

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЗАРЯДА
С ИНЕРТНЫМИ И ГАЗООБРАЗУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ
НА ВЗРЫВНОЕ ДРОБЛЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД**

В. Н. Долударев, Ю. В. Дзекун, А. А. Юрко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Н. П. Головина

Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета
ул. Победы, 17/6, г. Кременчуг, 39605, Украина.

Экспериментально исследовано влияние конструкции зарядов на взрывное дробление горных пород. Установлено, что заряд с наружной оболочкой из газообразующей добавки, замещающей 20 % взрывчатого вещества, оказался наиболее эффективным для снижения выхода переизмельченных и самых крупных фракций. Наличие в заряде взрывчатого вещества инертного вещества приводит к общему уменьшению дробления, однако позволяет снизить прочность породы после взрывного нагружения, что уменьшает энергозатраты при работе дробильно-сортировочного оборудования.

Ключевые слова: газообразующее вещество, инертная добавка, дробление, конструкция заряда.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ ЗАРЯДУ
З ІНЕРТНИМИ ТА ГАЗОУТВОРЮЮЧИМИ ДОБАВКАМИ
НА ВИБУХОВЕ ДРОБЛЕННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД**

В. М. Долударєв, Ю. В. Дзекун, О. А. Юрко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Н. П. Головіна

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету
вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна.

Експериментально досліджено вплив конструкції зарядів на вибухове дроблення гірських порід. Встановлено, що заряд із зовнішньою оболонкою з газоутворюючої добавки, яка заміщає 20 % вибухової речовини, виявився найбільш ефективним для зниження виходу переподрібнених і найкрупніших фракцій. Наявність в заряді вибухової речовини інертної речовини призводить до загального зменшення дроблення, але дозволяє знизити міцність породи після вибухового навантаження, що зменшує енерговитрати при роботі дробильно-сортувального обладнання.

Ключові слова: газоутворююча речовина, інертна добавка, дроблення, конструкція заряду.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Конкурентная борьба в условиях рыночной экономики предъявляет все более высокие требования к эффективности работы горнодобывающих предприятий. Качественно проведенные буровзрывные рабо-

ты (БВР) являются залогом успеха на всех последующих стадиях транспортировки и переработки горных пород. До настоящего времени достаточно большое внимание уделялось изучению влияния параметров взрывчатых веществ (ВВ) и конструкции заряда на эффективность взрывного дробления твердых сред [1–6]. При этом основным показателем дробления всегда был и остается гранулометрический состав отбитой горной массы.

Цель работы – исследование влияния конструкции заряда с инертными и газообразующими добавками на взрывное дробление.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Для оценки влияния конструкции заряда на эффективность взрывного дробления твердых сред нами совместно с ООО «Акватол» в лабораторных условиях была проведена серия экспериментов на моделях из лабрадорита. Для этого использовали кубические модели с размером ребра 80 мм, шпуром диаметром 5, 6 и 9 мм и высотой $h = 55$ мм, просверленным по центру одной из граней куба. В качестве ВВ использовали тэн. В этой серии экспериментов применяли следующие конструкции зарядов (рис. 1):

1) сплошной цилиндрический заряд тэна диаметром 6 мм, высота $h = 20$ мм, масса ВВ 500 мг;

2) диаметр заряда 6 мм, высота $h = 23$ мм, масса ВВ 500 мг с воздушной внутренней осевой полостью диаметром 1,5 мм;

3) диаметр заряда 6 мм, высота $h = 20$ мм, масса ВВ 450 мг с воздушной внутренней осевой полостью диаметром 1,5 мм;

4) заряд с воздушной оболочкой – диаметр шпура 6 мм, диаметр гильзы с тэном 4 мм, $h = 40$ мм, масса ВВ 500 мг;

5) заряд с резиновой оболочкой – наружный диаметр резиновой трубки 6 мм, внутренний – 4 мм, $h = 40$ мм, масса ВВ 500 мг;

6) заряд с водяной оболочкой – внутренний диаметр 4 мм, наружный – 6 мм, $h = 40$ мм, масса ВВ 500 мг;

