

## СПЕЦІАЛЬНІ РОЗРОБКИ

---

УДК 622.235

**Кравець Віктор Георгійович**, доктор технічних наук, професор кафедри геоінженерії Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна, ORCID ID 0000-0002-5231-0778

**Бойко Віктор Вікторович**, доктор технічних наук, професор науково-дослідної лабораторії з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів Інституту гідромеханіки Національної академії наук України, м. Київ, Україна, ORCID ID 0000-0003-3443-1688

**Ган Анатолій Леонідович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри геоінженерії Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна, ORCID ID 0000-0003-0832-1338

**Ган Олена Валеріївна**, інженер кафедри геоінженерії Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна, ORCID ID 0000-0003-0739-9600

**Марченко Олександр Сергійович**, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії криміналістичної та спеціальної техніки ДНДІ МВС України, м. Київ, Україна, ORCID ID 0000-0003-2209-1276

### ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГІЇ ВИБУХУ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ГІРНИЧО-БУДІВЕЛЬНИХ РОБІТ

*У статті розглянуто необхідність підвищення якості та скорочення термінів будівництва захисних споруд у зоні проведення Операції Об'єднаних сил та використання з цією метою досвіду, напрацьованого в гірничо-будівельній галузі України. Проаналізовано й обґрунтовано доцільність застосування вибухових технологій для ефективного та швидкого спорудження захисних будівель (окопів, бліндажів тощо), підготовки майданчиків із покращеними властивостями для будівництва довготривалих залізобетонних захисних споруд.*

**Ключові слова:** *гірничо-будівельна галузь, ґрунт, вибухові технології, ущільнення ґрунтових масивів, безпека поведіння, ефективність застосування.*

© Kravets Victor, Boiko Victor, Han Anatolii, Han Olena, Marchenko Olexandr, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2\(61\).14](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2(61).14)

Issue 2(61) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

*В статті розглянуто необхідність підвищення якості та скорочення строків будівництва захисних споруд в зоні проведення Операції Об'єднаних сил та використання з цією метою досвіду, набутого в горно-будівельній галузі України. Проаналізовано та обґрунтовано доцільність застосування вибухових технологій для ефективного та швидкого будівництва захисних споруд (окопів, блиндажів тощо), підготовки площадок з покращеними властивостями для будівництва довговічних залізобетонних захисних споруд.*

**Ключевые слова:** *горно-будівельна галузь, ґрунт, вибухові технології, ущільнення ґрунтових масивів, безпека експлуатації, ефективність застосування.*

З початку проведення в східних областях України антитерористичної операції, а потім Операції Об'єднаних сил (ООС) постала необхідність у тривалому перебуванні працівників правоохоронних органів та військовослужбовців у зоні можливого ураження металевими снарядами стрілецької зброї або вибухами артилерійських снарядів і мін. Найбільш небезпечними вражаючими факторами для військовослужбовців є кулі, осколки і ударні хвилі від вибуху певних пристроїв та речовин. Елементи бойового екіпірування, що забезпечують захист від указаних вражаючих факторів, виступають засобами індивідуального бронезахисту: бронезилети, кулестійкі шоломи та щити. Однак вони не забезпечують стовідсоткового рівня захисту, особливо в умовах мінно-артилерійських обстрілів позицій бійців у зоні проведення ООС. Це обумовило необхідність використання захисних споруд тривалого використання. З цією метою на основних напрямках та магістралях будують стаціонарні захисні споруди: окопи, блиндажі та залізобетонні блокпости з високим рівнем захисту.

Спорудження захисних споруд становить досить трудомісткий та тривалий процес, і скорочення термінів проведення робіт та підвищення якості їх виконання є актуальною задачею. Ефективним способом її вирішення може бути використання досвіду, набутого в гірничо-будівельній галузі.

Прогрес, який визначається, у першу чергу, впровадженням новітніх наукових досягнень у виробництво, промислове, цивільне будівництво та під час виконання робіт спеціального призначення. Головними науковими напрямками при цьому є вивчення закономірностей і засобів формування напруженого стану ґрунтового масиву у взаємодії з природними, техногенними, статичними і динамічними впливами за наявності гірничих виробок, наземних і підземних споруд.

Значна кількість виробничих процесів ґрунтується на застосуванні енергії вибуху для руйнування, ущільнення чи переміщення ґрунтів і гірських порід. При цьому важливу роль відіграє знання закономірностей формування і плинності геодинамічних процесів і явищ у масивах ґрунтів і гірських порід за їх деформацій (зворотних чи незворотних) під дією вибухового імпульсу. Це потребує розробки раціональних режимів збудження та розвитку детонаційних процесів при взаємодії з породними масивами, створення нових вибухових речовин і засобів їх ініціювання з метою підвищення технологічної надійності, ефективності та безпеки.

Динамічні навантаження на гірські породи як наслідок дії вибуху заряду ВР складають основу багатьох технологій чи окремих технологічних процесів руйнування, ущільнення або переміщення гірського масиву навколо заряду. Серед найбільш важливих вибухових технологій, що ґрунтуються на результатах досліджень із прикладних розділів геодинаміки вибуху, заслуговують на увагу гірничо-будівельні методи отримання інженерних споруд або їх окремих елементів у нескельних породах:

– утворення камуфлетних порожнин у стисливих ґрунтах різного призначення (шурфів, сейсмо-водо-зсувозахисних споруд, підземних сховищ та ін.);

– будівництво відкритих виїмок методом вибуху зарядів викидання в нескельних ґрунтах, у тому числі в заболочених місцевостях (осушування боліт, отримання траншей);

– ущільнення ґрунтових масивів у основах відповідальних підземних та напівзаглиблених будівельних об'єктів;

– вибухові технології ущільнення стисливого ґрунту в підводних умовах (підводно-технічні роботи на континентальному шельфі та інших водних басейнах при днозаглибленні, облаштуванні гаваней і підходів до них, розчищенні русел річок та ін.);

– заслугове на окрему увагу застосування в інженерній практиці спеціальних робіт із використанням енергії вибуху в особливих умовах.

