

**В.Г. Кравець, д.т.н., проф.,  
А.М. Шукюров, аспірант,  
А.Л. Марчук, аспірант,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського**

## **ЕНЕРГЕТИЧНІ ВТРАТИ ВИБУХУ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ В УМОВАХ ГІРСЬКИХ СХИЛІВ**

**V. Kravets, Dr.Eng.Sc., Prof.  
A. Shukurov, Ph.D. student  
A. Marchuk, Ph.D. student  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute**

## **ENERGY LOSSES OF BOREHOLE CHARGES EXPLOSION IN MOUNTAIN SLOPE CONDITIONS**

*В роботі розглядаються особливості проектування параметрів масових вибухів в умовах розробки родовищ корисних копалин на гірських схилах. В цих умовах ширина робочих майданчиків, висота уступів і відповідно довжина свердловинних зарядів обмежується крутизною схилу. Особливу увагу приділено початковій стадії формування механічного ефекту вибуху в крайових ділянках подовженого заряду. Досліджується специфіка вибору технологічних параметрів масового вибуху в гірських умовах, де через значний перепад висот в межах одного блоку висота уступу може змінюватись в межах 5...10м, а довжина заряду сягати 2...7 метрів. Внаслідок скорочення довжини свердловинного заряду стає більш істотною участь його торцевих частин, де до 35...40% складають дисипативні втрати енергії через зміну симетрії силового поля.*

*В дослідженнях враховуються особливості прояву та розвитку крайових ефектів в торцях заряду. Закономірності формування поля напружень з урахуванням крайових явищ вивчено шляхом аналітичних розрахунків, що оснований на заміні лінійного заряду системою зосереджених зарядів. На основі складеного алгоритму обчислено параметри силового поля для різних варіантів миттєвого та сповільненого вибуху системи зосереджених зарядів. Розрахунки крайових явищ при вибуху свердловинного заряду обмежених розмірів свідчать, що за умови миттєвого ініціювання заряду одночасно по обох торцях заряду виродження осьової симетрії силового поля відбувається від торців заряду на глибину до 50 його радіусів. Результати розрахунків свідчать про те, що в реальних умовах підривання коротких свердловинних зарядів їх механічний ефект в значній мірі формується ослабленими кінцевими ділянками лінійного заряду. Аналіз результатів розрахунків дозволяє рекомендувати раціональні параметри системи свердловинних зарядів, які дозволяють мінімізувати енергетичні втрати*

**Ключові слова:** *гірський схил, свердловинний заряд, крайовий ефект, силове поле, енергетичні втрати, перебур, руйнування, набійка, раціональні параметри, короткоповільнене підривання.*

## ВСТУП.

З досліджень [1]-[3] відомо, що в гірничих технологіях, основаних на використанні свердловинних зарядів, неможливо уникнути негативних проявів крайового ефекту в кінцевих ділянках лінійного заряду без застосування спеціальних заходів. Особливо актуально ця проблема постає для умов відкритої розробки родовищ на гірських схилах, коли необхідно обмежити габарити висаджуваного породного блоку на гірському схилі, в т.ч. зменшити проектну висоту уступу і відповідно скоротити довжину свердловинних зарядів. Скорочення довжини свердловинного заряду негативно впливатиме на якість вибуху, оскільки буде зростати роль торцевих частин в загальному механічному ефекті вибуху окремого заряду. Звичайно, в цьому разі стає важливим співвідношення між довжиною і діаметром заряду. При зростанні цього співвідношення зменшується участь торцевих частин, а отже і доля енергетичних втрат, викликаних виродженням циліндричної симетрії силового поля в сферичну. В абсолютному вимірі ці втрати залежатимуть в першу чергу від діаметра заряду.

Однак це твердження беззаперечне лише для умов вибуху заряду в умовах камуфлету, що більш характерне для роботи нижнього торця свердловинного заряду. Крім того, при нижньому методі ініціювання зарядів до енергії вибуху нижнього торця свердловинного заряду додається енергія вибуху проміжного детонатора (бойовика). Це призводить до коригування форми поля напружень вздовж осі заряду. В зв'язку з цим подальші розрахунки виконуємо, опираючись на дію верхньої торцевої частини заряду.

Для умов вибуху верхнього торця вертикального свердловинного заряду поблизу вільної поверхні, тобто покрівлі уступу, формування механічного ефекту вибуху потребує спеціального розгляду. Особливістю роботи такого заряду є вплив вільної горизонтальної поверхні на механізм подрібнення. Верхній торець заряду в даних умовах працює в режимі помірною спущення з дотриманням правил безпеки щодо посиленого розкидання окремих кусків породи, характерного для умов гірського схилу.

