

ВИКОРИСТАННЯ ПУЛЬСАЦІЙНИХ РУХІВ ВИБУХОВОЇ ПОРОЖНИНИ ДЛЯ СПОРУДЖЕННЯ ПРОТИФІЛЬТРАЦІЙНОЇ ЗАВІСИ

В. Г. Кравець, докт. техн. наук, К. Н. Ткачук, докт. техн. наук, В. В. Ваннічна, асист., А. В. Францішко, М. М. Олісевич, студенти (НТУУ «КПІ»)

Рассмотрено образование вертикальной полости вблизи свободной поверхности с одновременным ее заполнением структурирующим материалом. Изучены особенности использования колебательных явлений вблизи очага взрыва для управления процессом отвесного транспортирования материала заполнителя в полость в период ее первого расширения.

Розглянуто утворення вертикальної порожнини поблизу вільної поверхні з одночасним її заповненням структурируючим матеріалом. Вивчено особливості використання коливальних явищ поблизу осередку вибуху для керування процесом прямовисного транспортування матеріалу заповнювача в порожнину в період її першого розширення.

Formation of vertical cavity near to free surface with its simultaneous filling with the structuring material is considered. Peculiarities of use the oscillatory phenomena near to the explosion center for process control of filler steep transportation in the cavity during its first expansion are studied.

Відомо [1, 2], що існує можливість транспортування матеріалу заповнювача у вертикальну порожнину шляхом суміщення двох процесів – вибуху вертикального заряду в слабкому водонасиченому ґрунті під потужним шаром заповнювача (у відомому способі нижній шар представлено морським мулом, верхній – водонасиченим піском, причому потужність обох шарів складала 10 м). Однак успішність реалізації цієї технології не означає, що метод беззаперечно може бути застосований у будь-яких ґрунтових умовах. Для практичного втілення цього методу важливо виявити механізм заповнення вертикальної газової порожнини у складних умовах, що визначено за мету дослідження. Ці умови створюються цілим рядом факторів, які в першу чергу включають властивості ґрунтів та особливості фізики вибухового процесу.

Традиційний спосіб заповнення газової порожнини полягає в розміщенні розчину заповнювача в утвореній вибухом стійкій виробці (щілині) шляхом заливання з поверхні за участю лише сил гравітації. Однак в структурно слабких ґрунтах, що необоротно втрачають зв'язність під впливом деформаційних процесів і через недовговічність і нестійкість ущільненого шару на межі з газовою порожниною, час існування виробки значно менший, ніж час, потрібний на заливання в неї розчину. Отже, потрібні інші рішення, які могли б узгодити два процеси в часі.

По закінченні фази розширення продуктів вибуху в порожнині починаються пульсаційні процеси, пов'язані з пружною післядією стисненого середовища. Якщо стінки порожнини складені достатньо пластичним ґрунтом типу глини, ущільнені стінки внаслідок пульсації не руйнуються, можливе лише утворення окружних тріщин відриву за максимально ущільненою зоною [3]. В сипких піщаних чи суглинистих водонасичених ґрунтах порожнина під час першого коливання (стискання–розущільнення) може частково чи повністю обвалитись. При застосовуванні вибухової технології формування порожнини в структурно нестійкому ґрунті слід приділити особливу увагу питанню збереження її стінок після вибуху.

Для отримання стійкої порожнини в слабкому ґрунті достатньо в деяких випадках зволожити перед вибухом ґрунт навколо свердловини або заповнити свердловину закріплюючим розчином, в якому має розміститись подовжений заряд. Якщо ж вибухом споруджуються в слабкому ґрунті системи паль, піщаних дрен [4, 5] або протифільтраційні діафрагми, достатньо лише досягти пригнічення на певний час зворотного руху стінок порожнини – до моменту, коли заповнюючий матеріал з поверхні опуститься під власною вагою чи під дією інших сил в порожнину. Цього потребує, наприклад, вибухова технологія спорудження вертикальної завіси типу “стіна в ґрунті”, коли в щілину, утворену вибухом системи паралельних вертикальних зарядів подається розчин водостійкого матеріалу [6]. В цьому випадку час існування порожнини і час опускання наповнювача на задану глибину H повинні бути узгоджені між собою.

