

**ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ УДЛИНЕННОГО СМЕСЕВОГО ЗАРЯДА
НА ОБРАЗОВАНИЕ ПЫЛИ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ НА КАРЬЕРАХ**

В. Н. Долударев, А. М. Пеев, М. В. Беззубченкова, Я. С. Долударева

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина.

E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Проведена оценка влияния конструкции заряда на эффективность взрывного дробления твердых сред и выход перемельченных фракций при массовых взрывах. Сравнение результатов применения различных конструкций зарядов показало, что заряд с наружной оболочкой из газообразующего вещества позволяет снизить выход переизмельченных и пылевых фракций, а также повысить равномерность дробления горных пород, улучшая эффективность работы карьеров и снижая экологический ущерб.

Ключевые слова: переизмельченные фракции, пыль, массовый взрыв, взрывчатое вещество.

**ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ ПОДОВЖЕНОГО СУМІШЕВОГО ЗАРЯДУ
НА УТВОРЕННЯ ПИЛУ ПРИ МАСОВИХ ВИБУХАХ НА КАР'ЄРАХ**

В. М. Долударєв, А. М. Пєєв, М. В. Беззубченкова, Я. С. Долударєва

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна.

E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Проведена оцінка впливу конструкції заряду на ефективність вибухового дроблення твердих середовищ та вихід переподрібнених фракцій при масових вибухах. Порівняння результатів застосування різних конструкцій зарядів показало, що заряд з наружною оболонкою із газоутворюючої речовини дозволяє знизити вихід переподрібнених та пилових фракцій, а також підвищити рівномірність дроблення гірських порід, покращуючи ефективність роботи кар'єрів та знижуючи екологічний збиток.

Ключові слова: переподрібнені фракції, пил, масовий вибух, вибухова речовина.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Разработка открытых месторождений полезных ископаемых сопровождается значительными пылегазовыми выбросами в окружающую среду, что приводит к значительному экологическому ущербу. Помимо этого выход переизмельченных пылевых фракций при добыче нерудных полезных ископаемых значительно снижает эффективность работы соответствующих горнодобывающих предприятий[1–3]. Поэтому создание новых конструкций скважинных зарядов, позволяющих снизить пылевые выбросы в атмосферу, является своевременной актуальной задачей горного производства.

Цель работы – практическая оценка влияния конструкции удлиненных смесевых зарядов на выход переизмельченных пылевых фракций при взрыве в твердых средах.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Одной из причин пылеобразования при взрывной отбойке горных пород является переизмельчение среды в ближней к заряду зоне. Для снижения переизмельчения целесообразно уменьшать пик давления в зарядной полости при помощи воздушных промежутков в заряде взрывчатых веществ (ВВ). При создании в заряде воздушной полости рекомендуемого объема, максимальное давление на стенки шпура (скважины) уменьшается в 1,7–2,0 раза. Недостатком данного способа является снижение общей энергии заряда за счет уменьшения массы ВВ при частичном замещении его объема воздушным промежутком. При заполнении воздушных полостей инертным материалом (песком, гранотсевом т.п.) давление газов в зарядной камере несколько повышается, но общее количество энергии заряда уменьшается по той же причине, что и в случае с воздушным промежутком.

В начальной стадии расширения продуктов детонации состояние газов описывается уравнением [4]:

$$P_0 V_0^3 = P_1 V_1^3, \quad (1)$$

где P_0 – начальное давление ПД, Па;

P_1 – давление ПД после прохождения сквозь оболочку из инертного вещества (после расширения), Па;

V_0 – объем полости, занимаемой ВВ, м³;

V_1 – объем ПД после проникновения в поры инертной оболочки, м³.

Отсюда:

$$P_1 = \frac{P_0 (\pi R_0^2 h)^3}{\left(\pi R_0^2 h + (\pi R_1^2 h - \pi R_0^2 h) \cdot 0,3 \right)^3}, \quad (2)$$

где R_0 и R_1 – соответственно внутренний и наружный радиусы инертной оболочки, м;

h – высота заряда цилиндрической формы, м.