Очевидно, що масштаб деградації силового поля від вибуху торцевих частин свердловинного заряду залежить від діаметра заряду і особливо – від його довжини. Видимо, саме в цих двох параметрах закладено основні можливості керування торцевими ефектами в достатньо складних гірських умовах.

**Метою дослідження є** встановлення раціональних параметрів свердловинного заряду обмеженої довжини для мінімізації енергетичних втрат масового вибуху в умовах розробки масивів скельних порід на гірських схилах.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

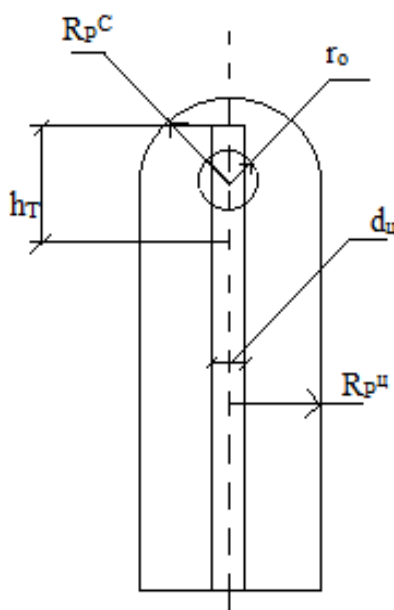
Для практичного вирішення цього питання виконано комплекс технологічних розрахунків з урахуванням основних вихідних параметрів масових вибухів. За базу для розрахунків взято досвід Човдарського кар'єру. Цей кар'єр розробляє в характерних для Республіки Азербайджан умовах гірських схилів родовище рудних кварцитів, порушених природними чинниками (рис. 1).

В розрахунках прийнято популярний діапазон діаметрів заряду в межах  $d_3 = 105 \dots 215$  мм та висоти уступу в межах  $H = 5 \dots 10$  м. Розглянуто ефективність цих параметрів у сполученні з широко вживаними на відкритих гірничих роботах промисловими вибуховими речовинами - емульсійною вибуховою речовиною (ЕВР), грамонітом 79/21 та найпростішою ВР на основі аміачної селітри типу ANFO (табл.1).

**Таблиця 1 – Вихідні параметри зарядів промислових ВР**

Тип ВР	Густина $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	Питома витрата ВР $q$ , кг/м <sup>3</sup>	Лінійна маса $p$ , кг/м при діаметрі заряду $d_z$ , мм		
			105	155	215
ЕВР	1,2	0,55	10,4	22,7	43,6
Грамоніт 79/21	1,0	0,55	8,7	20,5	36,3
ANFO	0,85	0,57	7,4	16,1	30,9

Метою розрахунків є дослідження ефективності цих параметрів у різних можливих сполученнях типу ВР, висоти уступу та діаметра заряду. Під ефективністю параметрів БВР розуміємо показник  $\Delta T$ , що виражає долю участі торцевих ділянок заряду у відсотках в його повній довжині (рис.1):



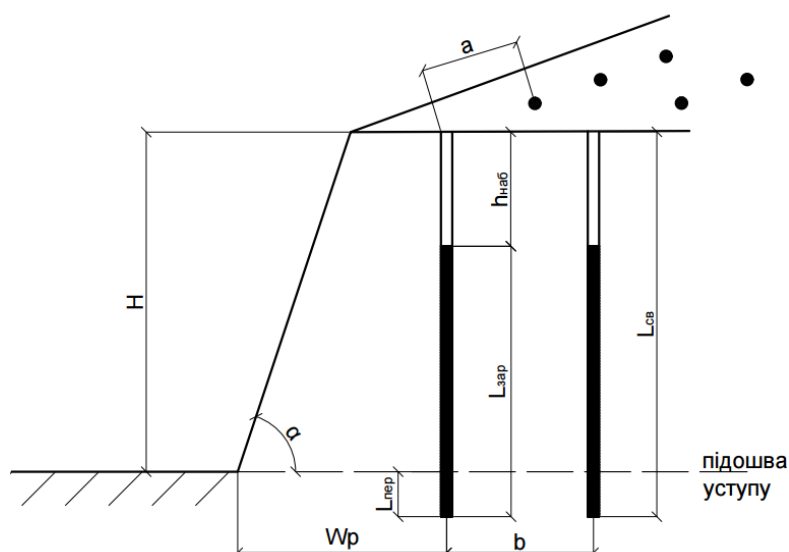
**Рисунок 1 – Схема до розрахунку маси торцевої частини свердловинного заряду**

$$\Delta T = \frac{2h_T}{L_z} 100\%, \quad (1)$$

де  $h_T$  – довжина торцевої частини заряду,  $L_z$  – повна довжина заряду.

