

## ВПЛИВ ДОВЖИНИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЛІНІЙНОГО ЗАРЯДУ НА ПАРАМЕТРИ ВОРОНКИ ВИКИДУ

*В. Г. Кравець, докт. техн. наук, В. В. Ваннічна, Л. В. Шайдецька, аспіранти (НТУУ „КПІ”)*

*Изложены результаты исследований влияния длины заряда на параметры воронки выброса при взрыве. Проанализированы экспериментальные данные с целью выявления максимальной глубины воронки и оптимальной длины заряда.*

У зв'язку з бурхливим розвитком будівництва і зростанням об'ємів гірничих та земляних робіт виникла необхідність використання принципово нових методів будівництва. Одним із найбільш перспективних засобів ведення земляних робіт є використання енергії вибуху.

В [1] отримано теоретичний розв'язок задачі формування воронки викиду при вибуху вертикального лінійного заряду. Аналітичні дослідження на основі отриманих залежностей дозволяють виділити по довжині такого заряду ділянку, відповідальну за ефект викиду ґрунтового масиву з утворенням воронки. Технологічно така воронка викиду може бути основною метою вибуху. Тоді параметри вертикального лінійного заряду обмежуються величиною ділянки викиду, перевищення якої не збільшує об'єму викиду. При збільшенні довжини заряду його дія переходить у камуфлетну фазу з утворенням вертикальної камуфлетної порожнини, яка у верхній своїй частині переходить у воронку викиду. При заглибленні вертикального лінійного заряду камуфлетний механізм стає визначальним. З фізичної точки зору це можна пояснити таким чином. При збільшенні довжини заряду газоподібні продукти вибуху нижньої частини заряду нездатні виконати роботу викиду, їх енергія йде на здійснення роботи по ущільненню прилеглого до заряду ґрунту (утворення камуфлетної порожнини) і теплові втрати. Заряд поділяється на дві частини: у верхній частині – заряд викиду, в нижній – камуфлетний. Одночасно з утворенням воронки викиду у верхній частині заряду А відбувається підняття камуфлетної порожнини під дією тиску газового пухиря, що розширюється в нижній частині заряду Б (рис. 1).

Механізм формування камуфлетної порожнини та перспективи розвитку технології розглянуто в [2, 3]. Мета цієї статті – експериментальне підтвердження основних результатів аналітичних досліджень впливу довжини вертикального заряду та величини заглиблення його верхнього торця (висоти набивки) на параметри викиду.

Оскільки в експериментах використовувались заряди з різною кількістю ниток детонувального шнура (ДШ), діаметр одного заряду приводиться до умовного діаметра  $d_{зар}$ , який обчислюється, виходячи з витрати ТЕНу на 1 м довжини ДШ (12 г/м), за формулою  $d_{зар} = 0,036\sqrt{Q_{п}}$ , де  $Q_{п}$  – маса заряду, кг/м.

