

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА РАСПОЛОЖЕНИЯ  
ИНИЦИАТОРА В СКВАЖИННОМ ЗАРЯДЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЗОНЫ  
РАЗРУШЕНИЯ СРЕДЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЗРЫВНОГО НАГРУЖЕНИЯ**

**Г. В. Славко, А. М. Пеев, А. В. Воробьев**

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

Приведены конфигурация цилиндрического заряда и основные параметры разрушаемого материала в рамках рассматриваемой модели. Теоретически исследовано влияние горизонтального и вертикального расположения инициаторов в заряде взрывчатого вещества и их геометрических параметров на размеры зоны разрушения.

**Ключевые слова:** скважина, инициатор, расчетная схема, напряжения, зона разрушения.

**ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ СПОСОБУ РОЗТАШУВАННЯ  
ІНІЦІАТОРА У СВЕРДЛОВИННОМУ ЗАРЯДІ НА ЗМІНУ ЗОНИ  
РУЙНУВАННЯ СЕРЕДОВИЩА ПІД ДІЄЮ ВИБУХОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

**Г. В. Славко, А. М. Пеев, А. В. Воробйов**

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

Приведені конфігурація циліндричного заряду й основні параметри матеріалу, що руйнується, в рамках розглянутої моделі. Теоретично досліджено вплив горизонтального і вертикального розташування ініціаторів у заряді вибухової речовини та їх геометричних параметрів на розміри зони руйнування.

**Ключеві слова:** свердловина, ініціатор, розрахункова схема, напруження, зона руйнування.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Буровзрывные работы (БВР) в современных условиях работы горнодобывающих предприятий пока остаются практически единственным способом разрушения значительных объемов скальных пород. Равномерность и крупность дробления массива, процент выхода негабарита, проработка подошвы уступа, ширина развала горной массы – эти и другие характеристики в основном определяют качество проведенных БВР. В связи с этим, исследование и разработка новых конструкций и способов инициирования скважинных зарядов, позволяющих обеспечить необходимое качество взорванной массы, является важной и актуальной задачей, решение которой будет способствовать повышению экономической эффективности работы предприятий [1].

Цель работы – проведение теоретического анализа влияния способа расположения инициатора в скважинном заряде на изменение зоны разрушения среды под действием взрывного нагружения.

# ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** В настоящее время для теоретического анализа взрывного разрушения чаще всего используют две модели: идеальной несжимаемой жидкости и модели однородной и упругой среды [2]. В каждой модели свойства реальной среды с достаточной степенью схематизируются. При решении задач взрывного дела основополагающими критериями выбора той или иной модели является область рассматриваемых вопросов, соответствие опытных данных и результатов расчета.

При решении поставленной задачи наиболее оптимальным вариантом является рассмотрение однородных изотропных материалов. Будем предполагать, что в середине тела в результате мгновенно приложенного силового фактора возникает деформация, которая начинает распространяться в разные стороны. За небольшие промежутки времени, в течение которых волны не успевают достичь поверхности тела, не происходит отражения волн от свободных поверхностей и их взаимного наложения. Такой подход эквивалентен задаче изучения распространения упругих волн в неограниченных упругих средах [3].

Для упругой среды характерно восстановление своей формы и размеров после снятия внешних нагрузок, связь между напряжениями и деформациями принимает линейную зависимость, а в качестве уравнения состояния используют закон Гука. Данная модель упругой среды широко используется при изучении волновых процессов в хрупких горных породах и в достаточной степени точно передает основные закономерности формирования поля напряжений на начальной стадии процесса.

В рамках модели удлинённый цилиндрический заряд представляется в виде слоев, слой состоит из сфер. Структура каждого слоя и ориентация сфер в каждом слое принималось, как в [4]. По выбранной системе координат, центры сфер первого слоя лежат в плоскости, а ось совпадает с осью цилиндрического заряда. Ориентация сфер в каждом слое представлена на рис. 1,б.