Фактично через цей показник можна визначити відносні енергетичні втрати в заряді, викликані крайовими ефектами, тобто явищем виродження його осьової симетрії в сферичну на обох торцях [3].

Традиційно розрахунок основних параметрів конструктивних елементів свердловинного заряду та розташування зарядів в системі масового вибуху [4] будується на визначенні базового параметру – лінії опору по підшві  $W_P$  (рис.2):



**Рисунок 2 – Схема до розрахунку параметрів розташування свердловинних зарядів на уступі**

Користуючись наведеною схемо (рис.2) та прирівнюючи масу одного свердловинного заряду, розраховану шляхом множення об'єму призми, що приходить на один заряд, на питому витрату  $W_p$ , і масу цього ж заряду шляхом множення його довжини на місткість свердловини заданого діаметра відповідно з наведеною схемою, отримано залежність для визначення ключового параметра- лінії опору по підосві:

$$W_p = \frac{-0,75p + \sqrt{0,56p^2 + 4qmpHL}}{2qmH} \quad (2)$$

Формула (2) об'єднує комплекс параметрів розташування зарядів у системі - значення питомої витрати  $W_p$  на спуснення  $q$ , лінійної маси заряду  $p$ , висоти уступу  $H$ , довжини свердловини  $L_{св}$ , довжини перебуру  $l_{пер}$ , довжини заряду  $L_{зар}$ , висоти набійки  $h_{наб}$ , коефіцієнта зближення зарядів  $m = a/b$ . відстані між зарядами в ряду  $a$ , відстані між рядами  $b$ ,

Ці параметри визначаються першочергово виходячи з механічного ефекту вибуху в міжсвердловинному просторі на рівні висоти заряду, але одночасно не можуть бути змінені на рівні перебуру та набійки незалежно від фактичних потреб в цих змінах. Тому як на рівні набійки, так і на рівні перебуру виникає потреба у додаткових технологічних рішеннях, що мають починатись з вивчення локальних процесів руйнування цих частин масиву.

В роботі [5] запропоновано до впровадження метод керування механічним ефектом вибуху в області перебуру шляхом нижнього ініціювання свердловинного заряду потужним проміжним бойовиком конічної форми. В продовження досліджень крайового ефекту вибуху короткого свердловинного заряду розглянемо питання, пов'язані з ефективністю вибуху суміжних свердловинних зарядів на рівні набійки, де фактично кожен заряд крім генерування подібного до сферичного силового поля формує в осьовому напрямку в квазістатичному режимі воронку спуснення. Параметри цієї воронки визначаються на основі даних розрахунку згідно з (2) і в подальшому

розглядаються у порівнянні з параметрами руйнованого міжсвердловинного цілика на рівні набійки.

Враховуємо, що маса породи у воронці спущення над верхнім торцем свердловинного заряду і відповідно довжина набійки пропорційні масі верхньої торцевої частини свердловинного заряду  $Q_T$ , що працює як зосереджений заряд помірною спущення. Відомо, що зосереджений заряд забезпечує ефект помірною спущення за умови показника дії вибуху  $n = r/W = 0,6$ , де параметри воронки спущення  $r$  і  $W$  відповідають радіусові воронки та глибині закладення центра заряду з масою  $Q_T$ .

Згідно з відомими методиками [4], [6] величину набійки визначають із експериментального співвідношення :

$$h_{\text{наб}} = K_{\text{п}} W_p = (0,5 \dots 0,75) W_p \quad (3)$$

Коефіцієнт в цій залежності обирається в залежності від породних умов (категорії тріщинуватості та міцності породи). Виходячи з конкретних породних умов Човдарського родовища, можна прийняти менше значення коефіцієнта, враховуючи, що кварцитові породи верхнього шару на схиловому родовищі крихкі та структурно порушені. Однак умови підривання на схилі вимагають обрати більше значення цього коефіцієнта, оскільки існує небезпека вдвічі більшої відстані розкидання окремих кусків породи вниз по схилу. Саме це значення коефіцієнта  $K_{\text{п}}=0,75$  використовується у формулі (3). Виходячи з прийнятого значення довжини набійки, приступимо до розрахунку величини торцевої частини заряду, відповідальної за ефективність вибуху в режимі помірною спущення (значення показника дії вибуху приймаємо  $n = 0,6$ ).

Щоб визначити довжину кінцевої частини свердловинного заряду, відповідальної за руйнування масиву між торцем свердловинного заряду і поверхнею уступу, тобто на рівні набійки, умовимось, що маса цього заряду рівноцінна масі заряду викидання в межах кінцевої воронки (рис. 3) з показником дії вибуху  $n = r/W$ . Тут параметр  $W$  означає глибину закладання центру сферичного заряду викидання, або центру рівноцінної за масою торцевої частини свердловинного заряду.