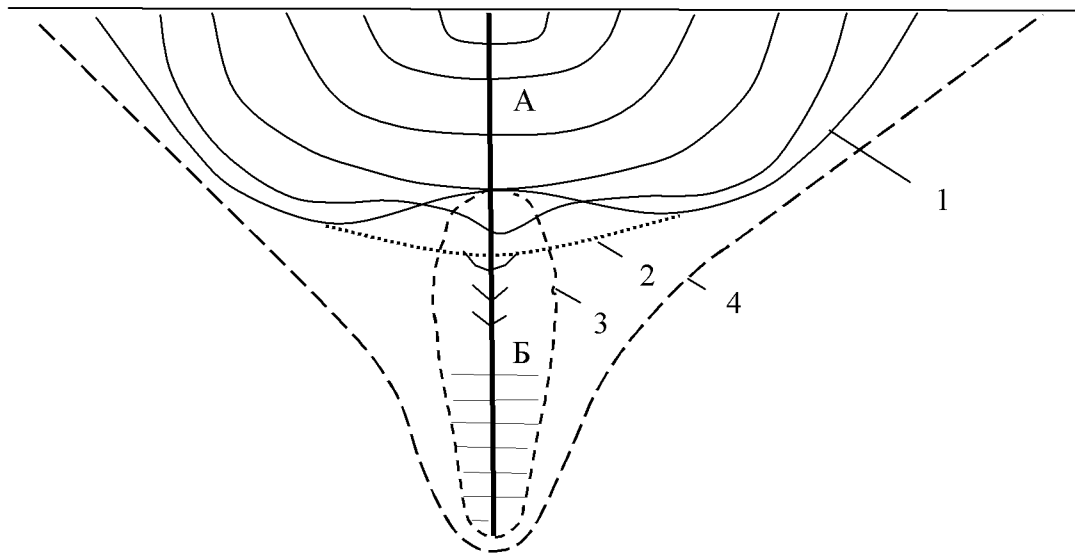


Рис. 1. Схема дії подовженого вертикального заряду ВР: А – заряд викиду; Б – камуфлетний заряд; 1 – контур воронки; 2 – контур воронки від вибуху верхньої частини заряду; 3 – камуфлетна порожнина від вибуху нижньої частини заряду; 4 – зона порушень

Оскільки форма перерізу утвореної вибухом воронки викиду залежить від властивостей ґрунту, найбільш стійкими є воронки у в'язких пластичних ґрунтах. У сипучих ґрунтах через незначне їх зчеплення переріз воронок має форму трикутника. В легких слабкозв'язаних ґрунтах типу суглинків і супісків переріз воронок являє собою комбінацію трикутника з параболою [4].

Відомо, що в глинистих ґрунтах внаслідок їх високої зв'язності при ущільненні необоротно зростають сили зчеплення між частинками, що забезпечує високу стійкість ущільненого шару масиву під час різкого падіння тиску газів у камуфлетній частині порожнини. В ґрунтах із слабкими структурними зв'язками ущільнення в зоні дії вибуху не супроводжується суттєвим зміцненням структурних зв'язків, тому в разі розвантаження структура ущільненого ґрунту легко руйнується під дією хвилі розрідження. При цьому попередньо ущільнений ґрунт втрачає стійкість у зоні максимальних деформацій і обрушується в утворену вибухом порожнину.

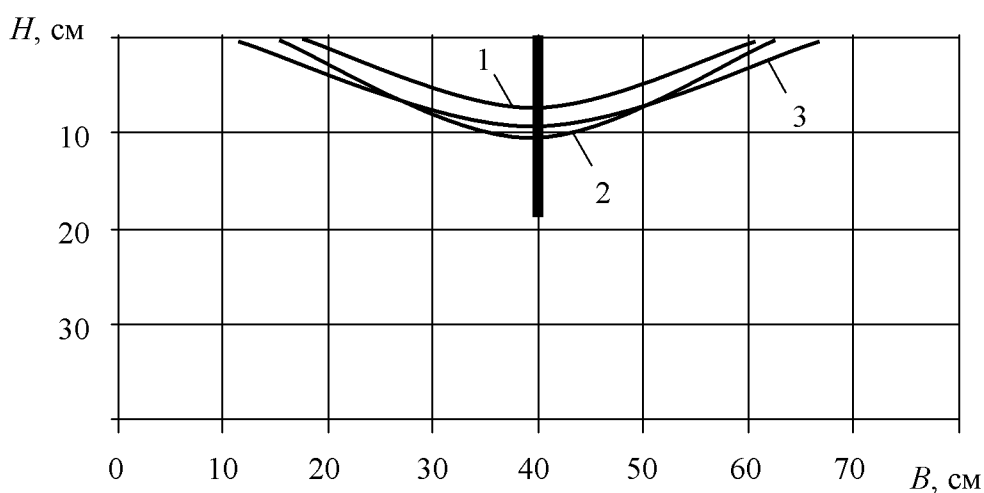
Розглядаючи механізм формування воронки викиду вибухом заряду комбінованої дії, слід відзначити, що в зв'язних і напівзв'язних ґрунтах воронка викиду формується по-різному і, відповідно, спостерігається різний залишковий ефект вибуху в зоні викиду. В зв'язних ґрунтах, в яких камуфлетна частина комбінованого заряду утворює стійку порожнину, ґрунт, що піднімається вибухом в зоні викиду, частково повертається в утворену порожнину, яка у верхній частині переходить у воронку. При збільшенні довжини нижньої камуфлетної частини комбінованого заряду видима глибина воронки вибуху зростатиме. В структурно нестійких ґрунтах це зростання може не відбутися або припиниться значно раніше, оскільки обрушення стінок камуфлетної частини порожнини заважатиме розміщенню в ній ґрунту, що падає в воронку після викиду.

