

**СЕЙСМОБЕЗПЕКА БУДІВЕЛЬ І СПОРУД
ПРИ ВИКОНАННІ ВИБУХОВИХ РОБІТ НА КАР'ЄРАХ**

За результатами вимірів характеру розподілу сейсмічних хвиль при проведенні масових вибухів в умовах кар'єрів будматеріалів проведені дослідження з удосконалення існуючого прогнозу для будівель, ослаблених тріщинами, для визначення і порівняння з нормативними допустимими швидкостями коливань ґрунту в підвалинах будівель у т. ч. ослаблених тріщинами з урахуванням частотних характеристик системи "ґрунт–споруда".

Постановка проблеми. На густозаселеній території України особливо гостро стоїть питання сейсмобезпечної експлуатації будівель розташованих поблизу проведення підірвних робіт, оскільки недостатня вивченість негативних динамічних впливів, що виникають від дії сейсмічних імпульсів на будівлі різного технічного стану, не дає можливості прогнозувати їх реальну сейсмобезпечність до і після проведення підірвних робіт. Це пов'язано з тим, що оцінка сейсмічної дії на будівлі, відповідно до існуючої нормативної документації, проводиться лише за допустимою масовою швидкістю коливань незалежно від їх технічного стану і амплітудно-частотних характеристик системи "ґрунт–споруда".

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні єдиним офіційним нормативним документом з визначення радіуса сейсмобезпечної відстані для будівель і споруд при проведенні вибухових робіт на кар'єрах є "Єдині правила безпеки при веденні вибухових робіт" (ЄПБ) [1]. Останні не враховують повною мірою умови й особливості поширення хвиль, а також ослаблення тріщинами будівель і споруд, які перебувають у зоні інтенсивного впливу сейсмовибухових хвиль (СВХ). У той час як значення припустимої швидкості зсуву ґрунту в підваліні охоронюваної будівлі залежить, крім усього іншого, від її стану і спектральної характеристики, але ні ЄПБ, ні іншими літературними даними [1–3] не передбачено функціональної залежності припустимої швидкості коливань від зазначених факторів. Є тільки одне "вольове" бажання фахівців вибухової справи – що якщо є деформації в будівлі, то безпечну відстань треба збільшити не менш ніж у 2 рази, незалежно від обсягу порушень в конструкції будівлі. У такий спосіб використання існуючих нормативів оцінки сейсмобезпеки будівель різного технічного стану при техногенних вибухах не завжди забезпечує їх сейсмобезпечну надійну експлуатацію тому, що не враховує повною мірою умов і особливостей поширення хвиль, а також ослаблення тріщинами будівель і споруд, які перебувають у зоні інтенсивного впливу СВХ.

Такий підхід до визначення рівня сейсмобезпеки об'єкта веде найчастіше до невиправданих економічних витрат, а іноді й до помилкових визначень стійкості охоронного об'єкта, особливо тоді, коли він потрапляє в резонансну область коливального процесу.

Мета роботи. Опрацювання надійних оцінок сейсмобезпеки будівель різного технічного стану з урахуванням частоти їх власних коливань і коливань ґрунтової основи, збуджених сейсмічною дією промислових вибухів з метою сейсмобезпечною проведення підірвних робіт у кар'єрах.

Викладення основного матеріалу. У зв'язку з цим при розробці рекомендацій із сейсмобезпечною ведення вибухових робіт проводилися дослідження з удосконалення існуючого прогнозу для споруд, ослаблених тріщинами. Для запису параметрів сейсмовибухових хвиль (СВХ), які виникають в результаті масових вибухів, параметрів швидкості коливань як на ґрунті, так і на самій споруді застосовувалася сучасна сейсмореєструюча апаратура: сейсмоприймач СМ-3 і СМ-3В (вертикальна складова), як реєстратор використовувалися швидкодіючі цифрові перетворювачі Е-140 і Е-440, підключені до ПК типу ноутбук. При цьому вирішувалися такі завдання:

- вивчення впливу СВХ на сейсмостійкість споруд ослаблених тріщинами;
- визначення припустимої швидкості коливань ґрунту в підвалах будівель у т. ч. ослаблених тріщинами, з урахуванням частотних характеристик системи "ґрунт–споруда";
- визначення сейсмобезпечних параметрів вибухових робіт з урахуванням проведених досліджень.