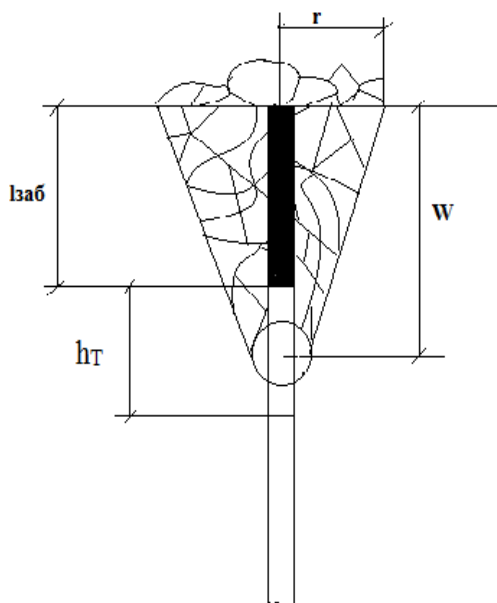
Умовно виділимо на кінці свердловинного заряду його торцеву частину довжиною  $h_T$ . Вважаємо, що її вибух забезпечує ефект помірною спущення шару породи над зарядом. Представимо короткий торець свердловинного заряду у вигляді зосередженого заряду з радіусом  $r_0$ , який спушує масив над верхнім кінцем заряду. На верхньому кінці циліндричного заряду на відстані  $h_T/2$  нижче торцевої поверхні знаходиться центр півсферичної області руйнування радіусом  $R_{\text{pc}}$  (радіус дії уявного сферичного заряду, що відповідає значенню параметра  $W$  на рис.3). Прирівнюючи радіуси сферичної  $R_{\text{pc}}$  і рівноцінної циліндричної  $R_{\text{pc}}$  зон деформованої області на рівні цього центра, тобто в точках сполучення цих зон, прирівнюємо маси циліндричного заряду довжиною  $h_T$  з радіусом  $r_0$  та уявного сферичного заряду радіусом  $r_0$ .

Маса циліндричного відрізка (торця) визначиться через його довжину і лінійну масу свердловинного заряду  $p$ :

$$Q_T = p \cdot h_T \quad (4)$$

Маса сферичного аналога торцевого заряду, що працює на викидання або спущення, визначиться згідно з [7]:

$$Q_{\text{pc}} = 0,33 \cdot q_H \cdot W^3 \quad (5)$$



**Рисунок 3 – Схеми до розрахунку параметрів закладання торцевої частини свердловинного заряду**

В формулі (4) параметр  $p$  – лінійна маса подовженого заряду, кг/м, що залежить від його діаметра  $d_3$  і щільності ВР  $\rho_{ВР}$ ; в формулі (5)  $q_H$  – питома витрата заряду нормального викидання (при  $n = 1$ ),  $W$  – глибина закладання центра зарядів (сферичного або короткого циліндричного).

Оскільки маси циліндричного відрізка (торця) і сферичного аналога однакові, порівнюємо праві частини в (4) і (5):

$$p \cdot h_T = 0,33 q_H \cdot W^3 \quad (6)$$

З рис.3, а можна визначити довжину торця  $h_T$ :

$$h_T = 2 (W - h_{наб}) \quad (7)$$

Підставляючи (5) в рівність (4), отримуємо кубічне рівняння відносно шуканої величини  $W$ :

$$0,33 q_H W^3 - 2W + 2 h_{наб} = 0 \quad (8)$$

Маючи значення питомої витрати нормального викидання  $q_H$  та висоти набійки, визначаємо дійсний корінь рівняння. Підставлений в залежність (7), він дозволяє визначити величину торцевої частини свердловинного заряду  $h_T$ , що працює в режимі зосередженого заряду на помірно спущення з показником дії вибуху  $n = 0,6$ .

