

РЕАКЦИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В КАРЬЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Аннотация. Выполнен цикл сейсмонаблюдений для мониторинга устойчивости бортов карьера при производстве взрывных работ. В работе показана возможность районирования карьерного поля по коэффициенту сейсмичности для выявления наиболее сейсмовосприимчивых участков в карьере, вблизи которых производство взрывных работ следует выполнять с особой осторожностью. Получены зависимости скоростей смещения в различных зонах карьера, и построены соответствующие томограммы распределения коэффициента сейсмичности в карьерном пространстве.

Ключевые слова: горные породы, коэффициент сейсмичности, массовый взрыв, сейсмическое действие взрыва, динамическое воздействие, реакция массива.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-189-195

Введение, теория вопроса

Ключевым фактором, существенно влияющим на устойчивость породных уступов, безусловно, является систематическое производство массовых взрывов на карьере. Регулярное динамическое нагружение массива может стать причиной обрушений локальных участков борта карьера [1–3] если значение максимально зафиксированной скорости смещения превысит допустимый предел для данного рассматриваемого участка борта. В свою очередь скорость смещения для различных участков карьерного пространства может изменяться в достаточно широких пределах. Происходит это в основном из-за разной реакции породного массива на динамическую нагрузку, вызванную массовым взрывом.

В качестве оценки скорости смещения классически применяется зависимость [4, 5], которая устанавливает связь

между величиной скорости смещения грунта (v), массой взрываемого заряда (Q) и расстоянием (r) на котором данное значение скорости было зафиксировано или планируется определить. Так же эмпирическим путем определяются коэффициент сейсмичности (k) и показатель степени затухания (n).

$$v = k \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{r} \right)^n \text{ см/с.}$$

Нормированным показателем степени затухания для скальных горных пород считается значение 1,5. Сложнее с определением коэффициента сейсмичности, который для разных типов пород (со своими характерными физико-механическими и динамическими характеристиками) и технологией производства взрывных работ (мгновенное или короткозамедленное взрывание), согласно [6–11] может изменяться от 100 до 600.

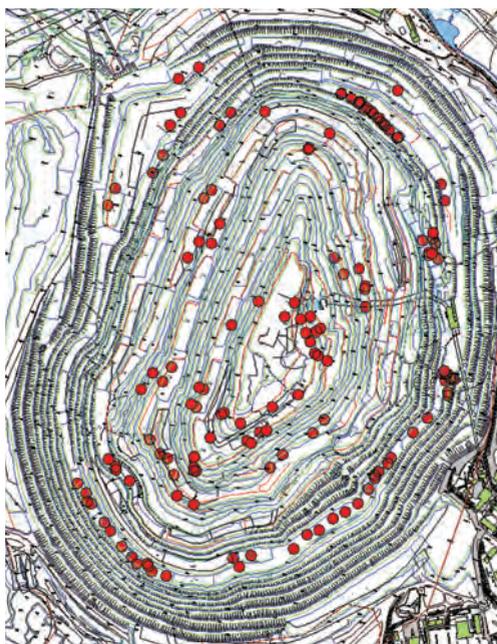


Рис. 1. Расположение точек регистрации в карьерном пространстве с 2016 по 2017 гг.

Fig. 1. Data acquisition array in open pit mine in 2016 through 2017

Причем прослеживается следующая тенденция: чем ниже значение коэффициента, тем прочнее и монолитнее горные породы, слагающие рассматриваемый

участок карьера, и наоборот чем больше коэффициент, тем хуже грунтовые условия, т.е. горные породы на данном участке более трещиноватые. Таким образом, имея достаточное количество данных по скоростям смещения на разных участках карьера можно провести оценку реакции массива на динамические воздействия при производстве массовых взрывов и определить участки, на которых производство взрывных работ следует выполнять с особой осторожностью.