Згідно з відомим досвідом влаштування в мулистому дні акваторії морського порту системи піщаних паль на глибину до 10 м вибухом системи вертикальних лінійних зарядів [4] можливе успішне розміщення у вибухових порожнинах піщаної засипки з верхнього намитого шару піску. Для цього товщина піщаного шару має бути близькою до потужності оброблюваного вибухом мулистого масиву морського дна.

Враховуючи нестійкість водонасиченого мулу, порожнина мала б “схлопнутись” значно раніше, але дослідження [4] свідчать про протилежне. Пояснити цей феномен можна лише явищем “всмоктування” піщаного ґрунту з верхнього шару під дією зворотних процесів на межі поділу шарів засипки і закріплюваного ґрунтового масиву, ймовірно, під дією утвореної відбитої хвилі розрідження в надпорожнинному цілику та різкого падіння тиску в газовій порожнині через падіння температури газів.

Оскільки процес розвитку порожнини починається на контакті верхнього торця заряду з піщаним шаром, а вибухові гази не мають вільного виходу з порожнини, можна припустити переважання прямовисної пульсації вздовж осі порожнини від поверхні поділу середовищ.

Чим менша швидкість детонації ВР в лінійному заряді, тим більш виразно буде розвиватись згадана осьова пульсація; отже, для таких робіт слід рекомендувати застосування низькошвидкісних ВР та більш стисливого заповнювача порівняно з ґрунтом, який створить умови для появи на торці заряду відбитої хвилі розрідження, скерованої в порожнину по її осі.

Прийmemo, що параметри падаючої на межу поділу середовищ хвилі будуть P_1 , u_1 та V_1 . Відбита хвиля розрідження поширюється з відповідними параметрами P_2 , u_2 та V_2 . При піддатливому другому середовищі масові швидкості $u_1 = u_3$ згідно з умовою нерозривності. Отже, для наближених розрахунків можна орієнтуватись на масову швидкість в ударній хвилі, м/с, при вибуху в піщаному ґрунті:

$$u_2 = u_3 = 4,72 \left(\frac{R}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-2,06} . \quad (1)$$

Згідно з [4, 5] можливий варіант, коли швидкість у хвилі розрідження зростає порівняно з швидкістю падаючої хвилі (при вмісті газової складової 2 %, що реально для водного розчину глиноцементної або глино-фосфатної суміші). Однак, зважаючи на більший вміст повітря в суміші, прийmemo $u_1 = u_2$.

Відповідно наведеним даним в реальних умовах при спорудженні екрану заглиблення торцевої частини подовженого заряду $Q_{\text{екв}}$, що працює як зосереджений заряд в режимі часткового викидання (показник дії вибуху становить $n = 2$), складе при $C_{\text{П}} = 1,0$ кг/м близько 0,2 м. Тоді значення масової швидкості:

$$u_2 = 4,72 Q^{\frac{2}{3}} / R^2 = 118 \text{ м/с.}$$

Оскільки прямовисний напрямок руху масових частинок ґрунту над зарядом і, відповідно, заповнювача збігається з напрямком дії сили земного тяжіння, проведемо розрахунки за аналогією з вільним падінням тіла.

Якщо швидкість руху падаючого тіла $v = \sqrt{2gh}$, де g – прискорення земного тяжіння, або в нашому випадку – початкове прискорення під дією хвилі розрідження, h – висота падіння (прийmemo для розрахунків 5,0 м), фактичне прискорення при початковій масовій швидкості $v = 118$ м/с становить: $g = v^2/10 = 1400$ м/с².