На основі цих якісних спостережень виконано дві серії експериментів. Перша серія виконувалась у сухому піску, друга – в легких суглинках. Заряди

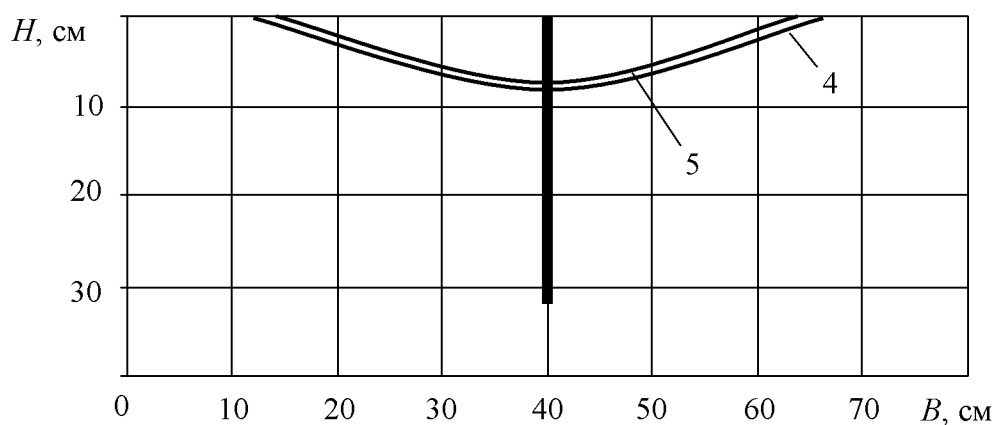
виконувалися з кількох ниток ДШ довжиною від 7 до 50 см і підривалися в свердловинах без набивки. В другій серії експериментів довжина заряду змінювалась від 0,14 до 1,767 м, висота набивки становила 6 см. Відповідно відносна довжина зарядів становила  $4,4-55 d_{\text{зар}}$ .

В зарядах камуфлету набивка використовується для замикання газів вибуху, які повинні виконати руйнування ґрунту з подальшим його ущільненням або обрушенням в порожнину. Якщо набивка відсутня (перша серія дослідів), то гази під час утворення порожнини частково виходять в атмосферу, втрачаючи енергію, частково виконують викидання ґрунту, утворюючи воронку.

Особливо чітко це видно при проведенні дослідів у сухому піску (рис. 2, а, б). На рис. 2, в зображено поперечний переріз воронки викиду від вибуху зарядів у легких суглинках.