Результати комплексу розхунків для різних параметрів зарядів та мережі їх розташування в системі, прийнятих практикою масових вибухів, наведено в таблиці 2

Таблиця 2 – Розрахункові параметри мережі свердловинних зарядів

Вихідні параметри			Проектовані параметри масового вибуху.							
Тип ВР	H, м	d <sub>св</sub> , мм	L <sub>св</sub> , м	h <sub>наб</sub> , м	L <sub>зар</sub> , м	W, м	h <sub>т</sub> , м	a, м	ΔT, %	ΔE, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ЕВР	10,0	215	11	5,12	5,88	5,45	0,66	6,83	22,4	9,0
		155	11	4,0	7,0	4,35	0,66	5,36	18,7	7,5
		105	11	2,93	8,07	3,23	0,6	3,91	14,9	6,0
	7,0	215	7,7	4,7	3,0	4,7	0,4	6,0	26,7	10,7
		155	7,7	3,66	4,04	3,9	0,48	4,88	23,8	9,5
		105	7,7	2,74	4,96	2,98	0,48	3,65	19,3	7,7
	5,0	215	5,5	4,1	1,56	4,26	0,25	5,47	31,5	12,6
		155	5,5	3,56	1,94	3,75	0,38	4,74	27,6	10,3
		105	5,5	2,58	2,98	2,7	0,34	3,35	22,8	9,1
Г Р А М О Н І Т  79/21	10,0	215	11	4,8	6,2	5,15	0,7	6,4	22,6	9,04
		155	11	3,87	7,13	4,19	0,64	5,16	17,9	7,18
		105	11	2,72	8,28	3,0	0,57	3,62	13,8	5,5
	7,0	215	7,7	4,27	3,43	4,5	0,47	5,69	27,4	11,0
		155	7,7	3,53	4,17	3,78	0,5	4,71	24,0	9,6
		105	7,7	2,58	5,12	2,82	0,48	3,44	18,7	7,5
	5,0	215	5,5	3,68	1,82	3,82	0,28	4,9	30,8	12,3
		155	5,5	3,14	2,36	3,3	0,32	4,19	27,1	10,8
		105	5,5	2,36	3,14	2,55	0,38	3,15	24,2	9,68
ANFO	10,0	215	11,0	4,3	6,7	4,6	0,6	5,74	17,9	7,04
		155	11,0	3,47	7,53	3,77	0,6	4,63	15,9	6,36
		105	11,0	2,5	8,5	2,8	0,6	3,33	14,1	5,68
	7,0	215	7,7	4,0	3,7	4,23	0,46	5,35	24,9	9,94
		155	7,7	3,2	4,5	3,44	0,48	4,27	21,3	8,53
		105	7,7	2,36	5,34	2,6	0,48	3,15	18,0	7,2
	5,0	215	5,5	3,54	1,96	3,69	0,3	4,72	30,6	12,2
		155	5,5	2,89	2,61	3,05	0,37	3,85	28,4	11,3
		105	5,5	2,25	3,25	2,45	0,4	2,93	24,6	9,84

Позначення, прийняті в таблиці: h<sub>т</sub> – висота торця заряду, м, a – відстань між зарядами, м, ΔT – відносна довжина торцевих частин заряду, %, ΔE(%) – відносні торцеві енергетичні втрати свердловинного заряду через деградацію циліндричного фронту хвилі напружень.

Використовуючи дані з табл.1, можемо обґрунтувати вибір раціональних параметрів системи свердловинних зарядів в разі проектування масового вибуху в реальних умовах, в т.ч. для розробки нагірних родовищ. Зрозуміло, що в цих умовах основними параметрами, від яких слід починати проектування, є висота уступу H та діаметр заряду d<sub>з</sub>, тому в наших розрахунках ці параметри взято в якості основи.

Розрахунками і практикою доведено, що довжина свердловини в практиці ведення БВР в умовах приповерхневих родовищ кварцитових руд з ослабленими структурними зв'язками може бути визначена за перевіреною емпіричною залежністю:

$$L_{св} = 1,1 H, \text{ м} \quad (9)$$

Відносна довжина обох торцевих частин заряду визначиться з виразу:

$$\Delta T = 2 \frac{hT}{L_3} \cdot 100\% \quad (10)$$

Належить встановити, які параметри заряду (діаметр свердловини, довжина заряду та тип промислової ВР) і як саме впливають на величину енергетичних втрат, обумовлених крайовим ефектом. Основні залежності між досліджуваними параметрами встановлено шляхом розрахунків, представлених в табл.2. На рис. 6, 7 залежності сумарної відносної довжини торцевих частин кожного заряду від визначальних параметрів зображено графічно з відповідною статистичною обробкою. З них слідує наступне: оскільки значення  $\Delta T$  в межах однієї висоти уступу і одного діаметра заряду відрізняються між собою лише епізодично та незначно незалежно від типу ВР та вірогідно через точність обчислень, вважаємо, що ці відхилення не позначаються на спостережуваних закономірностях. В цьому разі тип ВР може бути виключений з аналізу шляхом усереднення показників за трьома типами ВР в межах постійних  $d_3$  та висоті уступу  $H$  ( $d_3, H = Const$ ). Обидва параметри – діаметр заряду та його довжина суттєво впливають на прояви крайового ефекту вибуху. При цьому, якщо їх розглядати сукупно, то найменша відносна довжина торцевих ділянок заряду (14,12%) відмічається в свердловинах глибиною  $L_{св} = 10$ м при їх діаметрі  $d_3 = 105$ мм для варіанту використання в якості промислової ВР ANFO; найбільше значення  $\Delta T$  сягає 31,5% при висоті уступу 5м, діаметрі заряду 215мм та застосуванні в якості промислової ВР емульсійної вибухової речовини (ЕВР);