Із залежності

$$h = 0,5gt^2$$

визначимо можливий час падіння розчину:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0,085 \text{ с} = 85 \text{ мс.}$$

Отриманий час падіння розчину в порожнину під дією хвилі розрідження, що спричиняє схлопування газового пухиря, співмірний з часом розширення порожнини.

Для перевірки наведених міркувань виконано модельні фізичні дослідження. Методика експериментів передбачала підривання подовженого заряду довжиною 70 мм і діаметром 4 мм у сухому піщаному ґрунті при заглибленні його верхнього торця в межах 0...70 мм від поверхні ґрунтового масиву. Для контролю за переміщенням поверхні ґрунту на ньому над зарядом

укладався металевий диск діаметром 26 мм, центр якого збігався з віссю заряду. Далі співвісно з зарядом на поверхні ґрунту встановлювалась циліндрична прозора ємність діаметром 104 мм, закріплена в основі на горизонтальному диску значно більшого діаметра для запобігання прориву вибухових газів в атмосферу під час вибуху заряду і розкидання піску з торцевої частини вибухової порожнини. В ємність засипався сухий пісок, призначений для створення набивки над зарядом і для заповнення порожнини, утвореної під час вибуху. Рівень засипки піску в ємність становив ≈ 100 мм, тобто заряд мав працювати в умовах повного камуфлету при всіх варіантах його заглиблення відносно металевого диска або вихідного рівня поверхні ґрунту.

Згідно з даними [7] мінімальні параметри воронки викидання досягаються при довжині набивки $\bar{h} = 0,55 \text{ м/кг}^{0,5}$. В перерахунку на діаметр заряду $d_{\text{зар}} = 4$ мм гранична довжина набивки складе близько 60 мм. Якщо врахувати, що рівень піску в ємності над зарядом значно перевищує наведене значення довжини набивки, всі модельні вибухи відбувались в умовах камуфлету. Лише присутність на поверхні ґрунтового масиву металевого диска дозволяє встановити, за рахунок якого ґрунту заповнюється вибухова порожнина – з боків основного масиву, з верхнього шару або з ємності.

Під час експерименту фіксувались три параметри – величина заглиблення верхнього торця заряду під вихідною поверхнею ґрунтового масиву, величина осідання піску в ємності після вибуху і глибина занурення в ґрунт металевого диска, які мали свідчити про наявність і масштаб прояву ефекту прискореного вертикального падіння ґрунту. Фактично наявність будь-якого опускання металевого диска після вибуху нижче його вихідного положення має довести прояви співвісного з силою тяжіння прямовисного руху деформованого вибухом масиву і його переважання над радіальним. Про масштаб цього явища має свідчити величина опускання диска. Зауважимо, що обраний для експериментів сухий, практично незв'язний дрібнозернистий пісок здатний найкраще продемонструвати чистий механізм пульсації в порожнині без помітного набуття міцності ґрунтом в зоні об'ємних деформацій під дією вибуху.

Результати виконаних досліджень наведені на рис. 1, 2.