а



б

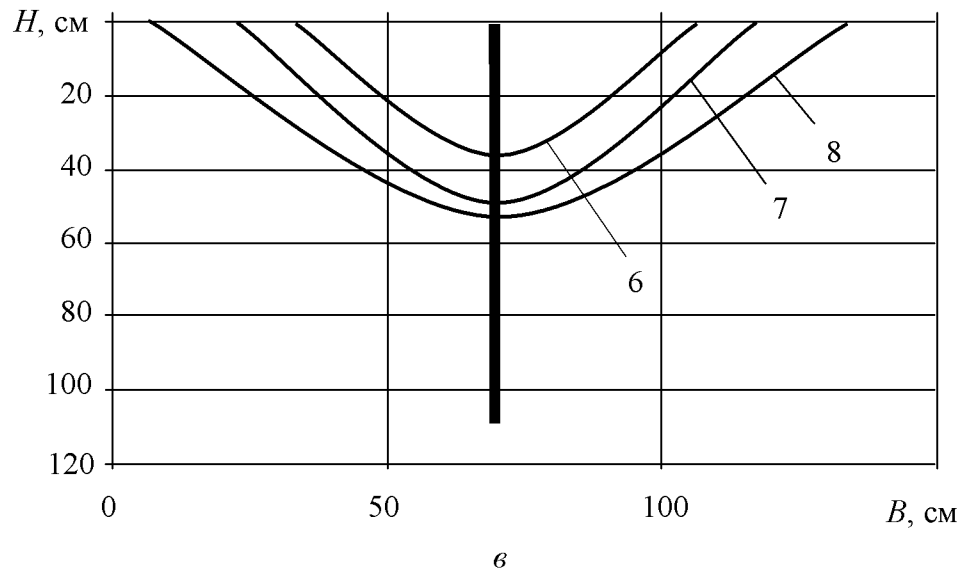


Рис. 2. Профілі поперечних перерізів воронки викиду від вибуху вертикальних зарядів у сухому піску (а, б) і легких суглинках (в) при таких значеннях  $l$ : 1 – 7 см; 2 – 10 см; 3 – 20 см; 4 – 25 см; 5 – 30 см; 6 – 14 см; 7 – 63 см; 8 – 12 см

На рис. 2 (а, б, в) зображено поперечні перерізи воронки викиду від вибуху. За даними проведених досліджень побудовано залежності показника дії вибуху  $n$ , діаметра  $B$  та глибини воронки  $H$  і об'єму ґрунту викиду від довжини заряду.

З графіка на рис. 3 випливає, що при довжині заряду до  $\bar{l}_{\text{зар}} = 1 \text{ м/кг}^{\frac{1}{2}}$  і відповідно при  $n > 3$  енергія вибуху витрачається на інтенсивне викидання ґрунту, при збільшенні довжини заряду показник дії вибуху  $n$  знижується до значень 1–1,5, тобто більша частина енергії вибуху витрачається на ущільнення ґрунту навколо заряду та теплові втрати.

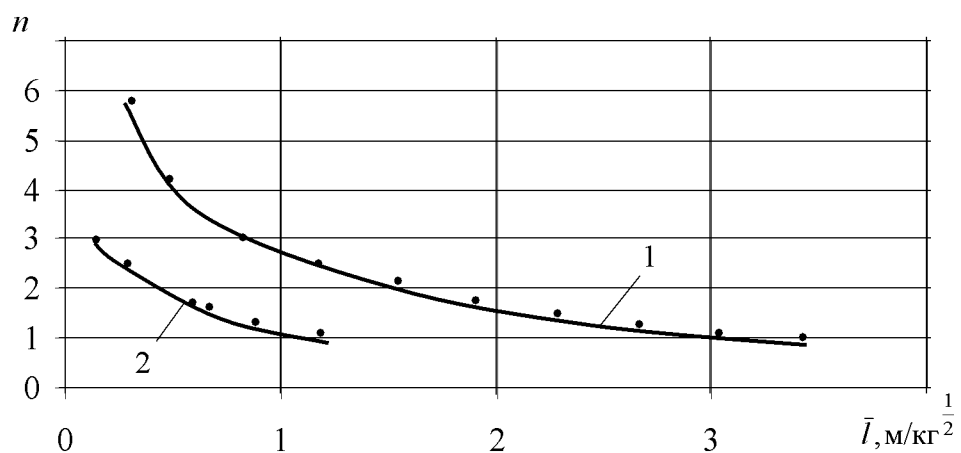


Рис. 3. Залежність показника дії вибуху  $n$  від приведеної довжини заряду  $\bar{l}_{\text{зар}} = \frac{l_{\text{зар}}}{\sqrt{Q_{\text{П}}}}$ : 1 – в першій серії дослідів; 2 – в другій серії дослідів