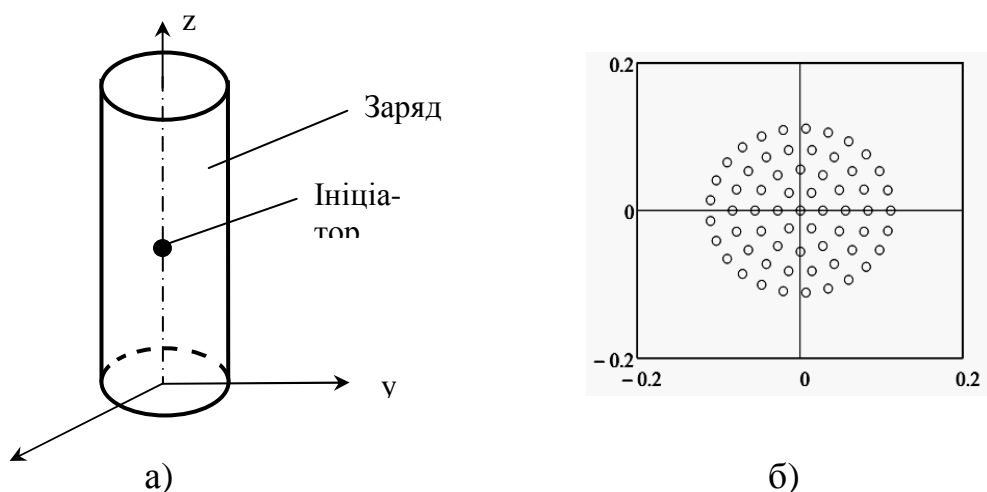


Рисунок 1 – Конфігурація циліндричного заряду:  
а – в декартовій системі координат; б – структура шару (точками показані центри моделюючих сфер)

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Были использованы следующие значения: плотность среды  $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент Пуассона  $\mu = 0,25$ ; модуль упругости  $E = 7 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ , скорость распространения волн напряжений  $c = 5000 \text{ м/с}$ . Параметры цилиндрического заряда являются общими для всех расчетных схем: диаметр скважины – 0,25 м, длина – 1 м. Цилиндрический заряд моделируется совокупностью моделирующих сфер, имеющих радиус  $R_c = 0,0139 \text{ м}$ . Количество сфер в одном слое – 62, общее количество слоев – 52, общее число моделирующих сфер – 2232.

В данной работе приведены основные схемы расположения инициаторов в донной части заряда:

– *расчетная схема 1.* В начальный момент времени инициирование осуществляется в одной сфере, расположенной в центре заряда. Таким образом, исследуется влияние боевика минимальных размеров на изменение напряженного состояния разрушаемой среды (рис. 2,а);

– *расчетная схема 2.* В начальный момент времени инициирование осуществляется инициатором, расположенным вертикально, с высотой, равной 1/2 диаметра заряда (рис. 2,б);

– *расчетная схема 3.* В начальный момент времени инициирование осуществляется инициатором, расположенным вертикально, с высотой, равной диаметру заряда (рис. 2,в);

– *расчетная схема 4.* В начальный момент времени инициирование осуществляется инициатором, расположенным горизонтально, с длиной, равной 1/2 диаметра заряда (рис. 2,г);

– *расчетная схема 5.* В начальный момент времени инициирование осуществляется инициатором, расположенным горизонтально, с длиной, равной диаметру заряда (рис. 2,д).

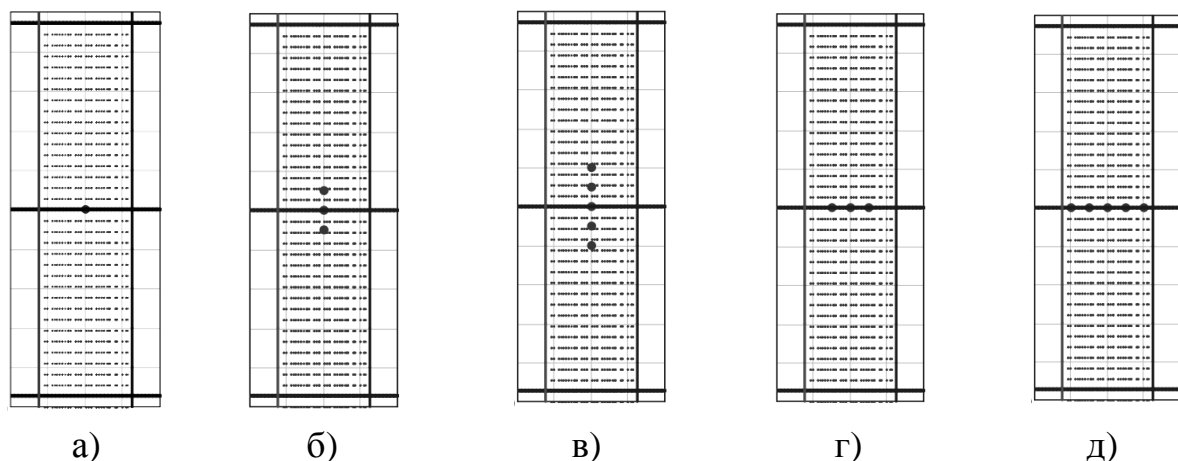


Рисунок 2 – Расчетные схемы инициирования

На рис. 3 представлены области для точек, в которых относительные нормальные напряжения, действующие в тангенциальном направлении в фиксированные моменты времени, превышают значения предельно допустимых значений, т.е. условные зоны разрушения (по вертикали отложены координаты

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

точек по оси OZ вдоль заряда, а по горизонтали – координаты точек по оси OY, в относительных единицах – радиусах заряда).