### **Утворення камуфлетних порожнин у стисливих ґрунтах**

Залежно від виробничого призначення камуфлетні споруди будують циліндричної, овальної, сферичної та щілиноподібної форми як у вигляді поодиноких виробок, так і їх комплексів. Поодинокі виробки можуть бути використані як шурфи, підземні штольні, водопостачальні колодязі, протизсувні утримуючі споруди тощо, а комплексні – при спорудженні підземних сховищ шкідливих речовин, води, палива та природних газів.

Поодинокі вертикальні порожнини отримують шляхом буріння свердловин, їх заряджання вибуховою речовиною і підривання. Якщо заряд розміщувати в свердловині до самої поверхні, то порожнина буде закінчуватися у верхній частині воронкоподібним розширенням значного діаметра, що суттєво ускладнює її технологічне використання. Для запобігання цьому явищу в верхній частині свердловини розміщують інертну набивку (рис. 1) із наступним видаленням надпорожнинного цілика механізмами; у забивці розміщують допоміжний заряд, що значно зменшує розміри цілика (рис. 2); перед заряджанням проходять шурф на певну глибину, що унеможливорює воронкоутворення (рис. 3); у верхній і нижній частині свердловини залишають незарядженими її відрізки (рис. 4), що сприяє зменшенню надпорожнинного цілика без воронкоутворення; на поверхні розміщують накладний (прижимний) заряд, який при одночасному вибухові із свердловинним зарядом перешкоджає формуванню воронки викидання, одночасно руйнуючи надпорожнинний цілик (рис. 5). У літературі цей спосіб отримав назву “цвях Лаврентьєва”.

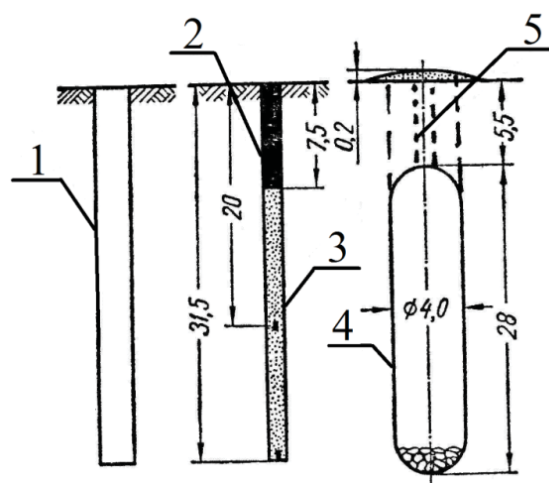


Рис. 1. Схема отримання порожнини із застосуванням інертної набивки: 1 – свердловина; 2 – інертна набивка; 3 – заряд; 4 – контур порожнини, отриманої дією камуфлетного заряду; 5 – надпорожнинний цілик, що виймається механізованим способом

Допоміжний заряд, що значно зменшує розміри цілика (рис. 2); перед заряджанням проходять шурф на певну глибину, що унеможливорює воронкоутворення (рис. 3); у верхній і нижній частині свердловини залишають незарядженими її відрізки (рис. 4), що сприяє зменшенню надпорожнинного цілика без воронкоутворення; на поверхні розміщують накладний (прижимний) заряд, який при одночасному вибухові із свердловинним зарядом перешкоджає формуванню воронки викидання, одночасно руйнуючи надпорожнинний цілик (рис. 5). У літературі цей спосіб отримав назву “цвях Лаврентьєва”.

Використовуючи в різноманітних поєднаннях вертикальні, горизонтальні чи похилі виробки, отримувані вибуховим способом, можна створювати

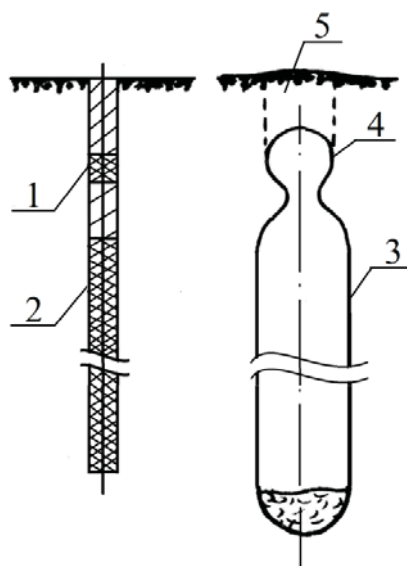


Рис. 2. Схема отримання порожнини з мінімальним надпорожнинним ціликом завдяки застосуванню допоміжного заряду, розміщеного в забивці:

1 – допоміжний заряд; 2 – основний заряд; 3, 4 – контури порожнин, отриманих в результаті основного і допоміжного зарядів; 5 – надпорожнинний цілик

© Kravets Victor, Boiko Victor, Han Anatolii, Han Olena, Marchenko Olexandr, 2020

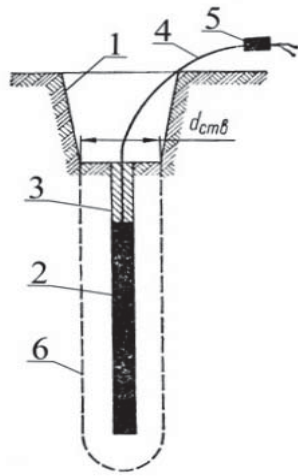


Рис. 3. Схема отримання безворонкової порожнини шляхом попередньої виїмки ґрунту у верхній частині:

1 – контур викопаного шурфу в верхній частині; 2 – заряд ВР; 3 – інертна забивка; 4, 5 – детонуючий шнур та електродетонатор; 6 – проектний контур порожнини

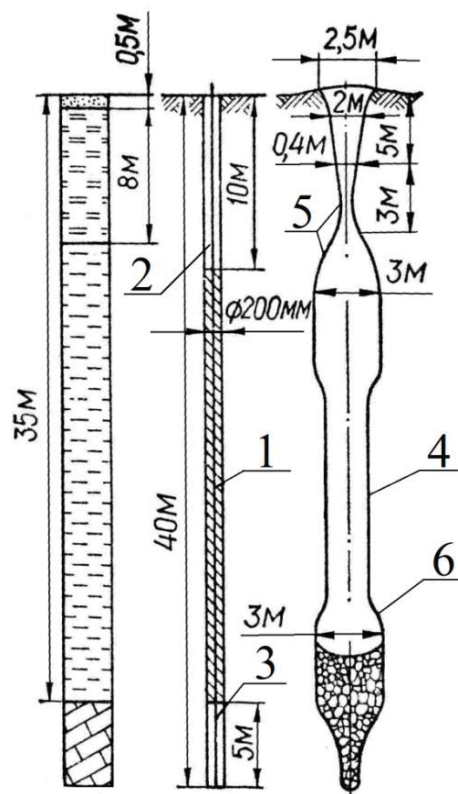


Рис. 4. Свердловинний заряд із повітряними проміжками у верхній і нижній частині свердловини: 1 – заряд ВР; 2, 3 – верхній і нижній повітряні проміжки; 4–6 – контури порожнини в районі заряду й повітряних проміжків

© Kravets Victor, Boiko Victor, Han Anatolii, Han Olena, Marchenko Olexandr, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2\(61\).14](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2(61).14)

Issue 2(61) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

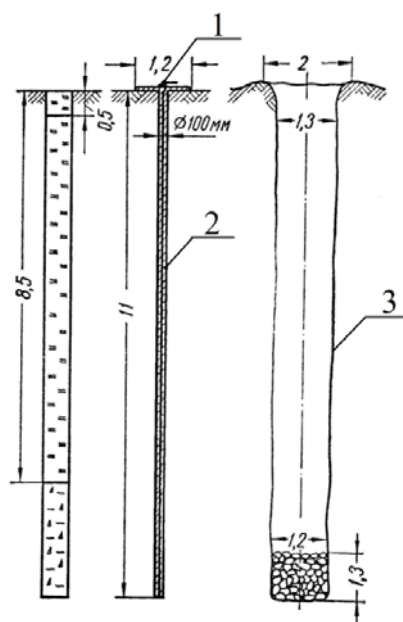


Рис. 5. Безворонковий спосіб отримання порожнини із застосуванням накладного заряду ("цвях Лаврентьєва"): 1 – накладний заряд; 2 – основний свердловинний заряд; 3 – контур отриманої порожнини

Використовуючи в різноманітних поєднаннях вертикальні, горизонтальні чи похилі виробки, отримувані вибуховим способом, можна створювати комплекси інженерних споруд різноманітного призначення, як це видно з рис. 6–10. На рис. 6 показано схеми отримання підземних комплексів, що складаються з вертикальних та горизонтальних виробок.

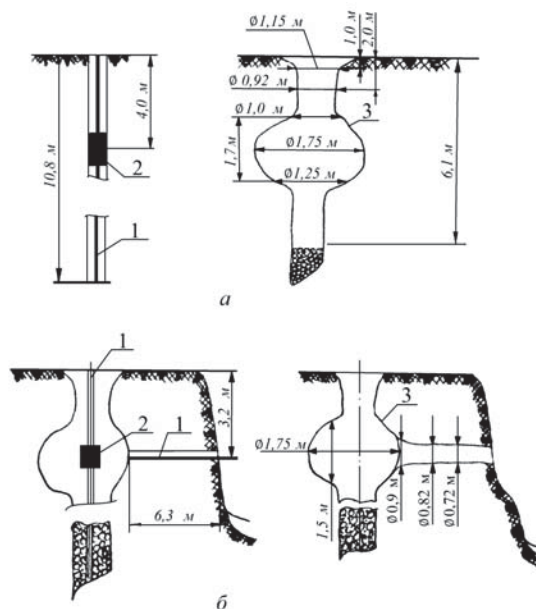


Рис. 6. Схема утворення камуфлетного розширення (а) і комплексу горизонтальної і вертикальної виробки (б): 1 – циліндричний заряд, 2 – сферична частина збільшеного заряду, 3 – контур отриманої виробки.

© Kravets Victor, Boiko Victor, Han Anatolii, Han Olena, Marchenko Olexandr, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2\(61\).14](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2(61).14)

Issue 2(61) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

На рис. 7 наведено схеми утворення великомасштабних підземних виробок типу касетних сховищ шляхом підривання систем зарядів значної маси. Вибухом системи паралельних свердловинних зарядів можна отримати траншеї із заданими параметрами, а також протисейсмічні перешкоди у вигляді одно- або дворядних вертикальних екранів (рис. 8, 9).

Усі необхідні інженерні розрахунки стосовно визначення головних параметрів підземних порожнин і їх комплексів при вибуху певних конструкцій зарядів ґрунтуються на геомеханічних співвідношеннях системи «напруження – незворотна деформація» стисливого середовища. З огляду на дані про стисливість ґрунту під дією продуктів детонації ВР, можна отримати такі найбільш важливі параметри як радіус камуфлетної порожнини та зони незворотних деформацій навколо неї.