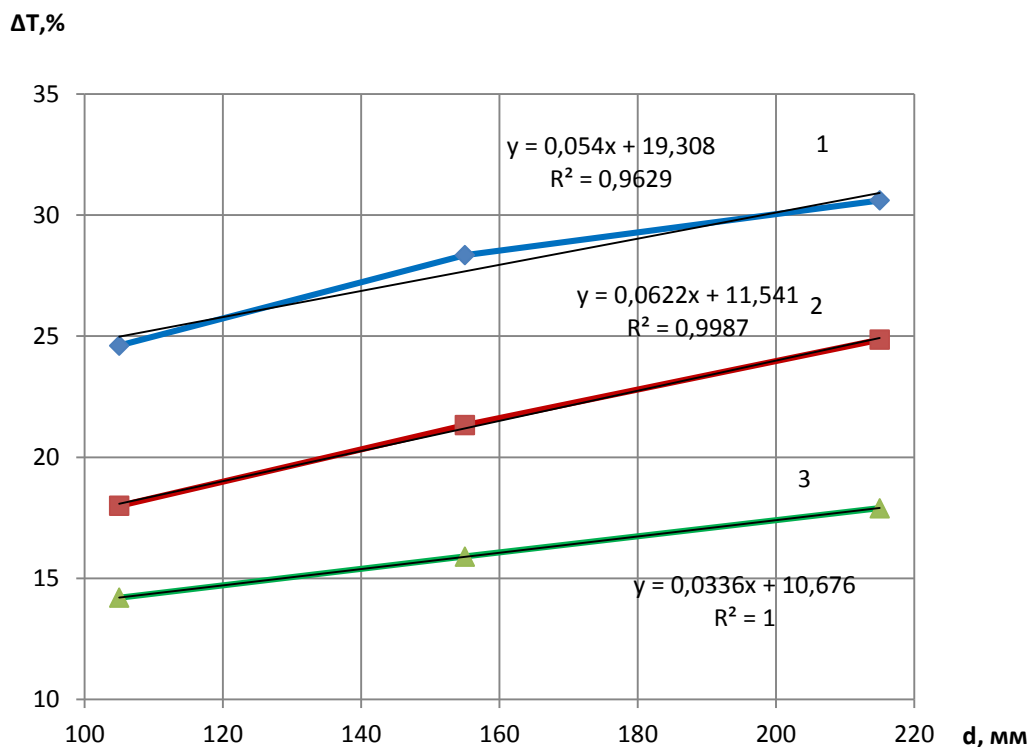
Використовуючи дані таблиці 2, побудовано залежності величини енергетичних втрат на верхній торцевій ділянці свердловинного заряду, що взаємодіє з породним масивом на рівні набійки (рис.6).

Отримані логарифмічні залежності підтверджують висновок про відсутність суттєвого впливу типу ВР на прояви крайового ефекту вибуху в районі набійки (табл. 3).

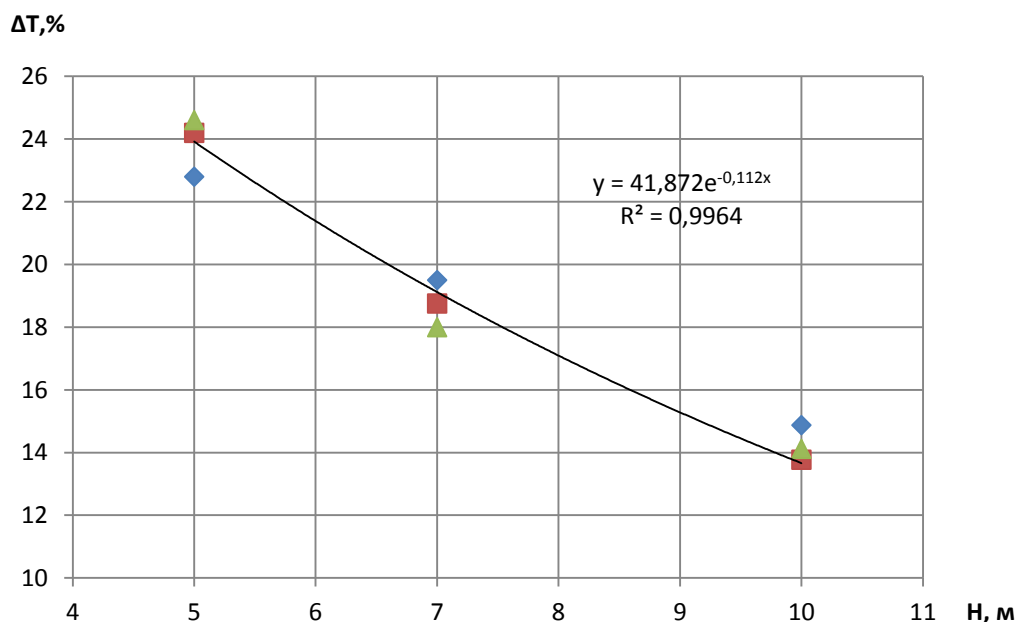
**Таблиця 3 – Відносна довжина торцевих ділянок свердловинного заряду**