7) заряд с медной оболочкой толщиной 0,1 мм – диаметр шпура 5 мм, диаметр гильзы с тэном 4 мм, $h = 40$ мм, масса ВВ 500 мг;

8) заряд с воздушной оболочкой – диаметр шпура 5 мм, диаметр гильзы с тэном 4 мм, $h = 40$ мм, масса ВВ 500 мг;

9) заряд с наружной оболочкой из йода – внутренний диаметр 4 мм, наружный – 5 мм, $h = 40$ мм, масса ВВ 500 мг;

10) заряд с наружной оболочкой из газообразующего вещества (твердое ракетное топливо) – внутренний диаметр 4 мм, наружный – 5 мм, $h = 32$ мм, масса газообразующего вещества 100 мг, масса ВВ 400 мг;

11) заряд с инертной наружной оболочкой из цементной пыли – внутренний диаметр 4 мм, наружный – 5 мм, $h = 40$ мм, масса ВВ 500 мг;

12) заряд с оболочкой из пластилина – внутренний диаметр 4 мм, наружный – 6 мм, $h = 40$ мм, масса ВВ 500 мг;

13) заряд с оболочкой из пластилина – внутренний диаметр 4 мм, наружный – 5 мм, $h = 40$ мм, масса ВВ 500 мг;

14) заряд с оболочкой из пластилина и воды – диаметр гильзы с тэном 5 мм,

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

наружный диаметр пластиковой оболочки – 7 мм, $h = 28$ мм, масса ВВ 500 мг, диаметр шнура 9мм, между пластилином и стенкой шнура вода;

15) заряд с оболочкой из пластилина и воды – диаметр гильзы с тэном 5 мм, внутренний диаметр пластиковой оболочки 7 мм наружный – 9 мм, $h = 28$ мм, масса ВВ 500 мг, диаметр шнура 9мм;