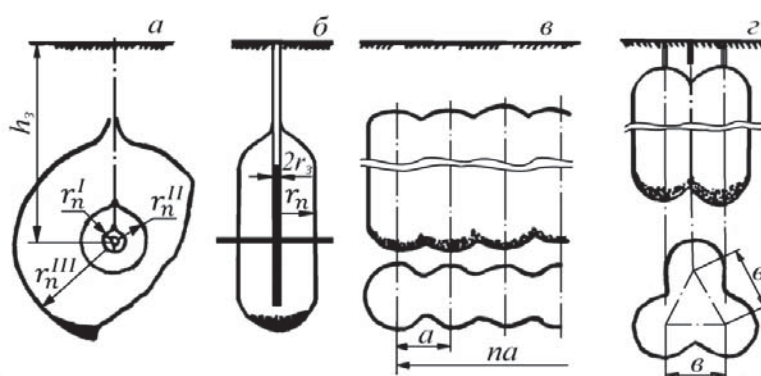


Рис. 7. Способи утворення великомасштабних підземних сховищ у стисливіх ґрунтах: сферичної форми (а); циліндричної (б); вибухами групи циліндричних зарядів, розташованих в один ряд (в); у вигляді трикутника (г);  $h_3$  – глибина закладання зосереджених зарядів;  $r_n^I$ ,  $r_n^II$  – радіуси порожнини відповідно після I і II прострілювання;  $r_n^III$  – радіус порожнини після вибуху основного заряду;  $r_n$  – радіус циліндричної свердловини;  $a$ ,  $b$  – відстань між свердловинами при спорудженні касетних сховищ

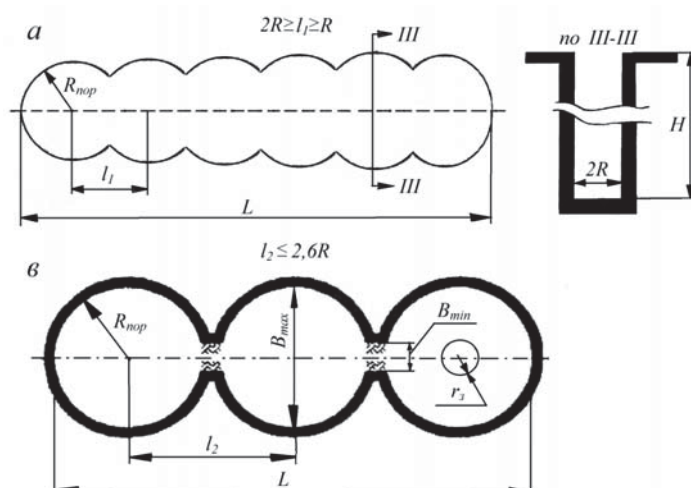


Рис. 8. Утворення лінійної порожнини суцільного перерізу вибухом однорядної системи вертикальних свердловинних зарядів при відстані між свердловинами  $l_1 < 2R_{nop}$  (а) і  $l_2 > 2R_{nop}$  (б):  $R_{nop}$  – радіус порожнини;  $L$  – довжина споруди;  $H$  – глибина споруди

© Kravets Victor, Boiko Victor, Han Anatolii, Han Olena, Marchenko Olexandr, 2020

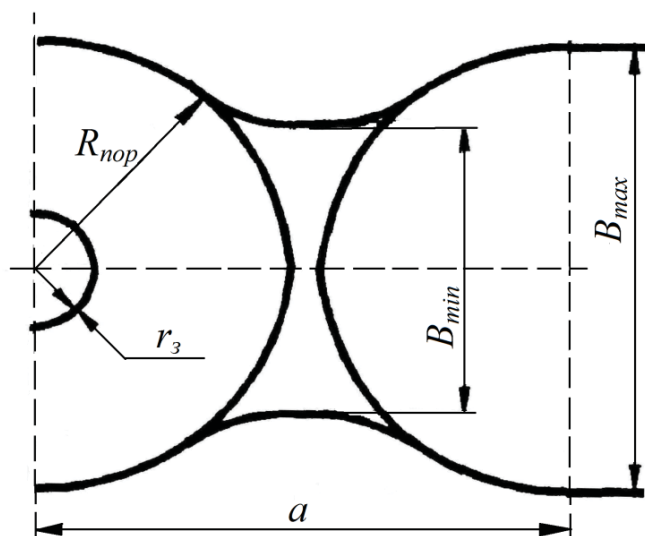


Рис. 9. Елемент профілю вертикальної споруди при відстані між свердловинами “ $a$ ” в межах  $(2,0...2,6)R_{nop}$ ;  $B_{min}$ ,  $B_{max}$  – мінімальна і максимальна ширина споруди;  $r_3$  – радіус заряду

Як впливає з рис. 8 і 9, основний параметр траншеї – максимальна ширина  $B_{max}$ , однозначно залежить від діаметра окремої циліндричної порожнини, а мінімальна ширина формується залежно від відстані між свердловинами “ $a$ ”. Відповідно може змінюватися форма поперечного перерізу траншеї від суцільної до переривчастої. Отже, при формуванні траншеї заданих параметрів з прямовисними стінами вибухом групи циліндричних зарядів постає необхідність у обґрунтованому виборі кроку розташування вибухових свердловин.

Важливою перевагою вибухового способу формування траншейної виробки є наявність прилеглої до неї ущільненої зони, яка забезпечує не лише підвищену стійкість бортів траншеї, а й захист від фільтрації ґрунтової вологи. Отже, крім отримання траншейної виробки вибух має вирішувати задачу досягнення рівномірного і ефективного ущільнення ґрунту всією глибиною оточуючого масиву.