Діаметр заряду, мм	Тип ВР	ΔT, % при висоті уступу H, м		
		5	7	10
105	ЕВР	22,8	19,35	14,87
	Грамоніт	24,2	18,75	13,77
	ANFO	24,61	18,0	14,12
	Середнє знач.	23,87	18,7	14,75
155	ЕВР	27,57	23,76	18,7
	Грамоніт	27,1	24,0	17,95
	ANFO	28,35	21,33	15,9
	Середнє знач.	27,27	23,03	17,52
215	ЕВР	31,5	26,67	22,45
	Грамоніт	30,77	27,4	22,6
	ANFO	30,61	24,86	17,9
	Середнє знач.	30,96	26,31	20,84



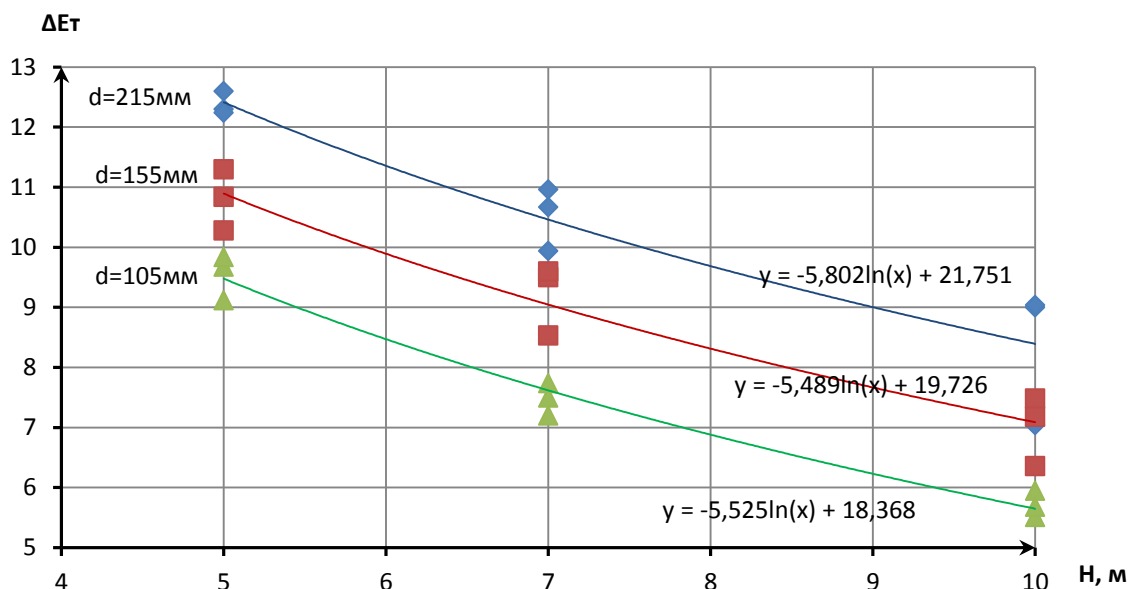


**Рисунок 4 – Залежність відносної довжини торцевих частин заряду ANFO від діаметра свердловини на уступі висотою 5м (1), 7м (2) та 10м(3)**



**Рисунок 5 – Залежність відносної довжини торцевих частин свердловинного заряду діаметром 105мм від висоти уступу та типу ВР: ЕВР (ромб), грамоніт 79/21(квадрат) та ANFO (трикутник)**

Слід зважати на те, що довжина заряду залежить лише від проектної висоти уступу, тобто вільно не обирається. Отже, однозначно незалежно від висоти уступу або довжини заряду, слід віддати перевагу зарядам діаметром 105мм в сенсі зменшення енергетичних втрат за рахунок торцевих ефектів. Цей висновок слідує також з даних рис.5.