Результаты и методика измерений

В ходе замеров сейсмического действия массовых взрывов в карьерном пространстве рудника «Железный» Ковдорского ГОКа с 2016 по 2017 гг. был получен большой массив данных скоростей смещения (порядка 300 записей) для различных участков борта карьера (рис. 1) с соответствующими расстояниями и массой взрывчатого вещества, приходящейся на максимальную ступень замедления [12–13]. На рис. 2 представлена зависимость, полученная при

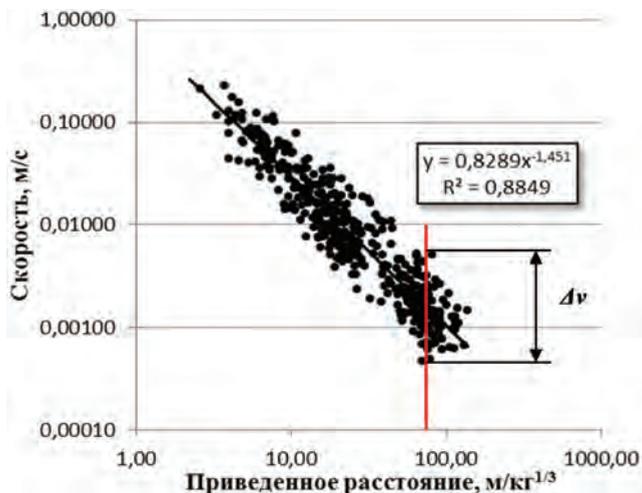


Рис. 2. Сопоставление полученных значений скоростей смещения для массовых взрывов с 2016 по 2017 гг.

Fig. 2. Comparison of the obtained PPV values under large-scale blasts in 2016 through 2017

аппроксимации всех зафиксированных скоростей смещения от приведенного расстояния.

Приведа зависимость к общеизвестному виду, получим:

$$v = 0,829 \left(\frac{\sqrt[3]{Q_{AB(\max)}}}{r} \right)^{1,451} \quad (1)$$

Из формулы (1) следует, что показатель степени затухания составляет 1,451,

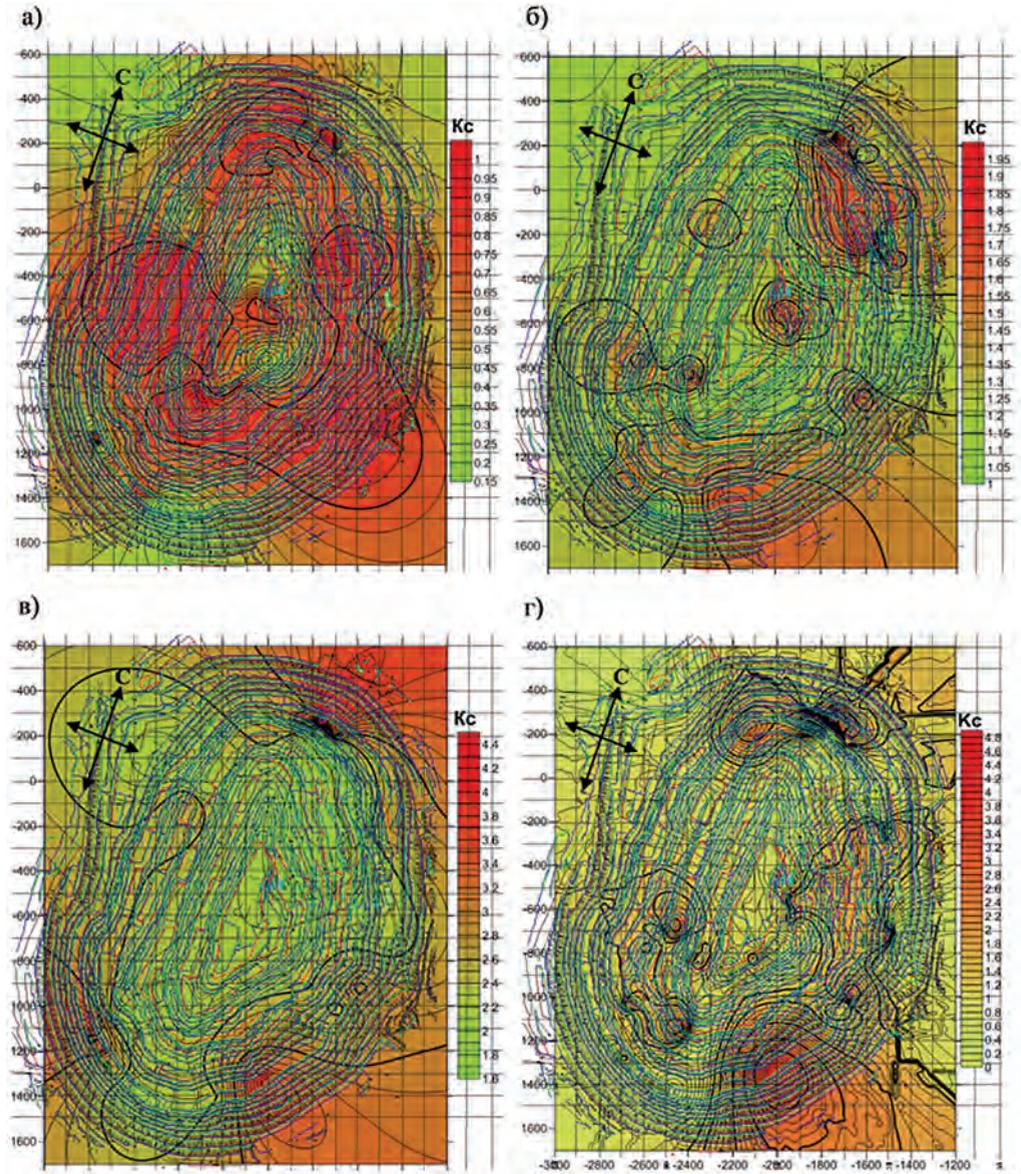


Рис. 3. Распределение k в карьерном пространстве при нормированном $n = 1,5$: $k \leq 1$ (а); k в пределах $1 \div 2$ (б); k в пределах $2 \div 5,0$; г) k за весь период (2016–2017г.) (в)

Fig. 3. Distribution of k in open pit mine area at the rated $n = 1.5$ (a) $k \leq 1$; (b) k in a range of $1 \div 2$; (c) k in a range of $2 \div 5.0$; (d) k over the whole period of 2016–2017

что практически соответствует значению 1,5 для скальных горных пород. Средний коэффициент сейсмичности составляет примерно 83 (если считать в см/с), но если рассмотреть на примере одного конкретного приведенного расстояния (рис. 2), то скорость может отличаться на порядок, а, следовательно, и коэффициент сейсмичности. Этот факт и является следствием того, что различные участки поля карьера могут по-разному реагировать на динамические воздействия, находясь при этом на одинаковом приведенном расстоянии от производимого взрыва. Следовательно, и коэффициент сейсмичности будет меняться от участка к участку.

Рассмотрим распределение коэффициента сейсмичности в карьерном пространстве при нормированном показателе степени затухания 1,5. Для этих целей были построены «томограммы» распределения исследуемого коэффициента в карьерном пространстве, исходя из четырех условий:

- $k \leq 1$ (рис. 3, а);
- k в пределах $1 \div 2$ (рис. 3, б);

- k в пределах $2 \div 5,0$ (рис. 3, в);
- k за весь период измерений (рис. 3, г).

Обсуждение результатов

Рассмотрим рис. 3, а, где $k \leq 1$. Отмечаем, что практически все поле карьера занято областью с коэффициентом сейсмичности от 0,65 до 1. Низкий коэффициент сейсмичности характерен для тех мест, где присутствуют в основном крепкие, близкие к монолитным породы с категорией по трещиноватости — V/IV. Для данной области характерно расположение в нижней и средней части карьера.

На рис. 3, б представлено распределение k в пределах $1 \div 2$. Здесь выделяются области: северо-восточная, юго-восточная, две области на западе и одна на дне карьера. Такие области следует относить к IV/III категории.