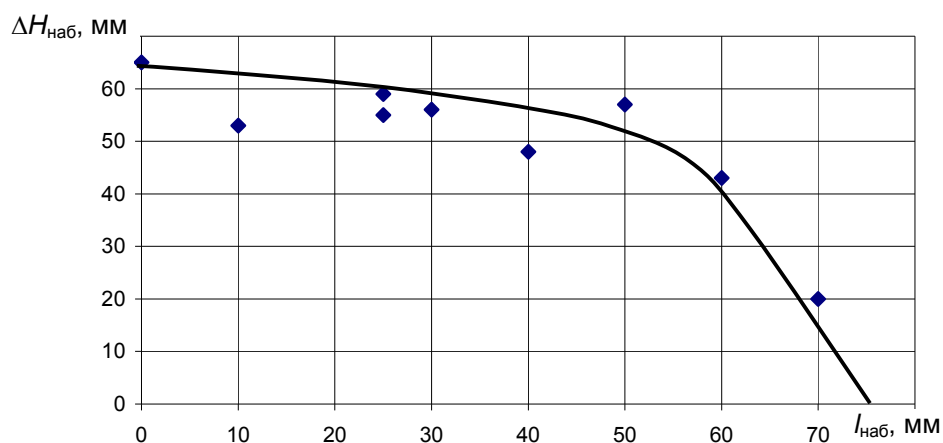


Рис. 1. Залежність величини осідання ґрунту в ємності від заглиблення верхнього торця заряду

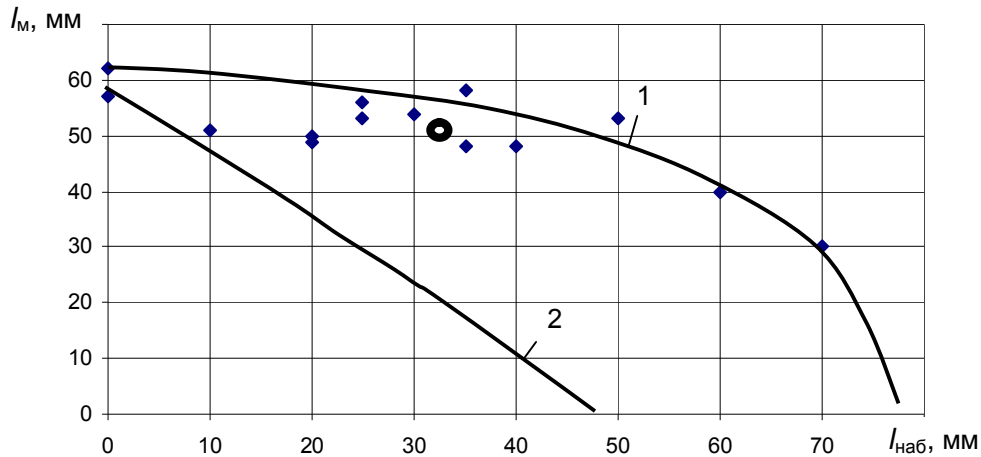


Рис. 2. Залежність між величиною опускання диска та заглибленням торця заряду: 1 – відносно поверхні ґрунту; 2 – відносно верхнього торця заряду

Висновки

За відсутності заглиблення вертикального заряду довжиною 70 мм ($l_{\text{наб}} = 0$), тобто при розташуванні торця на контакті з поверхнею величина занурення диска після вибуху була співмірна з довжиною заряду і склала близько 60 мм; занурення диска в порожнину супроводжувалось заповненням порожнини піском з ємності, при цьому осідання рівня піску в ємності склало теж 60 мм.

Збіг за характером і числовими значеннями залежностей величини осідання рівня піску в ємності ΔH та величини занурення диска в масив l_M від глибини закладання верхнього торця заряду $l_{\text{наб}}$ свідчить про відповідний збіг діаметра ємності з піском та усередненого діаметра вибухової порожнини.

Оскільки за умовами експерименту виключено можливість викидання піску у верхній частині порожнини, заповнення порожнини відбувається майже виключно за рахунок піску з ємності, що підтверджується відповідним зануренням диска. Лише в нижній торцевій частині заряду на рівні 60 мм і нижче порожнина заповнюється власним ґрунтом під впливом пульсації (радіальної та осьової).

В подальшому із зростанням відстані між диском і верхнім торцем заряду розвиток залежностей ΔH ($l_{\text{наб}}$) і l_M ($l_{\text{наб}}$) ідентичний, тобто величина осідання рівня піску в ємності співмірна з зануренням диска в порожнину і ці величини досягають нуля при глибині набивки близько 82 мм або близько 20 діаметрів заряду.