Тому розглянемо розрахунок кроку “ $a$ ” розташування свердловин при заданому радіусі заряду  $VR$ . При розрахунку кроку розташування свердловин будемо виходити з умов руйнування ґрунтового масиву дією групи циліндричних зарядів. Під час дії циліндричного заряду генерується хвиля напружень, радіальну складову якої можна викласти в такому аналітичному вигляді:

$$\sigma_{r(R,t)} = \sigma_r^m(R) \exp[-\mu(t-t_m)] \frac{\sin \beta(t-t_0)}{\sin \beta(t_m-t_0)} \quad (1)$$

Залежність максимальних деформацій від відстані може бути представлена у вигляді:

$$E_m = k_{\Theta} R_0^{-\mu_{\Theta}}, \quad (2)$$

© Kravets Victor, Boiko Victor, Han Anatolii, Han Olena, Marchenko Olexandr, 2020



де  $k_\theta$  і  $\mu_\theta$  – коефіцієнти, які визначаються експериментальним шляхом для певного виду ґрунту.

Розглянемо аналітично дію двох суміжних зарядів ВР, що одночасно підриваються. Для цього скористаємося критерієм руйнування середовища Треска – Сен-Венана:

$$(\sigma_y - \sigma_x)^2 + 4t \frac{2}{xy} \geq \sigma_s^2, \quad (3)$$

де  $\sigma_s$  – межа структурної міцності ґрунту.

При дії вибуху  $n$  зарядів сумарне поле напружень визначимо такими формулами:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sum_{i=1}^n (\sigma_{ir} \cos^2 \alpha_i + \sigma_{i\alpha} \sin^2 \alpha_i) \\ \sigma_y &= \sum_{i=1}^n (\sigma_{ir} \sin^2 \alpha_i + \sigma_{i\alpha} \cos^2 \alpha_i) \\ \tau_{xy} &= \sum_{i=1}^n (\sigma_{ir} - \sigma_{i\alpha}) \cos \alpha_i \sin \alpha_i \end{aligned} \quad (4)$$

при дії двох зарядів  $i=2$ . Беремо до уваги, що в ґрунтах тангенційна складова напружень знаходиться в такій залежності від радіальної:

$$\sigma_{\alpha(R,t)} = k_\tau \sigma_r(R,t) \quad (5)$$

З огляду на тригонометричні співвідношення для синуса і косинуса подвійного кута, з формули (4) отримуємо:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{1}{2} [1 + k_\tau + (1 - k_\tau) \cos 2\alpha_1] \sigma_{1r} + \frac{1}{2} [1 + k_\tau + (1 - k_\tau) \cos 2\alpha_2] \sigma_{2r} \\ \sigma_y &= \frac{1}{2} [1 + k_\tau - (1 - k_\tau) \cos 2\alpha_1] \sigma_{1r} + \frac{1}{2} [1 + k_\tau - (1 - k_\tau) \cos 2\alpha_2] \sigma_{2r} \\ \tau_{xy} &= \frac{1}{2} (1 - k_\tau) (\sigma_{2r} \sin 2\alpha_2 - \sigma_{1r} \sin 2\alpha_1) \end{aligned} \quad (6)$$

З виразу (3) і співвідношення (6) після нескладних перетворень отримаємо рівність:

$$(1 - k_\tau)^2 [\sigma_{1r}^2 + \sigma_{2r}^2 + 2\sigma_{1r}\sigma_{2r} \cos(2\alpha_1 + 2\alpha_2)] = \sigma_s^2 \quad (7)$$

Ця рівність визначає зону руйнування масиву ґрунту завтовшки  $H$  за впливу на нього двох циліндричних зарядів.

Оскільки ми розглядаємо одночасне підривання вибухових зарядів, то  $R_1 = R_2 = R$ ,  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ . Кут  $\alpha$  в цьому випадку буде визначатися за формулою:

$$\alpha = \arccos \frac{\alpha}{2R}, \text{ де } R = \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} + H^2}$$

З урахуванням цих зауважень умова (7) буде мати вигляд:

$$(1 - k_\tau)^2 \frac{4k_\sigma^2}{r_3 - 2\mu_\sigma} \left(\frac{\alpha^2}{4} + H^2\right)^{-2-\mu_\sigma} \left(\frac{\alpha^2}{4} - H^2\right)^2 = \sigma_s^2, \text{ або}$$

$$\frac{2k_\sigma(1 - k_\tau)(H^2 - \frac{\alpha^2}{4})}{r_3 - \mu_\sigma} \left(\frac{\alpha^2}{4} + H^2\right)^{\frac{-2-\mu_\sigma}{2}} = \sigma_s \quad (8)$$

Приймаючи у формулі (8), що  $H = 3/2a$ , тобто, що на глибині  $H$  ґрунтового масиву сформувався плоский фронт, отримуємо рівняння щодо вихідного параметра  $a$ :

$$\frac{1 - k_\tau}{r_3 - \mu_\sigma} 4a^2 k_\sigma (0.4a)^{\frac{\mu_\sigma - 2}{2}} = \sigma_s \quad (9)$$

Зі співвідношення (9) неважко визначити необхідний параметр  $a$ :

$$a = 0.6r_3 \left[ \frac{1.6k_\sigma(1 - k_\tau)}{\sigma_s} \right]^{\frac{1}{\mu_\sigma}} \quad (10)$$

Для лесових ґрунтів коефіцієнт  $k_\tau$  знаходиться в межах  $k_\tau = 0.3 \div 0.4$ .