Из формулы (2) видно, что с увеличением наружного радиуса инертной оболочки R_1 увеличивается знаменатель дроби, а, следовательно, уменьшается давление продуктов детонации после прохождения сквозь оболочку из инертного вещества P_1 .

Оптимальным решением этой проблемы может стать замещение в заряде некоторого количества ВВ газообразующим энергоактивным компонентом. В этом случае на начальной стадии взрыва часть энергии, затрачиваемая на переизмельчение среды в ближней к заряду зоне, идет на воспламенение газообразующей добавки. Газообразующий компонент, в свою очередь, в процессе горения выделяет энергию на последующих этапах взрыва, т.е. происходит увеличение длительности импульса нагружения, что положительно сказывается на результатах дробления [5–7].

Для оценки влияния конструкции заряда на эффективность взрывного дробления твердых сред нами совместно с ЧП «Акватол» была проведена серия экспериментов на моделях из лабрадорита. Для этого использовали кубические модели с размером ребра 80 мм, шпуром диаметром 5 и 6 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 452 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, $h = 38$ мм, масса ВВ 500 мг;
- 5) заряд с резиновой оболочкой – наружный диаметр резиновой трубки 6 мм, внутренней – 4 мм, $h = 38$ мм, масса ВВ 500 мг;
- 6) заряд с водяной оболочкой – внутренний диаметр 4 мм, наружный – 6 мм, $h = 38$ 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 оболочкой из пластилина – внутренний диаметр 4 мм, наружный – 6 мм, $h = 38$ мм, масса ВВ 500 мг;
- 12) заряд с оболочкой из пластилина – внутренний диаметр 4 мм, наружный – 5 мм, $h = 38$ мм, масса ВВ 500 мг;
- 13) заряд с оболочкой из пластилина и воды – диаметр гильзы с тэном 5 мм, наружный диаметр пластичной оболочки – 7 мм, $h = 28$ мм, масса ВВ 500 мг, диаметр шпура 9мм, между пластилином и стенкой шпура вода;
- 14) заряд с оболочкой из пластилина и воды – диаметр гильзы с тэном 5 мм, внутренний диаметр пластичной оболочки 7 мм наружный – 9 мм, $h = 28$ мм, масса ВВ 500 мг, диаметр шпура 9мм, между пластилином и зарядом ВВ вода;
- 15) 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.