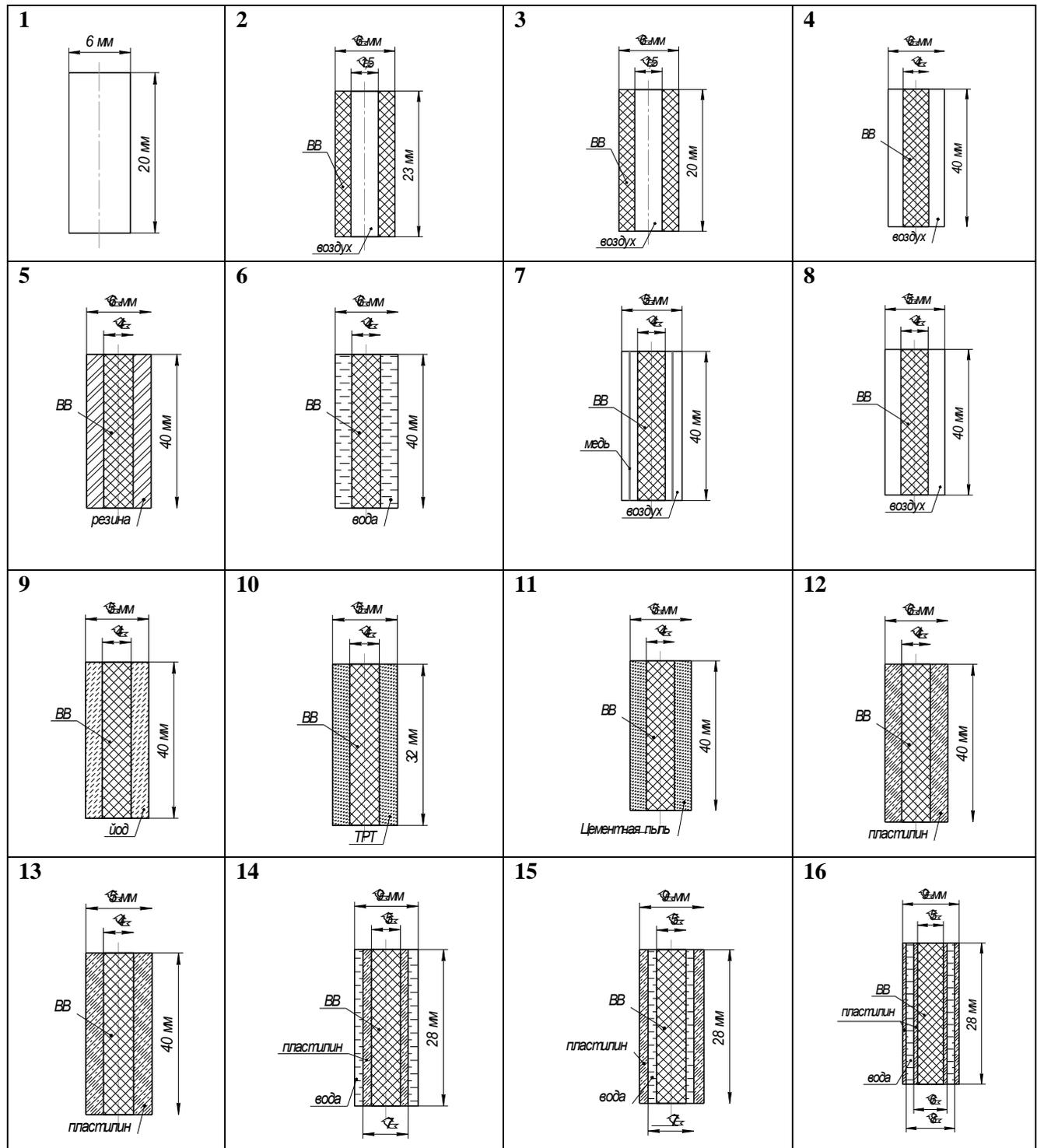


Рисунок 1 – Конструкции зарядов

**ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ**

1б) заряд с оболочкой из пластилина и воды – диаметр гильзы с тэном 5 мм, внутренний диаметр первой пластичной оболочки 5 мм наружный – 6 мм, внутренний диаметр оболочки из воды 6 мм наружный – 8 мм, внутренний диаметр второй пластичной оболочки 8 мм, $h = 28$ мм, масса ВВ 500 мг, диаметр шпура 9мм.

Интенсивность дробления оценивали по гранулометрическому составу взорванных моделей, определяемому методом ситового анализа. Результаты экспериментов отражены в табл. 1.

Таблица 1 – Изменение интенсивности дробления моделей
в зависимости от конструкции заряда

Конструкция заряда по схеме	Процентное содержание фракций, мм						
	<0,5	0,5-2,5	2,5-7,5	7,5-10	10-14	14-20	>20
1	5,48	11,91	28,88	11,43	17,04	16,36	8,9
2	7,93	16,26	32,2	14,5	16,22	11,12	1,77
3	6,16	14,59	32,29	10,76	16,36	14,87	4,97
4	4,81	11,25	25,12	9,62	15,22	19,54	14,44
5	5,36	15,28	35,05	11,54	16,24	10,29	6,24
6	5,03	16,46	36,76	11,72	14,61	10,92	4,5
7	4,59	12,72	28,62	12,01	16,97	14,13	10,96
8	4,91	12,98	30,53	10,18	16,84	18,25	6,31
9	4,47	12,92	25,88	14,54	18,03	17,36	6,8
10	4,2	17,0	34,8	12,5	16,8	11,7	3,0
11	4,1	9,47	29,56	10,1	19,14	16,37	11,26

Результаты проведенных экспериментов показывают, что заряд с наружной оболочкой из газообразующего вещества, замещающего 20 % ВВ, оказался наиболее эффективным для снижения выхода переизмельченных и самых крупных фракций. То есть дробление становится более равномерным с одновременной экономией ВВ.

Заряды с воздушной, медной и пластичной (табл. 2) оболочками, хоть и снижают выход переизмельченных фракций по сравнению со сплошным зарядом тэна, но при этом увеличивают выход самых крупных фракций. Это свидетельствует об общем снижении интенсивности дробления, а, следовательно, и уменьшении КПД взрыва. Особенно четко это прослеживается на зарядах с пластичными оболочками (пластилин). При этом очевидно, что с увеличением тол-

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

щину оболочку происходит одновременно снижение выхода переизмельченных фракций и повышение выхода крупных. Вероятно, это происходит потому, что наличие пластичного вещества между зарядом ВВ и поверхностью шпура с одной стороны значительно уменьшает бризантное воздействие и переизмельчение в ближней к заряду зоне, а с другой – препятствует проникновению продуктов детонации (ПД) в образующиеся трещины и снижает дробление.