Оскільки металевий диск в експериментах є свідком і мірилом величини переміщення ґрунту з ємності в порожнину, на рис. 2 побудовано залежність 2, яка визначає положення диска у вибуховій порожнині після закінчення процесу. Це положення має визначати, яка частина ґрунту з ємності заповнюватиме порожнину. Значення l' , м, на цій залежності побудовані шляхом віднімання від l_M величини $l_{\text{наб}}$. Отримана пряма 2 пересікає вісь абсцис

при величині заглиблення заряду близько 50 мм. Отже, при такому заглибленні порожнина заповнюється ґрунтом, розташованим під металевим контрольним диском. Ґрунт, що опускається з ємності, при цьому значенні $l_{\text{наб}}$ не досягає порожнини і лише свідчить про опускання в порожнину надпорожнинного цілика потужністю ~ 50 мм. Звідси випливає, що в умовах експерименту найбільш прийнятним варіантом реалізації комбінованої технології є розміщення верхнього торця заряду на контакті з заповнювачем, розташованим в ємності.

Додатковим свідченням значення вертикальних пульсацій у заповненні порожнини є експеримент, позначений на залежності I (див. рис. 2) точкою, обведеною колом. Цей експеримент виконано в аналогічних умовах, але без можливості опускання піску з ємності. Для цього пісок в ємності був відокремлений від основного масиву на рівні її основи спеціальним засувом. В цьому випадку при $l_{\text{наб}} = 35$ мм величина опускання диска практично була такою ж, як і при забезпеченні можливості осідання ґрунту з ємності. Це означає, що ґрунт в ємності не є основним джерелом пульсаційного процесу, а лише постачає матеріал для повного або часткового заповнення порожнини.

Головним висновком виконаних досліджень є випередження в часі руху цілика над зарядом в сторону вибухової порожнини під впливом вертикально спрямованих пульсацій у порівнянні з горизонтальними переміщеннями масиву.

Для отримання можливості керування процесом схлопування в нижній частині вибухової порожнини потрібно побудувати систему таким чином, щоб утримати стінки порожнини від радіального руху в сторону осі заряду. Час, потрібний для утримання стінок порожнини, може не перевищувати часу падіння заповнювача. При цьому слід забезпечити вільний рух у надпорожнинному просторі, де знаходиться ємність з розчином, тобто використати рекомендації щодо величини набивки над зарядом. Для утримання порожнини від передчасного обрушення стінок слід збільшити в'язкість шарів ґрунту, що примикають до зарядної порожнини, шляхом застосування ряду заходів при заповненні зарядної камери протифільтраційним розчином або/та введення в оточуючий масив рідких розчинів чи закріплюючих пластичних елементів.

1. *Ивкина Н. В.* Разработка взрывного метода стабилизации слабых грунтов способом свай-дрен: Дис. ... канд. техн. наук. – К., 1996. – 171 с.

2. *Иомилек Р.* Уплотнение водонасыщенных грунтов взрывами удлиненных зарядов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1992. – № 4. – С. 24–26.

3. *Кравец В. Г.* Динамика уплотнения грунтового массива взрывом. – К.: Наук. думка, 1979. – 134 с.
4. *Иванов П. Л.* Уплотнение малосвязных грунтов взрывами. – М.: Недра, 1983. – 230 с.
5. *Krawiec W. G., Demeszczuk L.I., Parchański I.* Metody wybuchowe budowy przeciwfiltracyjnych ekranów // *Materialy wybuchowe i technika strzelnicza.* – Gliwice–Kraków: Agat–print. – Kraków, 1993. – С. 185–195.
6. *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.
7. *Вплив довжини набивки вертикального лінійного заряду на параметри воронки викиду* / *М. Т. Кириченко, В. В. Вапнічна, Л. В. Шайдецька, А. Б. Соколовська* // *Вісник НТУУ „КПІ”. Серія „Гірництво”*: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ „КПІ”, 2006. – Вип. 14. – С. 143–147.