Аналогично были определены зоны разрушения для схем 2–5 и рассчитаны их площади (табл. 1).

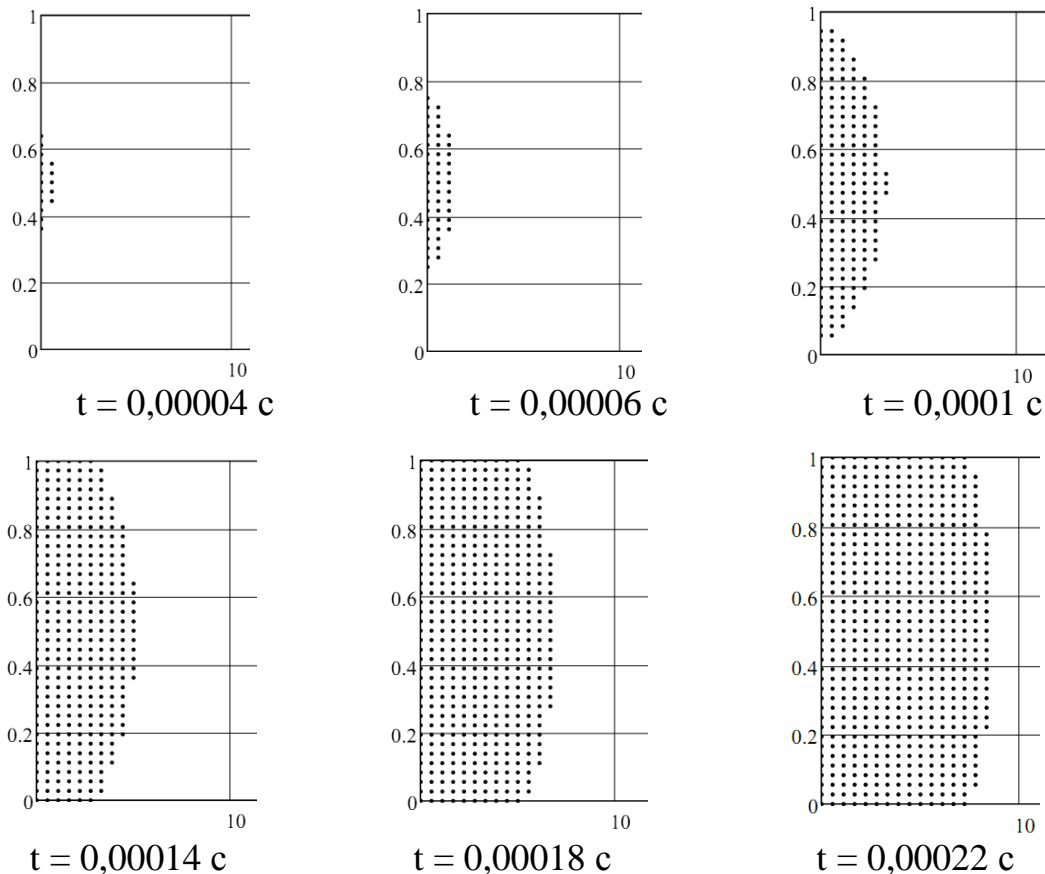


Рисунок 3 – Области разрушений в фиксированные моменты времени для схемы 1

Таблица 1 – Изменение площади зоны разрушения в зависимости от схемы инициирования заряда

Номер схемы	Площадь зоны разрушения, $\times 10^{-3}$ , м <sup>2</sup>					
	Фиксированные моменты времени, t, с					
	0,00004	0,00006	0,0001	0,00014	0,00018	0,00022
1	49,39	145,09	515,53	987,84	1392,24	1765,76
2	74,09	182,13	601,97	1031,06	1416,93	1796,63
3	98,78	213,00	657,53	1061,93	1435,46	1802,81
4	55,57	151,26	552,57	1006,36	1470,76	1784,29
5	55,57	151,26	552,57	1006,36	1470,76	1784,29

Как показали расчеты, наиболее эффективной является схема 3, близкая к линейному инициированию. Использование линейных инициаторов обеспечивает повышение в 1,3 раза работоспособности заряда по сравнению с точечным

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

инициированием [5]. Площадь зоны разрушения в начальный момент времени, в рамках данной модели для схемы 3, превышает контрольную схему 1 в два раза. При использовании схемы 2 такое превышение составило 1,5 раза. Схемы 4 и 5 показали одинаковую площадь зоны разрушения, превышающую контрольную схему в начальный момент времени в 1,13 раза.