Відзначимо, що використання при розрахунку параметра  $a$  критерію формування плоского фронту дозволяє отримати рівномірний розподіл поля напружень в ґрунтовому масиві і тим самим досягти його рівномірного ущільнення по глибині.

Таким чином, знаючи для конкретних ґрунтових умов експериментальні коефіцієнти  $k_\sigma$  і  $\mu_\sigma$ , можна призначити крок розташування вибухових свердловин.

Оскільки в реальних умовах важко визначити величини  $k_\sigma$  і  $\mu_\sigma$ , то можна скористуватись кореляційним співвідношенням через так званий показник "умовної міцності", який визначається за формулою:

$$\eta = \frac{\rho}{1+W_0}, \quad (11)$$

де  $\rho_d$  – щільність скелету ґрунту, г/см<sup>3</sup>,  $W_0$  – вологість ґрунту в д.о.

Наведемо приклад визначення кроку розташування сітки вибухових свердловин для таких умов: радіус заряду  $r_3=0.1$  м, щільність скелету ґрунту  $\rho_d=1.51$  г/см<sup>3</sup>, вологість ґрунту  $W_0=0.14$ . Враховуючи те, що межа структурної міцності знаходиться в межах:  $\sigma_s = 0.01 \div 0.05$  МПа – для слабких водонасичених ґрунтів і  $\sigma_s = 0.15 \div 0.20$  МПа – для маловологих лесових ґрунтів із застосуванням формул (10–12), отримаємо:

$$\eta = \frac{\rho_d}{1+W_0} = \frac{1.51}{1+0.14} = 1.325$$

– для утворення лінійної порожнини суцільного перерізу за допомогою енергії вибуху при дотриманні умови  $l_1 < 2R_{nop}$  (рис. 8, а), величини  $k_\sigma$  і  $\mu_\sigma$  визначаються за формулами:

$$\lg k_\sigma = 8.22 - 2.35 \cdot 1.325 \quad k_\sigma = 125892.54$$

$$\mu_\sigma = 6.15 - 1.5\eta = 4.16 \quad \text{modi}$$

$$a = 0.6r_3 \left[ \frac{1.6k_\sigma(1-k_\tau)}{\sigma_s} \right]^{1/\mu_\sigma} = 0.6 \cdot 0.1 \left[ \frac{1.6 \cdot 125892.54 \cdot (1-0.35)}{0.2} \right]^{1/4.16} = 1.5 \text{ м}$$

– для утворення лінійної порожнини суцільного перерізу за допомогою енергії вибуху при дотриманні умови  $l_2 > 2R_{nop}$  (рис. 8, в), величини  $k_\sigma$  і  $\mu_\sigma$  визначаються за формулами:

$$\lg k_\sigma = 8.22 - 2.35 \cdot 1.325 \quad k_\sigma = 125892.54$$

$$\mu_\sigma = 5.15 - 1.5\eta = 5.15 - 1.5 \cdot 1.325 = 3.16 \quad \text{modi}$$

$$a = 0.6r_3 \left[ \frac{1.6k_\sigma(1-k_\tau)}{\sigma_s} \right]^{1/\mu_\sigma} = 0.6 \cdot 0.1 \left[ \frac{1.6 \cdot 125892.54 \cdot (1-0.35)}{0.2} \right]^{1/3.16} = 4.1 \text{ м}$$

Визначити необхідний радіус заряду, що забезпечує ущільнення заданої товщі масиву  $H$ , можна за формулою:

$$r_3 = H \left( \frac{\sigma_s}{k_\sigma} \right)^{1/\mu_\sigma}, \text{ м} \quad (12)$$

За аналогією з наведеним розрахунком можливо вирішити завдання поверхневої обробки ґрунтового масиву з метою:

– ущільнення поверхневої товщі структурно слабкого (наприклад, лесового просадного) ґрунту або в основі відповідальної наземної або підземної споруди, або для ущільнення ґрунту злітних смуг на польових аеродромах;

– динамічної обробки певних ділянок площі з метою швидкого розмінування. шляхом покриття поверхні смугами вибухової піносуспензії завтовшки 50–100 мм та шириною 5–10 м з підривом вибухового композиту ниткою ДШ;

Для динамічної обробки поверхневої товщі застосовуються технологічні схеми з використанням плоских зарядів або групи подовжених зарядів, які імітують плоский заряд. Становить інтерес отримання виразу для визначення маси плоского заряду, необхідного для ущільнення заданої товщі ґрунту. Будемо виходити із відомої закономірності деформування ґрунту при впливі на нього плоского заряду (2). Якщо задати в цій залежності необхідну деформацію  $\varepsilon_k$ , отримаємо:

$$Q = H \left( \frac{\varepsilon_k}{k_0} \right)^{1/\mu_0} \text{ кг / м}^2 \quad (13)$$

де  $H$  – товщина просадного шару;  $k_0$ ,  $\mu_0$  – експериментальні коефіцієнти, які характеризують закономірності деформування ґрунту;  $\varepsilon_k$  – задана деформація, до котрої необхідно ущільнювати ґрунт. Кількість ВР, необхідної для ущільнення одиниці площі, визначається за формулою:

$$Q = \frac{\lg n}{bl} = \frac{qn}{b} \quad (14)$$

З іншого боку, при ущільненні цієї ділянки просадного масиву плоским зарядом для визначення маси заряду маємо формулу (13). Прирівнюємо вирази (13) та (14), отримаємо:

$$H \left( \frac{\varepsilon_k}{k_0} \right)^{1/\mu_0} = \frac{qn}{b} \quad (15)$$

Звідки визначаємо величину  $q$

$$q = \frac{Hb}{n} \left( \frac{\varepsilon_k}{k_0} \right)^{1/\mu_0} \quad (16)$$

Відзначимо, що показник  $n$  визначається як ціла частина співвідношення  $b/a$ , де  $a$  – відстань між циліндричними зарядами. Ця відстань визначається з критерію формування плоского фронту і становить  $a=0,5H$ .