За даними рис. 4–6 максимуми зростання досліджуваних параметрів (видимої глибини, діаметра та об'єму) спостерігаються при різних значеннях довжини заряду і відповідно різних показниках дії вибуху на викид. При виборі раціональних параметрів вибуху слід виходити з їх пріоритетності.

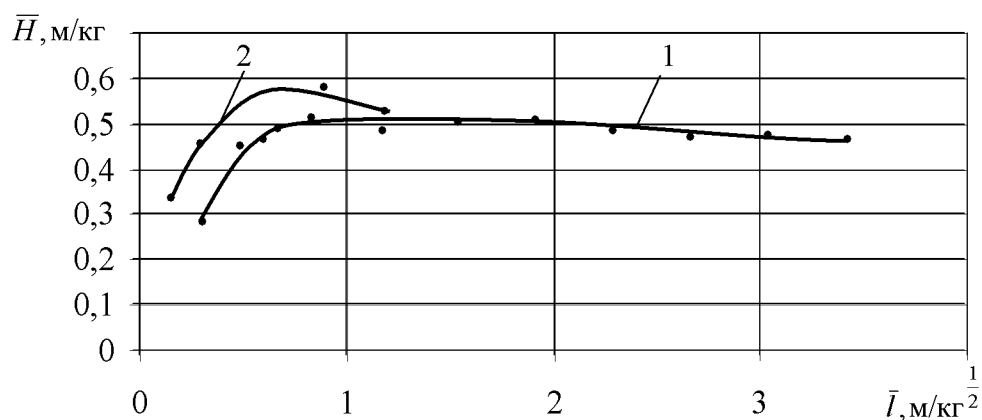


Рис. 4. Залежність приведеної глибини виймки від приведеної довжини заряду: 1 – в першій серії дослідів; 2 – в другій серії дослідів

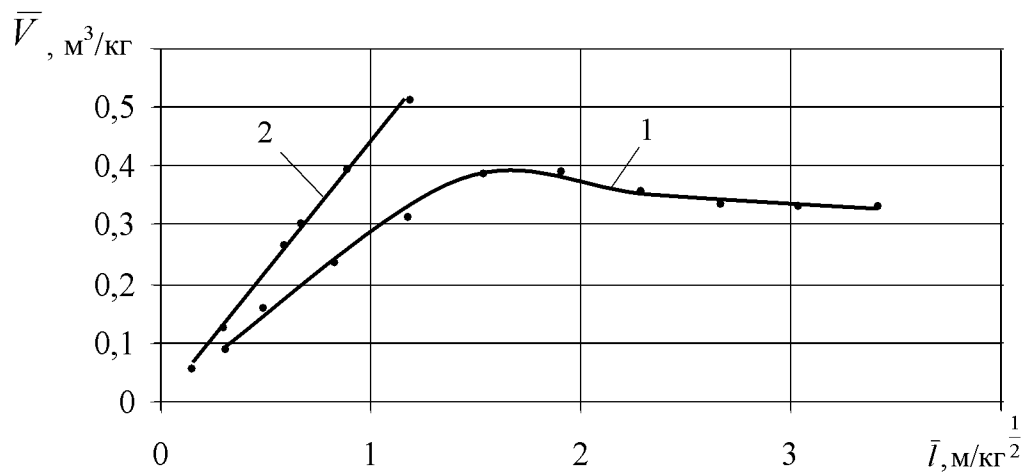


Рис. 5. Залежність об'єму викинутого ґрунту від приведеної довжини заряду: 1 – в першій серії дослідів; 2 – в другій серії дослідів