Инертная добавка в виде цементной пыли, несмотря на общее снижение интенсивности дробления, приводит к уменьшению прочности раздробленной горной породы [7–10]. Это должно привести к снижению энергозатрат при работе дробильно-сортировочного оборудования. Для изучения степени разупрочнения среды при использовании зарядов с мелкодисперсными добавками (цементная пыль и т.д.) целесообразно провести дополнительные исследования.

Таблица 2 – Интенсивность дробления моделей, разрушенных зарядами с пластичными оболочками

Конструкция заряда по схеме	Процентное содержание фракций, мм						
	<0,5	0,5-2,5	2,5-7,5	7,5-10	10-14	14-20	>20
12	4,5	12,6	30,2	11,4	14,5	17,6	9,2
13	5,3	15,4	29,7	11,7	13,5	15,9	8,5
14	3,4	9,1	22,8	13,3	18,3	17,9	15,2
15	2,8	8,1	32,9	14,2	17,2	17,6	17,2
16	2,2	7,1	24,4	12,1	18,8	18,1	17,3

ВЫВОДЫ. Выполненные экспериментальные исследования показали:

- заряд с наружной оболочкой из газообразующего вещества, замещающего 20 % ВВ, оказывается наиболее эффективным для снижения выхода негабарита и переизмельченных фракций.
- заряд с наружной оболочкой из цементной пыли приводит к снижению дробления, но позволяет уменьшить прочность породы после взрывного нагружения, что уменьшает затраты при ее последующем измельчении на дробильно-сортировочном оборудовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение эффективности действия взрыва в твердой среде / В.М. Комир, В.М. Кузнецов, В.В. Воробьёв, В.Н. Чебенко. – М.: Недра, 1988. – 209 с.
2. Долударев В.Н. О влиянии газообразующего энергоактивного компонента в заряде на эффективность взрывного дробления твердых сред // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2004. – Вип. 4/2004(27). – С.142–144.

3. О влиянии параметров смесового заряда на эффективность взрыва в грунтах. / В.В. Воробьев, В.Н. Долударев, А.М. Пеев // Проблемы создания новых машин и технологий. – Кременчук, 1998. – Вып. 2. – С. 239–240.

4. Управление разрушением горных пород взрывом на карьерах / К. Н. Ткачук, К. К. Ткачук, О. Я. Тверда. – К.: Основа, 2015. – 262 с.

5. О влиянии конструкции удлиненного заряда ВВ на выход переизмельченных фракций при разрушении горных пород / В.В. Воробьев, В.Н. Долударев, А.М. Пеев, М.В. Помазан // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Вип. 6/2006 (41), часть 1. – С. 82–84.

6. Оценка эффективности действия смесовых зарядов ВВ с энергоактивными добавками // Э.И. Ефремов, В.Д. Петренко, И.Л. Кратковский / Высокоэнергетическая обработка материалов. – Днепропетровск, НГАУ.– 1999. – № 8. – С.77–80.

7. Особенности поведения крепких скальных пород при импульсном воздействии взрыва зарядов промышленных взрывчатых веществ / В.М. Комир, Я.С. Долударева, Т.Ф. Козловская., В.Н. Долударев, В.Д. Лемижанская, А.И. Комир // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 6 (71). – Част. 1. – С. 123–127.

8. Долударева Я.С. Исследование изменения степени разупрочнения горных пород с течением времени после неразрушающего взрывного воздействия // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. - Кременчук: КДПУ, 2004. – Вип. 6/2004(29). – С. 118–120.

9. Кочетков П.А. Механизм разупрочнения пород горного массива при распространении взрывных волн // Известия вузов. Горный журнал. – 1987. – № 4. – С. 63–66.

10. Методы предварительного разупрочнения горных пород взрывом / П.А. Кочетков, О.В. Дымченко, А.А. Грубский // Физико-технологические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1992. – № 6. – С. 54–58.