На рис. 3, в показано распределение k в пределах $2 \div 5,0$. Как видно из «томограммы», распределение k смещается к границам карьера в те места, где горные породы более дезинтегрированные

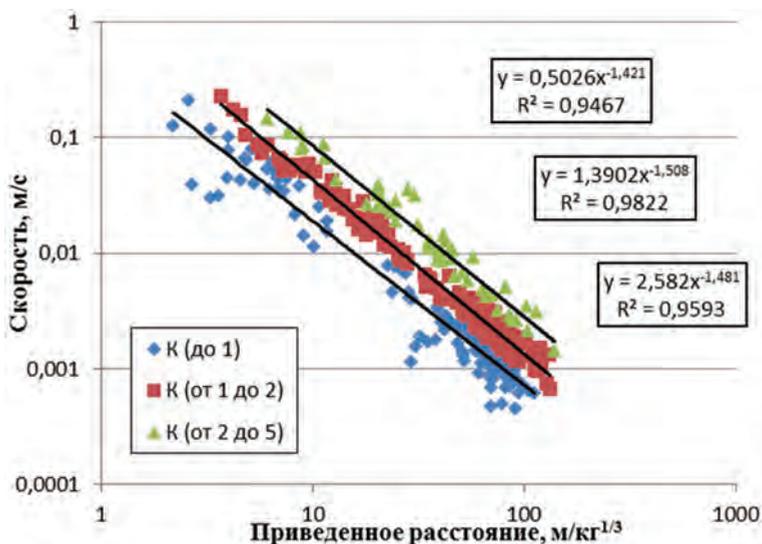


Рис. 4. Зависимости изменения скорости смещения в различных зонах карьера
Fig. 4. Variation of PPV values in different zones of open pit mine

и представлены в основном породами с категорией по трещиноватости III/II.

На рис. 3, г представлено распределение k за весь период измерений с 2016 по 2017 г. Здесь выделяются четыре основные зоны в карьере: северная, восточная, юго-восточная и юго-западная.

Построив зависимости для каждого предела k , получим изменение скорости смещения в различных зонах карьера (рис. 4). За весь период измерений (рис. 1, г) зависимость описывается уравнением (1).

Полученные области распределения коэффициента сейсмичности описываются следующими зависимостями:

$$k \text{ (до 1): } v = 0,5026 \left(\frac{\sqrt[3]{Q_{AB(\max)}}}{r} \right)^{1,421} ; \quad (2)$$

$$k \text{ (от 1 до 2): } v = 1,39 \left(\frac{\sqrt[3]{Q_{AB(\max)}}}{r} \right)^{1,508} ; \quad (3)$$

$$k \text{ (от 2 до 5): } v = 2,582 \left(\frac{\sqrt[3]{Q_{AB(\max)}}}{r} \right)^{1,481} \quad (4)$$

Логично задаться вопросом, какую зависимость принимать за основу при расчете скоростей смещения для конкретно участка карьера, либо обобщенную 1 с коэффициентом достоверности аппроксимации 0,88, либо зависимостями для различных зон 2,3,4 у которых коэффициенты аппроксимации близки к 1,0?

Анализируя полученные зависимости, отмечаем, что коэффициент сейсмичности в основании формулы (1) получает-

ся заниженным относительно (2), (3), (4). Объясняется это тем, что при построении учитывались значения скоростей как нижних, так и верхних горизонтов карьера. Поэтому коэффициент сейсмичности усредняется преимущественно в меньшую сторону.

Использование в расчетах заниженного коэффициента приведет к увеличению массы заряда в ступени замедления, а с ним и сейсмического действия взрыва на неблагоприятных участках карьера, что недопустимо. Поэтому для расчетов следует принимать зависимости (2), (3), (4), которые описывают распределение k по горизонтам, а значение самого параметра k следует выбирать наибольшее из рассматриваемого участка.

Заключение

1. На примере карьерного поля Ковдорского ГОКа проведено районирование по коэффициенту сейсмичности, который указывает на изменяющиеся со временем грунтовые условия в карьере.