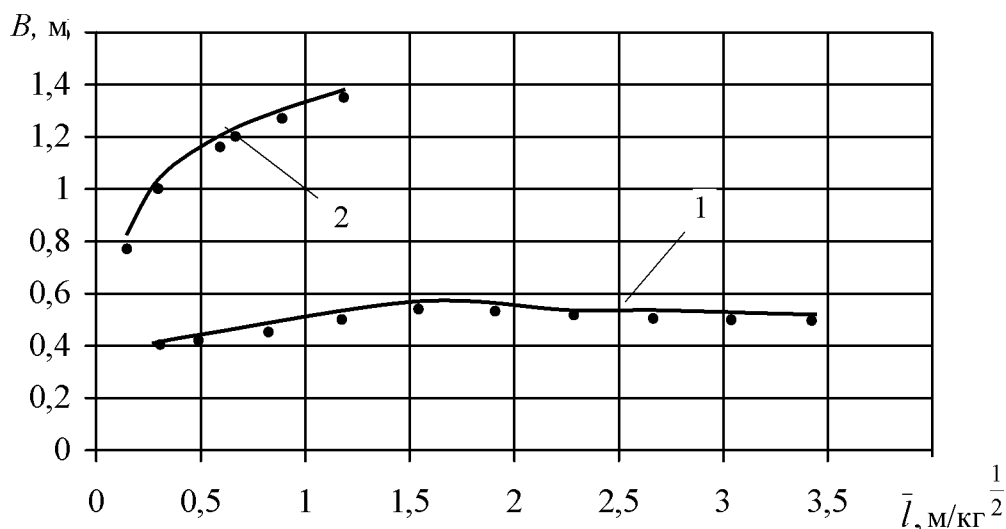


Рис. 6. Залежність ширини по верху виймки від приведеної довжини заряду: 1 – в першій серії дослідів; 2 – в другій серії дослідів

Так, якщо видима глибина воронки набуває максимуму при  $\bar{l}_{\text{зар}} = 1,0-1,2 \text{ м/кг}^{\frac{1}{2}}$  або при  $n = 2,6-2,8$ , то її діаметр і об'єм зростають до максимуму із зростанням довжини до  $\bar{l}_{\text{зар}} \cong 1,7 \text{ м/кг}^{\frac{1}{2}}$  або  $n \cong 1,8$ . Очевидно, що всі параметри після досягнення максимуму  $\bar{l}$  трохи знижуються із зростанням довжини, що свідчить про негативний вплив на формування об'єму воронки камуфлетної частини заряду. Ці спостереження стосуються як першої серії дослідів (без набивки), так і другої серії (з набивкою).

На підтвердження цього в дослідах, починаючи з шостого, в дні воронки викиду спостерігалось підняття дна ( $\bar{l}_{\text{зар}} = 0,66 \text{ м/кг}^{\frac{1}{2}}$ ), при цьому контур воронки мав вигляд кривої  $l$  на рис. 1. Імовірним поясненням цього є підпираюча дія залишкових газів в камуфлетній порожнині.

Однак механізм формування воронки може бути значно складнішим, особливо в разі вибуху в нестійкому ґрунті. Зворотний рух ґрунту в порожнину може підсилювати витиснення газів в сторону воронки викиду, тобто підпираючу дію газів в дні воронки, в яку падає частина ґрунту після викидання.

З залежності між об'ємом викинутого ґрунту  $\bar{V} = \frac{V}{Q_{\text{П}}}$  та довжиною заряду  $\bar{l}$  (див. рис. 5) видно, що найбільші значення об'єму викинутого ґрунту досягнуто в першій серії у дослідах 5 і 6, у другій серії – в дослідах 17 і 18.