RESEARCH OF THE EFFECT OF THE CHARGE DESIGN WITH INERT AND GAS-FORMING ADDITIVES ON EXPLOSIVE CRUSHING ROCKS

V. Doludarev, Yu. Dzekun, O. Yurko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

N. Golovina

Kremenchuk Flight College of National Aviation University

vul. Peremogy, 17/6, Kremenchuk, 39605, Ukraine.

Purpose. This work is directed to study the effect of the charge design with inert and gas-forming additives on explosive crushing. **Methodology.** A series of experiments was conducted to evaluate the effect of the charge design on the efficiency of explosive crushing of solid media. **Results.** A charge with an outer shell of gas-forming substance replacing 20 % of the explosive, reduces the yield of oversized and re-fractionated fractions. A charge with an outer shell with inert additive (cement dust) leads to a slightly smaller crushing, but allows to reduce the rock strength after explosive loading. **Originality.** The results of the experiments show that a charge with an

outer shell of a gas-generating substance replacing 20% of explosive was the most effective for reducing the yield of re-milled and largest fractions. That is, the crushing becomes more uniform with simultaneous saving of explosives. In the same time inert additive in the form of cement, despite a general decrease in the intensity of crushing, leads to a reduction in the strength of crushed rock. **Practical value.** The use of gas-forming and inert additives should help to reduce the strength of the rock after explosive loading, which reduces costs for subsequent crushing. References 10, tables 2, figures 1.

Key words: gassing additive, an inert additive, crushing, design of charges

REFERENCES

1. Komir, V.M., Kuznetsov, V.M., Vorobyov, V.V., Chebenko, V.N. (1988), “Increasing the effectiveness of the explosion in a solid medium”, Moscow, *Nedra* – 209 p.
2. Doludarev, V.N. (2004), “On the effect of blowing power-active component in the charge on the effectiveness of the explosive fragmentation of solid media”, *Visnyk Kremenchutskogo derzavnogo politehnichnogo universytetu. Naukovi pratsi KDPU*, vol. 4, no. 27, pp. 142–144.
3. Vorobyov, V.V., Doludarev, V.N., Pejev, A.M. (1998), “On the influence of the parameters of the mix charge on the efficiency of the explosion in soils”, *Problemy sozdaniya novykh mashyn i tehnologij*, vol. 2, pp. 239–240.
4. Tkachuk, K.N., Tkachuk, K.K., Tverda, O.Ya. (2015), “Management of the destruction of rocks by the explosion in quarries”, Kiev, *Osnova* – 262 p.
5. Vorobyov, V.V., Doludarev, V.N., Pejev, A.M., Pomazan, M.V. (2006), “On the influence of the construction of elongated explosive charge to the output of overgrinding fractions in rock failure”, *Visnyk Kremenchutskogo derzavnogo politehnichnogo universytetu. Naukovi pratsi KDPU*, vol. 6, part 1, no. 41, pp. 82–84.
6. Efremov, E. (1999), «Evaluation of the effectiveness of the mixed explosive charges with the energy of the active additives», *The high-energy materials processing*, no. 8, pp. 77–80.
7. Komir, V.M., Doludareva, Ya.S., Kozlovskaya, T.F., Doludarev, V.N., Lemizhanskaya, V.D., Komir, A.I. (2011), “Behavioral features of solid rocks at impulsive impact of industrial explosives charges”, *Visnyk Kremenchutskogo natsionalnoho universytetu imeni Mykhayla Ostrohradskoho*, vol. 6, no. 71, pp. 123–127.
8. Doludareva, Ya.S. (2004), “Study changes in the degree of softening of rocks over time after the non-destructive explosive impact”, *Visnyk Kremenchutskogo derzavnogo politehnichnogo universytetu: Naukovi praci KDPU*, vol. 6, no. 29, pp. 118–120.
9. Kochetkov, P.A. (1987), “Mechanism of weakening rocks of rock massif with propagation of blast waves”, *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*, no. 4, pp. 63–66.
10. Kochetkov, P.A., Dyimchenko, O.V., Grubskiy, A.A. (1992), “Methods of preliminary weakening of rocks by explosion”, *Fiziko-tehnologicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, no. 6, pp. 54–58.

Стаття надійшла 13.10.2017.