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

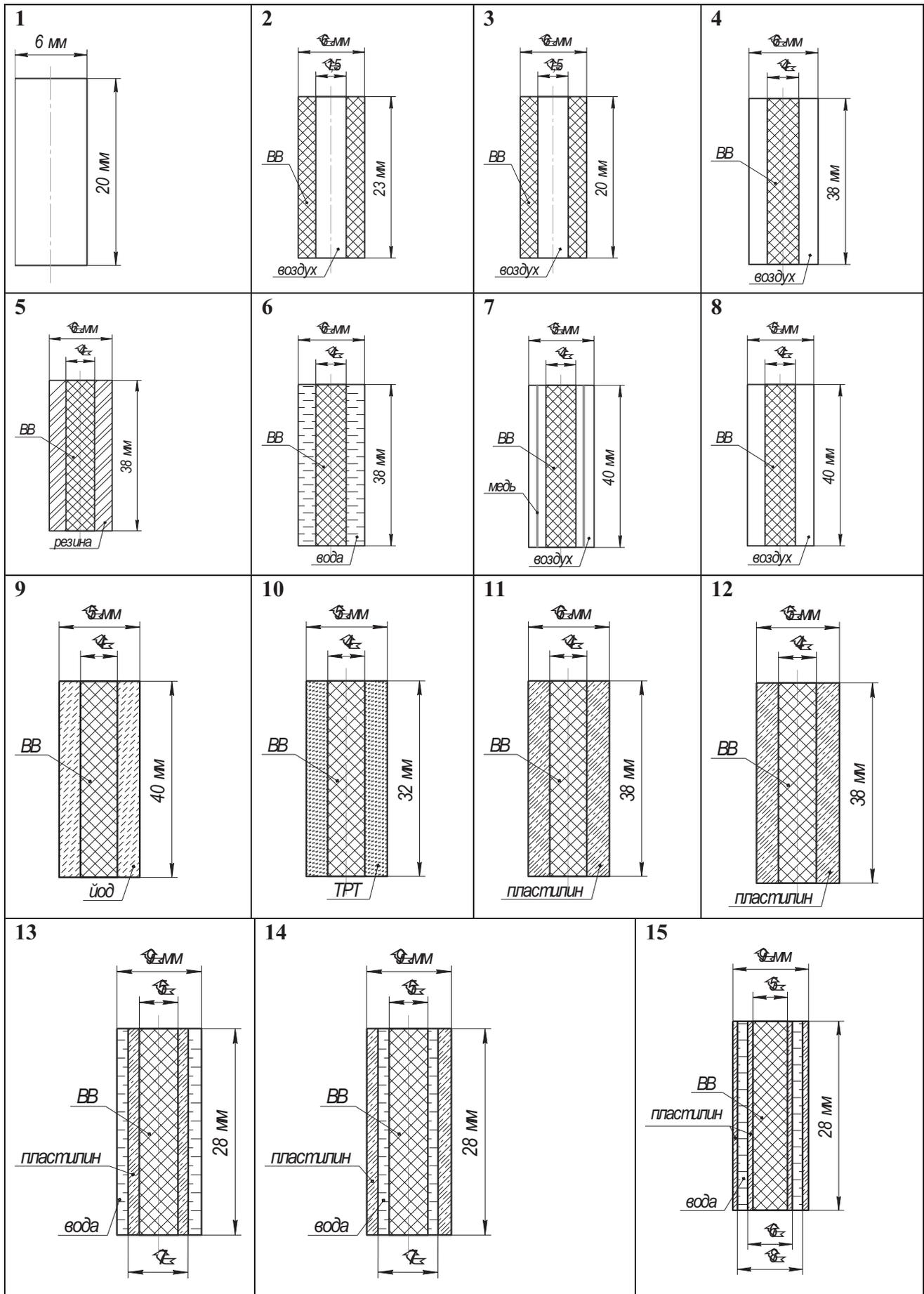


Рисунок 1 – Конструкції зарядов

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	12,0	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	34,8	12,5	16,8	11,7	3

ВЫВОДЫ. По результатам проведенных экспериментов мы видим, что заряд с наружной оболочкой из газообразующего вещества, замещающего 20 % ВВ, оказался наиболее эффективным для снижения выхода переизмельченных фракций и образования пыли. То есть дробление становится более равномерным с одновременной экономией ВВ. Более того, в случае добавления (без замещения) к основному заряду ВВ большого количества газообразующего вещества дробление усиливается настолько, что увеличивается выход переизмельченных фракций. Поэтому необходимо провести дополнительные исследования для определения рациональной конструкции заряда и процентного содержания добавки в нем.

Заряды с воздушной, медной и пластичной оболочками (табл. 2) хоть и снижают выход переизмельченных фракций и образование пыли по сравнению со сплошным зарядом тэна, но при этом увеличивают выход самых крупных фракций. Это свидетельствует об общем снижении интенсивности дробления, а следовательно уменьшении КПД взрыва. Особенно четко это прослеживается на зарядах с пластичными оболочками (пластилин). Причем очевидно, что с увеличением толщины оболочки 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 стороны препятствует проникновению ПД в образующиеся трещины и снижает интенсивность дробления.