В результаті вирішення поставлених завдань встановлені особливості переходу сейсмічної хвилі з ґрунту в споруду, які полягають у тому, що інтенсивність впливу СВХ на споруду, крім основного критерію сейсмічної небезпеки споруди, швидкості зсуву ґрунту, залежить від відношення T/T_0 (T – період коливання ґрунту, T_0 – період власних коливань будівлі). Якщо відношення T/T_0 мале, то амплітуда зсуву конструкцій споруди щодо амплітуди зсуву підвалини буде порівняно невеликою. При значеннях T близьких до T_0 амплітуда коливань досягає максимуму і може перевищити амплітуду коливань ґрунту в кілька разів (резонансне явище).

Приблизно такими якісними викладеннями взаємодії СВХ і конструкцій будівель закінчуються дослідження цього питання в зазначених вище роботах [1–3]. Таблиці допустимих швидкостей коливань

грунту в підвалинах охоронних об'єктів складаються на основі досліджень без врахування частотної характеристики коливального процесу системи "грунт–споруда". Такий підхід до визначення безпечних параметрів сейсмічних коливань веде до збільшення інтенсивності впливу СВХ на охоронний об'єкт і не гарантує безпеки останнього.

Допустима швидкість зсуву часток ґрунту біля фундаменту споруди без тріщин (см/с) з урахуванням періоду коливань ґрунту і власних коливань будівлі, визначається на основі практичних результатів вимірювань і виражається залежністю [3]:

$$U_{\text{доп}} = U_0 \cdot \frac{T_0^2}{T_{\text{см}}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\lambda_{\text{см}}}} : \left[\left(1 - \frac{T^2}{T_0^2}\right)^2 + \frac{4\lambda^2}{\pi^2 + \lambda^2} \cdot \frac{T^2}{T_0^2} \right]^{-1/2}, \text{ см/с}, \quad (1)$$

де U_0 – допустима швидкість зсуву часток ґрунту (см/с) біля фундаменту будівлі без врахування частотних характеристик системи "грунт–споруда"; T_0 – період власних коливань будівлі, с; $T_{\text{см}}$ і $\lambda_{\text{см}}$ – відповідно період власних коливань і логарифмічний декремент загасання стандартного маятника ($T_{\text{см}} = 0,25$ с; $\lambda_{\text{см}} = 0,5$);

Для визначення допустимої швидкості зсуву ґрунту (см/с) у підвалині споруди, ослабленої тріщинами в несучих конструкціях, і з урахуванням частотних характеристик коливань ґрунту і власних коливань будівлі отримана залежність:

$$U_{\text{доп}} = \frac{K_g \cdot \sigma \cdot K_{\text{осл}} \cdot \psi}{\rho \cdot V_p \cdot K}, \quad (2)$$

де K_g – коефіцієнт пропорційності і стійкості споруди, $K_g = 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot (r/Q^{1/3})^{1,5}$; σ – допустиме напруження для будівельного матеріалу або зв'язків між окремими елементами споруди, для яких визначається припустима швидкість зсуву, кг/см²; $K_{\text{осл}}$ – коефіцієнт ослаблення міцності зазначеного вище елемента споруди при наявності в ньому залишкових деформацій (тріщин, пор тощо); ψ – коефіцієнт втрати енергії при поширенні по споруді коливального процесу (для цегельної будівлі $\psi = 0,6$, будівлі з великих шлакоблоків $\psi = 0,7$); ρ – щільність ґрунту в підвалині будівлі; V_p – швидкість поширення поздовжньої хвилі в ґрунті, см/с; K – коефіцієнт враховуючий частоти власних коливань будівлі і коливань ґрунту.

Допустимі напруження для цементно-вапняної штукатурки 0,9 кг/см², для цегельної кладки (стіни) на цементі М50 – 4,3 кг/см², для кладки з великих шлакоблоків – 7 кг/см².

Приведена до маси заряду відстань від місця вибуху $r/Q^{1/3}$, вибирається за сейсмічною шкалою для вибухів і відповідає бальності, яка не спричиняє порушень і ушкоджень тих елементів споруди, для яких за формулою (1) визначається допустима швидкість коливання.

Коефіцієнт ослаблення міцності елементів споруди визначається з урахуванням коефіцієнта тріщинуватості несучих стін:

$$K_{\text{осл}} = (1 - A \cdot K_{\text{Тр}})^2, \quad (3)$$

де A – коефіцієнт, який враховує форму деформації; $K_{\text{Тр}}$ – коефіцієнт тріщинуватості, розглянутого об'єкта (визначається на основі інвентаризації охоронних об'єктів):

$$K_{\text{Тр}} = \frac{V_{\text{Тр}}}{V_0 + V_{\text{Тр}}}, \quad (4)$$

де $V_{\text{Тр}}$ – обсяг всіх тріщин несучої стіни, м³; V_0 – обсяг несучої стіни, м³.