**ВЫВОДЫ.** Как показал анализ теоретического моделирования способов расположения инициаторов в скважинном заряде, на начальной стадии развития процесса ( $t \leq 0,00004$  с) площадь зоны разрушения максимальна для схемы 3, и в последующие моменты времени площади разрушения для схемы 3 превышают аналогичные площади для всех рассматриваемых схем расположения инициаторов в скважинном заряде.

Следовательно, наиболее рациональным является вертикальное расположение инициатора по схеме 3, которое будет способствовать интенсификации разрушения и, тем самым, повышать эффективность ведения взрывных работ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Перспективные направления повышения эффективности взрывного разрушения горных пород / В. В. Воробьев, А. М. Пеев // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва: науково-виробничий збірник. – Кременчук: КДУ, 2010. – Вип. 1/2010 (5). – С. 19–21.

2. Analysis of existing models of destruction of rocks in explosion / A. M. Pejev, S. M. Myslitskiy, A. V. Vorobyov // Nauka i studia. – Przemysl, 2011. – № 14(45), 2011. – С. 40–46.

3. Божидарик В. В., Сулим Г. Т. Элементы теории пружности. – Львів: Світ, 1994. – 560 с.

4. Теоретический анализ влияния способа инициирования скважинного заряда на величину радиальных смещений среды в зоне перебура / В. В. Воробьев, Г. В. Славко, А. М. Пеев // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2005. – Вип. 1/2005 (30). – С. 99–102.

5. Прокопенко В. С. О действии зарядов взрывчатых веществ в переходном режиме детонации // Информационный бюллетень Украинского союза инженеров-взрывников. – Кривой Рог, 2009. – № 3. – С. 12–17.

### **THEORETICAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE METHOD OF INITIATOR LOCATION IN THE HOLE CHARGES ON CHANGES OF DESTRUCTION ZONE OF MEDIUM UNDER EXPLOSIVE LOADING**

**G. Slavko, A. Pejev, A. Vorobyov**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University

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

There are shown the configuration of a cylindrical charge and the basic parameters of erodible material in this model. Theoretically studied the effect of the horizontal and vertical location of the initiators in the explosive charge and the geometric parameters on the size of the fracture zone.

**Key words:** well, the initiator, calculation scheme, stress, the zone of destruction.

REFERENCES

1. Vorobyov V.V., Pejev A.M. Perspective ways of increasing the efficiency of rock explosive destruction // The collection «Up-to-date resource – and energy - saving technologies in mining industry». Research and production journal: Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy State University. – Kremenchuk: KSU, 2010. – Issue 1/2010(5). – PP. 19–21. [in Russian]
2. Analysis of existing models of destruction of rocks in explosion / A.M. Pejev, S.M. Myslitskiy, A.V. Vorobyov // Nauka i studia. – Przemysl, 2011. – NR 14 (45) 2011. – PP. 40–46. [in English]
3. Bozhydaryk V.V., Sulym G.T. Elements of the theory of elasticity. – Lviv: Svit, 1994. – 560 p. [in Ukrainian]
4. Vorobyov V.V., Slavko G.V., Pejev A.M. Theoretical analysis of the influence of the method of initiation of downhole charge on value of the medium radial displacements in the area of regales // Transactions of Kremenchuk State Polytechnic University: Proceedings KSPU. – Kremenchuk: KSPU, 2005. – Iss. 1/2005 (30). – PP. 99–102. [in Russian]
5. Prokopenko V.S. On the action of explosives during the transitional mode of detonation // Information Bulletin of the Ukrainian Union Engineers on Explosives. – Kriviy Rig, 2009. – № 3. – PP. 12–17. [in Russian]

Стаття надійшла 15.04.2013.

УДК 622.235.53

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕТОНАЦИИ ЗАРЯДА  
ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА И УДАРНОЙ АДИАБАТЫ  
РАЗРУШАЕМОГО ВЗРЫВОМ ПЕСЧАНИКА НА ПАРАМЕТРЫ  
ВЗРЫВНЫХ РАБОТ**

**К. Н. Лабинский, С. А. Калякин**

Донецкий национальный технический университет

ул. Артема, 58, 83001, г. Донецк, Украина. E-mail: bootor@gmail.com

Приведены результаты исследования влияния параметров детонации заряда взрывчатого вещества на скорость ударной волны во выбросоопасном песчанике. Определена ударная адиабата выбросоопасного песчаника. Установлена зависимость между относительной скоростью ударной волны в песчанике и плотностью песчаника, массой и плотностью патронирования заряда взрывчатого вещества и относительным удалением от центра приведенного заряда взрывчатого вещества. Обосновано среднее расстояние между шпурами во выбросоопасном песчанике с учетом максимального радиуса разрушения горной породы под действием ударной волны, образованной взрывом шпурового заряда взрывчатого вещества.

**Ключевые слова:** скорость детонации, ударная волна, ударная адиабата, радиус разрушения.