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
11	4,5	12,6	30,2	11,4	16,5	17,6	7,2
12	6,3	17,4	39,7	11,7	13,5	8,9	2,5
13	3,4	9,1	22,8	13,3	18,3	17,9	15,2
14	2,8	8,1	32,9	14,2	17,2	17,6	17,2
15	2,2	7,1	24,4	12,1	18,8	18,1	17,3

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Ефремов Э.И. Оценка эффективности действия смесевых зарядов ВВ с энергоактивными добавками // Высокоэнергетическая обработка материалов. – Днепропетровск, НГАУ. – 1999. – № 8. – С. 77–80.
3. Miyake A. Detonation velocity and pressure of the non-ideal explosive ammonium nitrate // The 19th Intern. Symp. on Detonation. USA, 1989.
4. Повышение эффективности действия взрыва в твердой среде / В.М. Комир, В.М. Кузнецов, В.В. Воробьев, В.Н. Чебенко. – М.: Недра, 1988. – 209 с.
5. Долударев В.Н. Влияние различных прослоек между зарядом и нагружаемой средой на ее деформацию при взрыве // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва: науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 2 (12). – С. 57–62.
6. Воробьев, В.В. Механизм взрывного разрушения твердых тел и повышение его КПД // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1989. – № 6. – С. 19–20.
7. Кутузов Б.Н. Перспективные направления развития взрывного разрушения горных пород // Горный журнал. – 1992. – № 3. – С. 3–7.

THE EFFECT OF THE ELONGATED DESIGN BLENDS WITH THE CHARGE ON THE DUST FORMATION DURING MASS EXPLOSION

V. Doludarev, A. Peev, M. Bezzubchenkova, Y. Doludareva

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine.

E-mail:tehm@kdu.edu.ua

Purpose. Practical assessment of the impact of the construction of composite elongated charges on the output of overgrinding dust fractions during the explosion in solid media. **Methodology.** To assess the effect of the charge design on the effectiveness of

the explosive fragmentation of solid media it was conducted a series of experiments on labradorite models jointly with private enterprise "Akvatol". **Results.** From the results of experiments, we can see that the charge with an external coating of a blowing agent substituting for 20% of the explosives, it was the most effective in reducing output of overgrinding factions and the formation of dust. That is, the fragmentation becomes more uniform while saving explosives. Moreover, in the case of adding (without replacement) to the main explosive charge large amounts of blowing agents crushing enhanced so that increased output of overgrinding factions. Charges with air, copper and plastic shells, though lower output of overgrinding fractions and dust compared with a continuous charge of PETN, but at the same time increase the yield of the major factions. **Originality.** For the first time it was shown that the presence of plastic material between the explosive charge and the surface of the hole from one side reduces the impact of the blasting overgrinding and a near-to-charge zone, and on the other hand prevents the penetration of the cracks formed in the PDP and reduce the intensity of the crushing. The charge with an external coating of a blowing agent can help to adjust the fragmentation. **Practical value.** We have manufactured the experiment in association with private enterprise "Akvatol" The experimental studies have confirmed the adequacy of the model which will be further put into practice. References 8, tables 2, figures 1.

Key words: fraction overgrinding, dust, explosion, explosive.

REFERENCES

1. Doludarev, V.N. (2004), «On the effect of blowing the energy of the active ingredient to be charged on the effectiveness of the explosive fragmentation of solid media», *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 4, no. 27, pp. 142–144.
2. 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.
3. Miyake A. Detonation velocity and pressure of the non-ideal explosive ammonium nitrate // The 19th Intern. Symp. on Detonation. USA, 1989.
4. Komir, V.M., Kyznecov, V.M., Vorobyov, V.V., Chebenko, V.N. (1988), *Povushenie effektivnosti deystviya vzruva v tverdoy srede* [The increase in the efficiency of explosion in solid media], Nedra, Moscow, Russia.
5. Doludarev, V.N. (2013), «Influence of different interlayers between the charge and loading medium on its deformation at explosion», *Suchasni resursoenergozberigauchi tehnologiyi girnychogo vyrobnytstva*, vol. 2, no. 12, pp. 57–62.
6. Vorobyov, V.V., (1989), «The mechanism of explosive destruction of solid bodies and increase its efficiency», *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*, no.6, pp. 19–20.
7. Kutuzov, B.N., (1992), «Future direction of the explosive destruction of rocks», *Gornyi zhurnal*, no.3, pp. 3–7.

Стаття надійшла 24.12.2015.