлено внедрение специальной технологии БВР на предельном контуре карьера, цель которой заключается в обеспечении минимального влияния буровзрывных работ на устойчивость бортов карьера, повышении безопасности при производстве работ под высокими уступами, снижении себестоимости производства товарной продукции. Основными конкурентными преимуществами реализованной разработки является то, что ее применение особенно эффективно при увеличении интенсивности горных работ, а промышленная безопасность повышается за счет регламентирования производства работ на предельных контурах карьера.

Как показала авария 2016 г., опасения относительно сильного деструктивного воздействия технологических взрывов на устойчивое состояние массива подтвердились, предшествующие явления оказались предвестниками крупной аварии. К сожалению, внедрение специальной технологии БВР на предельном контуре началось лишь в 2015 г., к тому времени глубина карьера приблизилась к 400 м. Возможно, если бы данная работа была выполнена на несколько лет раньше и были реализованы соответствующие мероприятия, то при условии изначально верного расчета устойчивости откосных сооружений обрушения борта в 2016 г. могло и не произойти.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жариков С. Н., Шеменев В. Г. О влиянии взрывных работ на устойчивость бортов карьеров // Изв. вузов. Горный журнал. 2013. № 2. С. 80–83.
2. Князев Д. Ю., Жариков С. Н. Изучение сейсмического действия взрывов в подземных горных выработках // Взрывное дело. 2014. № 112/69. С. 251–261.
3. Мосинев В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М.: Недра, 1976. 271 с.
4. Жариков С. Н., Шеменев В. Г., Кутуев В. А. Способы уточнения свойств горных пород при производстве буровзрывных работ // Устойчивое развитие горных территорий. 2017. Т. 9. № 1. С. 74–80.
5. Тимофеев И. Н., Гуленков Э. В. Практика применения эмульсионных взрывчатых веществ на Олимпиадинском ГОКе // Взрывное дело. 2012. № 107/64. С. 191–198.
6. Меньшиков П. В., Сеницын В. А., Маторин А. С., Котышев А. А., Шеменев В. Г. Определение детонационных характеристик гранулитов и эмульсионных ВВ, изготавливаемых в условиях горных предприятий // ГИАБ. 2010. № 7. С. 298–301.
7. Шеменев В. Г., Сеницын В. А., Меньшиков П. В. Методика экспериментального определения основных характеристик взрывчатых веществ // Горный журнал Казахстана. 2014. № 2. С. 44–46.
8. Кутуев В. А., Меньшиков П. В., Жариков С. Н. Анализ методов исследования детонационных процессов ВВ // Проблемы недропользования. 2016. № 3(10). С. 78–87.
9. Кутуев В. А. Изучение детонационных характеристик промышленного эмульсионного взрывчатого вещества порезит-1А с использованием регистратора данных «DATATRAPIT™» // ГИАБ. 2016. № S21. С. 101–109.

Поступила в редакцию 21 июня 2017 года

DEVELOPMENT OF DRILLING AND BLASTING WORKS AT THE OPEN PIT LIMITING CONTOUR

Zharikov S. N. – The Institute of Mining, the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: 333vista@mail.ru

Timofeev I. N., Gulenkov E. V. – AO Polyus Krasnoyarsk, Krasnoyarsk, the Russian Federation. E-mail: Timofeev@polyus.com

Bushkov V. K. – ООО Polyus Proekt, Krasnoyarsk, the Russian Federation. E-mail: BushkovVK@polyus.com

The increase of open pit edges slope angle leads to the reduction of cutback and improves economic efficiency of deposit development. However, herein the risk of sloping constructions downfall in the open pit increases, in the result of geodynamic movements connected with the rock pressure and the influence of short-time impulse loads caused by blasting. The estimation of the sustainable state of sloping construction under definite angle is based upon the measurements of a massif shift in this or that direction within the limits of rather extended periods of observations, at that, short-period deformations, leading to local interblock shifts under sustainable angles substantiation, is not taken into account. In this account, insufficiently exact conduct of drilling and blasting works (DBW) in the vicinity of sloping constructions can cause their destabilization and lead to disastrous landslide developments. The article describes the research in the field of drilling and blasting, which were held at the open pit "Vostochny" of Olimpiada deposit. The principle of a special technology of DBW is presented at the limiting contour of the open pit, which consists of the study of the explosion impact on the edge massif, the determination of the regularities of wave processes behavior in a massif, revealing the interaction of contour tape charges depending on the strength characteristics of a massif, carrying out pilot testing of bank slope work methods, determination of staging of the approach of technological blasts to the protected site, together with the criteria of estimating the efficiency of DBW conduct.

Key words: drilling and blasting works; open pit; contour blasting; earthquake activity of a blast; open pit limiting contour; the velocity of detonation; blast.

REFERENCES

1. Zharikov S. N., Shemenov V. G. [On the effect of blasting on the stability of open pit barriers]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2013, no. 2, pp. 80–83. (In Russ.)
2. Kniazev D. Yu., Zharikov S. N. [Investigation of earthquake activity of blasts in underground mine workings]. *Vzryvnoe delo – Explosion Technology*, 2014, no. 112/69, pp. 251–261. (In Russ.)
3. Mosinets V. N. *Droblyashchee i seismicheskoe deistvie vzryva v gornykh porodakh* [Crushing and earthquake activity of a blast in ricks]. Moscow, Nedra Publ., 1976. 271 p.
4. Zharikov S. N., Shemenov V. G., Kutuev V. A. [The methods of specifying the properties of rocks under the conduct of drilling and blasting works]. *Ustoichivoe razvitiye gornykh territorii – Sustainable Development of Mountain Territories*, 2017, vol. 9, no. 1, pp. 74–80. (In Russ.)
5. Timofeev I. N., Gulenkov E. V. [The practical application of emulsive explosives at Olimpiada MPP]. *Vzryvnoe delo – Explosion Technology*, 2012, no. 107/64, pp. 191–198. (In Russ.)

6. Men'shikov P. V., Sinitsyn V. A., Matorin A. S., Kotiashev A. A., Shemenev V. G. [The determination of detonation characteristics of granulates and emulsive explosives, made in conditions of mining enterprises]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2010, no. 7, pp. 298–301. (In Russ.)
 7. Shemenev V. G., Sinitsyn V. A., Men'shikov P. V. [The methods of experimental determination of basic characteristics of explosives]. *Gornyi zhurnal Kazakhstana – Mining Magazine of Kazakhstan*, 2014, no. 2, pp. 44–46. (In Russ.)
 8. Kutuev V. A., Men'shikov P. V., Zharikov S. N. [The analysis of the methods of investigating the detonation processes of explosives]. *Problemy nedropol'zovaniia – The Problems of Subsoil Use*, 2016, no. 3(10), pp. 78–87. (In Russ.)
 9. Kutuev V. A. [The investigation of detonation characteristics of industrial emulsion explosive poremit-1A, with the use of the data register “DATATRAPII™”]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2016, no. S21, pp. 101–109. (In Russ.)
-