Аналіз кривих на рис. 4–6 показує, що із зростанням довжини вертикального подовженого заряду максимум глибини воронки досягається раніше від максимуму ширини та об'єму воронки. Після досягнення  $\bar{H}_{\text{max}} \approx 0,5$  при довжині заряду  $\bar{l}_{\text{зар}} \approx 1,0 \text{ м/кг}^{\frac{1}{2}}$  об'єм і ширина воронки далі зростають до довжини заряду  $\bar{l}_{\text{зар}} \approx 1,8 \text{ м/кг}^{\frac{1}{2}}$ . Отже, об'єм воронки в діапазоні  $l = 1,0-1,8 \text{ м}$  росте лише за рахунок зростання ширини воронки. При цьому глибина воронки практично не змінюється. Однак, якщо ширина воронки продовжує рости, а видима глибина залишається практично незмінною, це можна пояснити лише наведеним вище механізмом формування камуфлетної порожнини за участю зворотного падіння ґрунту. Показово, що вибух в суглинках не приводить до підняття дна воронки (рис. 2, в), що можна пояснити більш слабким розпушуванням ґрунту в зоні камуфлетної порожнини.

## Висновки

Вибух вертикального лінійного заряду поблизу денної поверхні приводить до утворення воронки викиду, об'єм якої залежить від параметрів заряду та глибини його закладання. При достатньо великій довжині заряду

лише верхня його частина відповідає за утворення воронки викиду; подальше збільшення довжини заряду приводить до формування камуфлетної порожнини, з'єднаної у верхній частині з воронкою викиду.

В структурно стійких глинистих ґрунтах утворення та збільшення камуфлетної порожнини сприяє заповненню її ґрунтом, що упав у воронку у верхній її частині, тобто збільшенню об'єму воронки викиду. В нестійких ґрунтах (піщаних, супіщаних) відбувається обвалення ґрунту з стінок воронки, що супроводжується його розпушенням, тобто збільшенням об'єму. Внаслідок цього процесу частина розпушеного ґрунту може бути витиснена у верхню частину порожнини – у межах воронки викиду. Саме це явище фіксується експериментально.

Суттєве збільшення об'єму воронки при вибуху зарядів із набивкою порівняно з зарядами без набивки пояснюється зменшенням втрат енергії у верхній торцевій частині заряду, що межує з поверхнею. Отже, для досягнення комбінованого ефекту (широкої воронки викиду з камуфлетною порожниною) слід застосовувати набивку. При необхідності створення комбінованого ефекту, наприклад при спорудженні вертикальної протифільтраційної завіси, частина заряду, що працює на викид, призначена лише для створення доступу в камуфлетну порожнину, і в цьому випадку більш доцільно вертикальний заряд виводити на поверхню (без набивки).

З експериментальних даних випливає, що максимальна глибина воронки викиду досягається в обох серіях при  $\bar{l} \approx 0,8 \text{ м/кг}^{\frac{1}{2}}$ , яка відповідає співвідношенню  $\frac{l_{\text{зар}}}{d_{\text{зар}}} \approx 24,7$ , що узгоджується з раніше отриманими теоретичними даними.

1. *Кравець В. Г., Рембеляк Т, Вапнічна В. В.* Механічний ефект вибуху в ґрунті вертикального лінійного заряду комбінованої дії // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ. – 2003. – № 3. – С. 189–195.

2. *Обґрунтування параметрів вибуху* при утворенні підземних сховищ токсичних відходів та протифільтраційних споруд / В. Г. Кравець, В. В. Вапнічна, А. Л. Ган, Ю. В. Шабельська / Проблеми охорони праці в Україні: Зб. наук. праць. – К.: ННДІОП. – 2003. – Вип. 7. – С. 105–115.

3. *Кравець В. Г., Вапнічна В. В.* Технологічні параметри вибухового обвалення при створенні вибухом споруд типу „стіна в ґрунті”. – Вісник НТУУ „КПІ”. Серія „Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2002. – Вип. 7. – С. 95–98.

4. *Кравець В. Г.* Динаміка уплотнення ґрунтового масива взривом. – К.: Наук. думка, 1979. – 134 с.