Таким чином, формула (16) буде мати вигляд:

$$q = 0.5H^2 \left( \frac{\varepsilon_k}{k_0} \right)^{1/\mu_0}, \text{ кг / м} \quad (17)$$

При проектуванні ущільнення ґрунтів з використанням енергії вибуху необхідно враховувати дані інженерно геологічних і гідрогеологічних досліджень. У числі вихідних даних для проектування за основні характеристики, що враховують чутливість ґрунтового масиву до динамічних впливів, необхідно отримати такі дані:

- тип ґрунтових умов;
- фізико-механічні властивості ґрунтів;
- потужність ущільненої товщі;
- рівень ґрунтових вод і прогноз очікуваної зміни ґрунтових вод;
- граничну структурну міцність ґрунту;

Отже, перевагою проходження траншейних виробок вибухом системи свердловинних зарядів, крім основного технологічного завдання, є формування в оточуючому масиві ущільненої зони, яка забезпечує підвищену стійкість траншеї та запобігає фільтрації в траншею ґрунтової вологи.

Запропонований параметр  $a$  критерію формування плоского фронту дозволить отримати при розрахунках рівномірний розподіл поля напружень в ґрунтовому масиві і тим самим досягти його рівномірного ущільнення з поверхні на необхідну глибину ґрунтового масиву.

Таким чином, застосування вибухових технологій дозволить не тільки скоротити час спорудження окопів, а й підвищити їх якість за рахунок ущільненої зони в ґрунті, а також забезпечить високу несучу здатність ґрунтів для спорудження на них залізобетонних захисних будівель тривалого використання.

Перспективним також може бути застосування для розмінування місцевості шляхом човникового переміщення ствола з вибуховою піною уздовж фронту робіт протяжністю 100–200 м (за один цикл з покриттям шару піносуспензії 50–70 мм смужки ґрунту завширшки 5–10 м і подальшим підриванням вибухового композиту ниткою ДШ); для ущільнення ґрунту злітних смуг на польових аеродромах шляхом переміщення пінного ствола уздовж злітної смуги з покриттям шару піносуспензії в 50–100 мм смужки ґрунту завширшки 5–10 м і підриванням вибухового композиту ниткою детонаційного шнура.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Прикладна геодинаміка вибуху в гірництві та геотехнічному будівництві / Кравець В.Г., Вовк О.О., Котенко В.В., Терентьев О.М. Житомир: ЖДТУ, 2012. 156 с.
2. Геодинамика взрыва и ее приложения / Вовк А.А., Кравець В.Г., Лучко И.А., Михалюк А.В. Киев: Наук. Думка, 1981. 296 с.

© Kravets Victor, Boiko Victor, Han Anatolii, Han Olena, Marchenko Olexandr, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2\(61\).14](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2(61).14)

Issue 2(61) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

3. Вплив техногенних динамічних процесів на стан природних і інженерних об'єктів / Вовк О.О. (мол.), Кравець В.Г., Ісаєнко В.М., Вовк О.О. (ст.), Ремез Н.С. Нац. пед-т ім. М.П. Драгоманова. К.: Вид-во НПУ, 2014. 404 с.
4. Поведение грунтов под действием импульсных нагрузок / Вовк А.А., Замышляев Б.В., Евтерев Л.С., Белинский И.В., Михалюк А.В. Киев: Наук. думка, 1984. 285 с.
5. *Кравець В. Г., Лучко И. А., Михалюк А. В.* Использование энергии взрыва в мелиоративном строительстве. М.: Недра, 1987. 290 с.
6. *Шашенко О.М., Майхерчик Т., Сдвижкова О.О., Шашенко О.М.* Геомеханічні процеси у породних масивах. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. 319 с.
7. *Бойко В.В.* Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи у кар'єрах України. К.: ТОВ. "Видавництво Сталь", 2012.184 с.
8. *Кравець В.Г., Вапнічна В.В.* Формування вибухової виїмки та ущільненої зони в ґрунті в присутності пластичного елемента. Вісник Житомирського Державного технологічного університету. Серія "Технічні науки". Житомир: Вид. ЖІТІ, 2007. № 4 (43). С. 134–138.
9. *Кравець В.Г., Вапнічна В.В., Соколовська А.Б., Шепітчак О.В.* Формування протифільтраційного екрану вибухом системи зарядів в структурно нестійких ґрунтах. Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво". К.: НТУУ "КПІ": ЗАТ "Техновибух". 2008. Вип. 16. С. 61–67.