2. Определено, что чем ниже значение коэффициента, тем прочнее и монолитнее горные породы, слагающие рассматриваемый участок карьера и наоборот чем больше коэффициент, тем хуже грунтовые условия, т.е. горные породы на данном участке более трещиноватые.

3. Получены зависимости для различных участков карьерного поля, с помощью которых можно производить оперативную корректировку параметров БВР и с достаточной точностью рассчитывать радиус сейсмоопасной зоны при массовом взрыве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фокин В. А. Методические аспекты анализа технологической информации при производстве буровзрывных работ в условиях карьеров. — Апатиты: КНЦ РАН, 2015. — 133 с.

2. Фокин В. А., Мелик-Гайказов И. В., Тогунов М. Б., Шитов Ю. А. Особенности сейсмического действия зарядов контурных скважин в технологии заоткоски уступов карьера // Горный журнал. — 2011. — № 10. — С. 50–53.

3. Камянский В. Н. Исследование приконтурного массива при производстве взрывных работ на карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 17. — С. 228–234.

4. Садовский М. А. Простейшие приемы определения сейсмической опасности при взрывах. — М.: ИГД им. А. А. Скочинского АН СССР, 1946. — 29 с.

5. Ataei M., Zare M. Evaluation of Blast-Induced Damage Effects on Underground / 7th International Scientific Conference on Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM, Albena, 2007.

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

7. Белин В. А., Холодилов А. Н., Господариков А. П. Методические основы прогнозирования сейсмического действия массовых взрывов // Горный журнал, 2017. — № 2. — С. 66–68.

8. Бондаренко И. Ф., Жариков С. Н., Зырянов И. В., Шеменев В. Г. Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2017. — 172 с.

9. Nateghi R. Prediction of ground vibration level induced by blasting at different rock units / International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2011. Vol. 48. Issue 6. pp. 899–908.

10. Melo C., Sharma S. Seismic coefficients for pseudostatic slope analysis / 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, 2004. — August 1–6. Paper No. 369.

11. Papadimitriou A. G., Andrianopoulos K I., Bouckovalas G. D., Anastasopoulos K. Improved Methodology for Estimating Seismic Coefficients for the Pseudo-Static Stability Analysis of Earth Dams / International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego, California, May 24–29, 2010. — pp. 1–11.

12. Козырев С. А., Аленичев И. А., Усачев Е. А., Соколов А. В. Сейсмическое действие массовых взрывов на бортах карьера рудника «Железный» // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. — 2017. — № 14. — С. 288–291.

13. Козырев С. А., Аленичев И. А., Камянский В. Н., Соколов А. В. Особенности сейсмического воздействия взрыва отрезной щели на законтурный массив и методы его снижения в условиях карьера рудника «Железный» Ковдорского ГОКа // Взрывное дело, 2017. — № 118/75. — С. 225–235. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Аленичев Игорь Алексеевич — кандидат технических наук, научный сотрудник, e-mail: igor-alenichev@ya.ru, Горный институт Кольского научного центра РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 7, pp. 189–195.

Rock mass response to dynamic effect of blasting in the area of open pit mine

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

Abstract. The seismic surveying cycle is performed with a view to pit wall stability monitoring during blasting operations. It is found that the lower values of the seismicity coefficient imply the stronger and more monolithic pit wall rock mass and, vice versa, the higher seismicity coefficient means the worse ground conditions, i.e. more jointed rock mass in the given pit wall area. The article illustrates capacities of open pit mine field mapping by the seismicity coefficient to detect more seismically sensitive areas nearby which blasting should be carried out with a particular care. The found relations between the PPV

values and reduced distances in different areas of open pit mine field can be used for prompt adjustment of drilling-and-blasting parameters and for sufficiently accurate calculation of radius of a seismically hazardous zone under large-scale blasting. The calculations with the conservative value of the seismicity coefficient will yield an increased mass of charge per delay stage and, consequently, the higher seismic impact in unfavorable areas of open pit mines, which is inadmissible.