**Рисунок 6 – Залежність енергетичних втрат від вихідних параметрів системи в крайових ділянках свердловинного заряду БВР (ромб), грамоніт 79/21(квадрат) та ANFO (трикутник)**

Щодо обрання типу ВР, економічно вигідною безперечно є ANFO, лише слід звернути увагу на присутність в свердловинах вологи. В умовах підвищеної зволоженості зачеплених вивітрюванням породних шарів, що характерно для розробок на гірських схилах, заряди ВР типу ANFO потрібно розміщувати в захисних рукавах, які дещо підвищують вартість основних матеріалів для виконання БВР.

### ВИСНОВКИ

Силове поле, утворене миттєвим вибухом свердловинного заряду кінцевої довжини, найдовше зберігає осьову симетрію фронту лише в центральній його частині. На кінцях подовженого заряду фронт поля напружень, а відповідно і поля деформацій, втрачає циліндричність, поступово набуваючи форми, близької до сферичної, тобто втрачають енергію через деградацію симетрії розходження хвиль напружень.

Інженерними розрахунками отримано закономірності, що пов'язують масу торцевої частини свердловинного заряду з технологічними показниками – діаметром свердловинних зарядів, висотою уступу та відповідно довжиною заряду, типом ВР в зарядах, параметрів їх розташування на уступі та встановлено раціональні значення базових параметрів, які дозволяють зменшити енергетичні втрати в крайових ділянках силового поля на 30-40% порівняно з традиційними технологіями.

Комплексними розрахунками відносної величини торцевих ділянок свердловинного заряду з використанням популярних в практиці вихідних параметрів зарядів та їх розташування в системі масового вибуху встановлено, що серед цих параметрів тип ВР практично не впливає на прояви крайового ефекту подовженого заряду, який визначає

величину енергетичних втрат на рівні торців, що досягають 12,5% відносно усього заряду діаметром 215мм при висоті уступу 5м та зменшуються до 5,5% для заряду діаметром 105мм і висоті уступу 10м. Встановлено, що однозначно незалежно від довжини заряду для зменшення енергетичних втрат через торцеві ефекти слід віддавати перевагу зарядам діаметром 105мм, а з техніко-економічних міркувань – зарядам ANFO у водозахисних оболонках чи рукавах.

### REFERENCE

- [1] A. L. Han, A. M. Shukiurov, and S. A. Turbinskyi, "Rozrobka efektyvnykh parametriv systemy sverdlovyynykh zariadiv dlia ruinuвання hirskoho masyvu na rivni nabiiky", *Visnyk ZhDTU, Seriya "Tekhnichni nauky"*, no 1(83), pp. 242-248, 2019. doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-242-248.
- [2] V. Kravets, R. Zakusylo, A. Shukurov, and A. Han, S. Turbinski, "Edge effects of limited length downhole charge explosion", *Conference proceedings of 31 th International Conference BLASTING TECHNIQUES 2019*, Slovak Society for Blasting and Drilling Works, Banská Bystrica Slovakia, 2019, pp. 207-216.
- [3] V. Kravets, A. Shukurov, R. Zakusylo, and A. Kovtun, "Technological applications of border effects by hole charges system explosion", *Materialy Wysokoenergetyczne*, no.11(2), pp.21-30, 2019. doi: 10.22211/matwys/0177.
- [4] V. H. Kravets, V. D. Vorobyov, and A. O. Kuzmenko, *Pidryvni roboty na karierakh*. Kyiv, Ukraine: NDO Vipol, 1994.
- [5] V. V. Boiko, V. H. Kravets, A. M. Shukiurov, T. V. Khlevniuk, and A. L. Han, "Sposib formuvannya sverdlovyynnoho zariadu vybukhovoї rehovyny pry provedenni masovykh vybukhiv ", *135668*, Jul. 10, 2019.
- [6] V. H. Kravets, and V. L. Demeshchuk, "Vplyv heometrychnykh i enerhetychnykh parametriv initsiatora na mekhanizm rozvytku detonatsii v podovzhenomu zariadi", *Visnyk of NTUU "Kyiv Polytechnic Institute", "Mining" series*, no. 7, pp. 64-71, 2002. doi.org/10.20535/2079-5688.2001.7.93691.
- [7] O. O. Vovk, V. H. Kravets, V. M. Isaienko, and N. S. Remez, *Vplyv tekhnohennykh dynamichnykh protsesiv na stan pryrodnykh i inzhenernykh ob'ektiv*. Kyiv, Ukraine: NPDU, 2014.

Стаття надійшла до редакції 11.12.2020.