## REFERENCES

1. *Kravets, V.H., Vovk, O.O., Kotenko, V.V., Terentyev, O.M.* (2012) Prykladna heodynamika vybukhu v hirnytvstvi ta heotekhnichnomu budivnytstvi. "Applied Geodynamics of Explosion in Mining and Geotechnical Construction". Zhytomyr: ZhSTU. 156 p. [in Ukrainian].
2. *Vovk, A.A., Kravets, V.G., Luchko, I.A., Mikhalyuk, A.V.* (1981) Geodinamika vzryva i yeye prilozheniya. "Explosion Geodynamics and Its Applications". Kiev: Nauk. Dumka. 296 p. [in Russian].
3. *Vovk O.O.(Junior), Kravets, V.H., Isayenko, V.M., Vovk O.O.* and others (2014) Vplyv tekhnohennykh dynamichnykh protsesiv na stan pryrodnykh i inzhenernykh obyektiv. "Influence of Technogenic Dynamic Processes on the State of Natural and Engineering Objects". K.: NPU Publishing House. 404 p. [in Ukrainian].
4. *Vovk, A.A., Zamyshlyayev, B.V., Evterev, L.S., Belinsky, I.V., Mikhalyuk, A.V.* (1984) Povedeniye gruntov pod deystviyem impulsnykh nagruzok. "Behavior of Soil under Impulse Loads". Kiev: Nauk. Dumka. 285 p. [in Russian].
5. *Kravets, V.G., Luchko, I.A., Mikhalyuk, A.V.* (1987) Ispolzovaniye energii vzryva v meliorativnom stroitelstve. "Use of Explosion Energy in Land Reclamation Construction. M.: Nedra. 290 p. [in Russian].
6. *Shashenko, O.M., Maykherchik, T., Sdvyzhkova, O.O.* and others (2005) Heomekhanichni protsesy u porodnykh masyvakh. "Geomechanical Processes in Rock Massifs". Dnipropetrovsk: National Mining University. 319 p. [in Ukrainian].
7. *Boiko, V.V.* (2012) Problemy seysmichnoyi bezpeky vybukhovoyi spravy u karyerakh Ukrayiny. "Problems of Seismic Safety of Explosives in Quarries of Ukraine". K. 184 p. [in Ukrainian].
8. *Kravets, V.H., Vapnichna, V.V.* (2007) Formuvannya vybukhovoyi vyimky ta ushchilnenoyi zony v ґрунті v prysutnosti plastychnoho elementa. "Formation of an Explosive Excavation and a Compacted Zone in the Soil in the Presence of a Plastic Element". Bulletin of Zhytomyr State Technological University 4 (43), 134–138 [in Ukrainian].
9. *Kravets, V.H., Vapnichna, V.V., Sokolovska, A.B., Shepitchak, O.V.* (2008) Formuvannya protyfiltratsiynoho ekranu vybukhom systemy zaryadiv v strukturno nestyikykh gruntakh. "Formation of an Anti-Filtration Screen by Explosion of a System of Charges in Structurally Unstable Soils". Bulletin of NTUU "KPI", 16, 61–67 [in Ukrainian].

**Kravets Victor**, Doct. Sci. (Engineering), professor of the Department of Geoengineering of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky”, Kyiv, Ukraine, ORCID ID 0000-0002-5231-0778

**Boiko Victor**, Doct. Sci. (Engineering), professor of the Research Lab for Seismic Safety of Technological Explosions of the Institute of Hydromechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, ORCID ID 0000-0003-3443-1688

**Han Anatolii**, Cand. Sci. (Engineering), associate professor of the Department of Geoengineering of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky”, Kyiv, Ukraine, ORCID ID 0000-0003-0832-1338

**Han Olena**, engineer of the Department of Geoengineering of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky”, Kyiv, Ukraine, ORCID ID 0000-0003-0739-9600

**Olexandr Marchenko**, Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher of the State Research Institute MIA Ukraine, Kyiv, Ukraine, ORCID ID 0000-0003-2209-1276

## APPLICATION OF EXPLOSION ENERGY DURING SPECIAL MINING AND CONSTRUCTION WORKS

Research article considers the need to improve the quality and reduce the time of construction of protective structures in the area of the Joint Forces Operation.

The construction of protective structures is a very labor-intensive and time-consuming process, therefore reducing of the time of work and improvement of their implementation is an urgent task for today. An effective way to solve it should be use of the experience gained in the mining and construction industry.

Progress is determined primarily by the introduction of the latest scientific advances in production, industrial, civil engineering and in the performance of special purposes. The main scientific directions are the study of patterns and means of forming the stress state of the soil in interaction with natural, man-made, static and dynamic influences in the presence of mine workings, ground and underground structures.

A significant number of production processes is based on the use of explosive energy to destroy, compact or move soils and rocks.

Dynamic loads on rocks as a result of the explosion of the explosive charge form the basis of many technologies or individual technological processes of destruction, compaction or movement of rock around the charge. Among the most important

blasting technologies, based on the results of research in the applied sections of the geodynamics of the explosion, noteworthy are the mining and construction methods of obtaining engineering structures or their individual elements in non-rock formations.

Paper analyzes and substantiates the feasibility of using explosive technologies for efficient and rapid construction of protective buildings (trenches, dugouts, etc.) and preparation of sites with improved properties for the construction of long-term reinforced concrete protective structures.

Schemes and engineering calculations of trench formation by explosion of a number of well charges are given. It is determined that the main parameter of the trench depends on the diameter of a single cylindrical cavity. An important advantage of the explosive method of forming a trench work is the presence of an adjacent compacted zone, which provides not only increased stability of the sides of the trench, but also protection against soil moisture filtration. Therefore, in addition to obtaining trench excavation, the explosion must solve the problem of achieving a uniform and effective compaction of the soil along the entire depth of the surrounding massif.

Schemes and formulas for engineering calculations of the mechanism of formation of the flat front of the blast wave in porous (loess) soils for the purpose of soil compaction for the construction of protective reinforced concrete structures on it are also given. It is noted that according to the given formulas it is possible to solve the problem of surface treatment of the soil massif in order to:

- compaction of the surface layer of structurally weak (for example, loess subsidence) soil or at the base of a responsible ground or underground structure, or to compact the soil of runways at field aerodromes;

- dynamic processing of certain areas for rapid demining by covering the surface with strips of explosive foam suspension 50–100 mm thick and 5–10 mm wide with detonation of the explosive composite with a thread of detonation cord.

**Keywords:** mining and construction industry, soil, explosive technologies, compaction of soil massifs, safety of behavior, efficiency of application.

Отримано 11.05.2020