Key words: rock, seismicity coefficient, large-scale blast, seismic blasting action, dynamic action, reaction of the rock mass.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-189-195

REFERENCES

1. Fokin V.A. *Metodicheskie aspekty analiza tekhnologicheskoy informatsii pri proizvodstve burovzryvnykh rabot v usloviyakh kar'erov* [Methodical aspects of technological information analysis in drilling and blasting in open pit mines], Apatity, KNTs RAN, 2015, 133 p.
2. Fokin V.A., Melik-Gaykazov I.V., Togunov M.B., Shitov Yu.A. Osobennosti seismicheskogo deystviya zaryadov konturnykh skvazhin v tekhnologii zaotkoski ustupov kar'era [Features of seismic effect of perimeter control blasting of benches]. *Gornyy zhurnal*. 2011, no 10, pp. 50–53.
3. Kamyanskiy V.N. Issledovanie prikoturnogo massiva pri proizvodstve vzryvnykh rabot na kar'erakh [Study of pit wall rock mass during blasting in open pit mine]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 17, pp. 228–234.
4. Sadovskiy M.A. *Prosteyschie priemy opredeleniya seismicheskoy opasnosti pri vzryvakh* [Simplest methods to determine seismic hazard of blasting], Moscow, IGD im. A.A. Skochinskogo AN SSSR, 1946, 29 p.
5. Ataei M., Zare M. Evaluation of Blast-Induced Damage Effects on Underground. *7th International Scientific Conference on Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection*, SGEM. Albena, 2007.
6. Mosinets V.N. *Drobyashchee i seismicheskoe deystvie vzryva v gornykh porodakh* [Fragmenting and seismic effects of blasting in rock mass], Moscow, Nedra, 1976, 271 p.
7. Belin V.A., Kholodilov A.N., Gospodarikov A.P. Metodicheskie osnovy prognozirovaniya seismicheskogo deystviya massovykh vzryvov [Methodical framework of seismic effect prediction under large-scale blasting]. *Gornyy zhurnal*, 2017, no 2, pp. 66–68.
8. Bondarenko I.F., Zharikov S.N., Zyryanov I.V., Shemenov V.G. *Burovzryvnye raboty na kimberlitovykh kar'erakh Yakutii* [Drilling and blasting in open pit kimberlite mines in Yakutia], Ekaterinburg, IGD UrO RAN, 2017, 172 p.
9. Nateghi R. Prediction of ground vibration level induced by blasting at different rock units. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2011. Vol. 48. Issue 6. pp. 899–908.
10. Melo C., Sharma S. Seismic coefficients for pseudostatic slope analysis. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, 2004. August 1–6. Paper No. 369.
11. Papadimitriou A.G., Andrianopoulos K I., Bouckovalas G.D., Anastasopoulos K. Improved methodology for estimating seismic coefficients for the pseudo-static stability analysis of earth dams. *International conferences on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics*, San Diego, California, May 24–29, 2010. pp. 1–11.
12. Kozyrev S.A., Alenichev I.A., Usachev E.A., Sokolov A.V. Seismicheskoe deystvie massovykh vzryvov na bortakh kar'era rudnika «Zheleznyy» [Seismic effect of large-scale blasts on Zhelezny open pit walls]. *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNTs RAN*. 2017, no 14, pp. 288–291.
13. Kozyrev S.A., Alenichev I.A., Kamyanskiy V.N., Sokolov A.V. Osobennosti seismicheskogo vozdeystviya vzryva otreznoy shcheli na zakoturnyy massiv i metody ego snizheniya v usloviyakh kar'era rudnika «Zheleznyy» Kovdorskogo GOKa [Features of seismic effect produced by blasted slot on pit wall rock mass and its mitigation in the conditions of Zhelezny open pit mine of Kovdor Mining and Processing Plant]. *Vzryvnoe delo*, 2017, no 118/75, pp. 225–235. [In Russ].