Для оперативності визначення припустимої швидкості коливань ґрунту в підвалі будівлі згідно з (2) розроблена номограма, що наведена на рисунку 1. Стрілками показаний порядок виконання операцій.

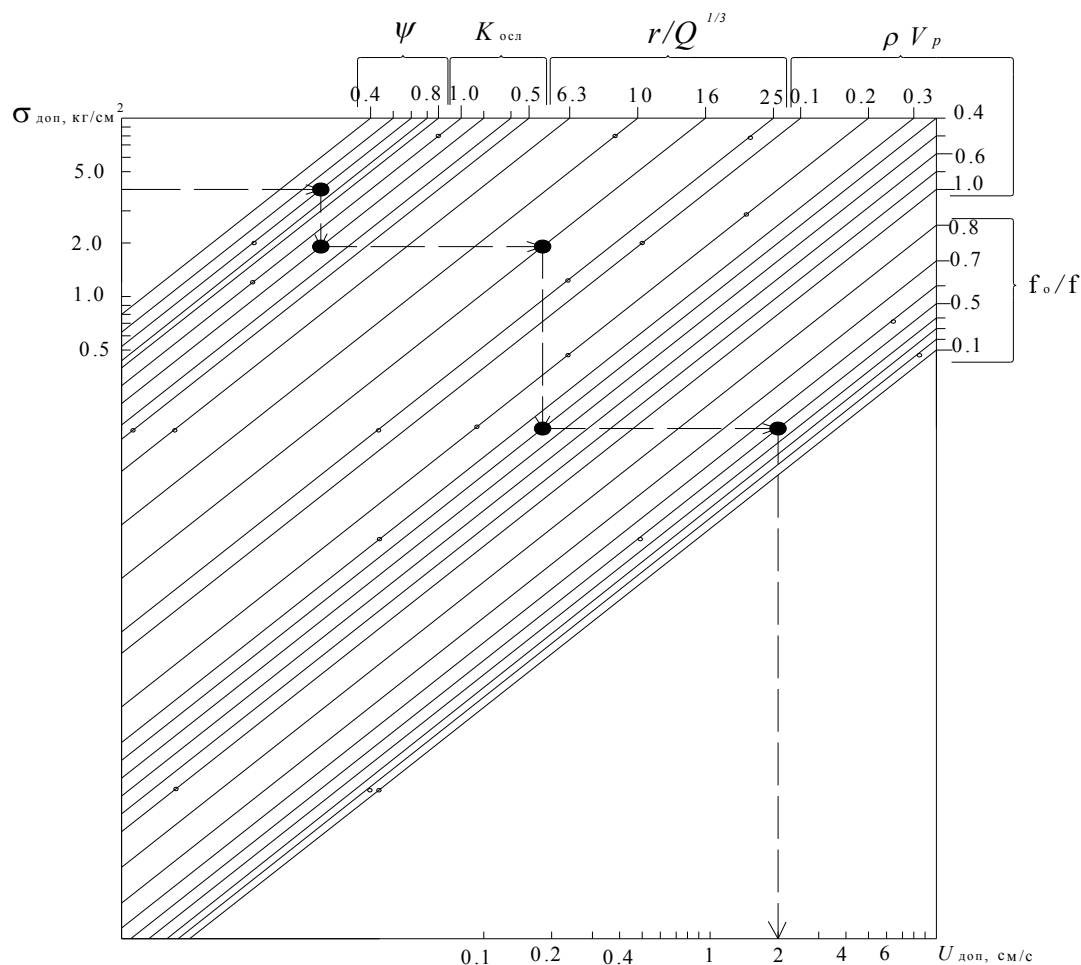


Рис. 1. Номограма визначення припустимої швидкості коливань ґрунту в підвалі будівлі згідно з (2)

Частота (період) власних коливань споруд $f_0(T_0)$ визначається з осцилограми, отриманої при сейсмометричних вимірах або за формулою:

$$T_0 = 0,265 (h/\epsilon)^{0,265}, \quad (5)$$

де h – висота споруди, м; ϵ – ширина, м.

Період коливань ґрунту для різних типів хвиль визначають за осцилограмою або за формулами:

– під час вибуху свердловинних зарядів у повздовжній пружній хвилі:

$$T_p = K_p \cdot Q_l^{1/6} (0,01l + 1), \quad (6)$$

– у поверхневій хвилі:

$$T_R = K_R \cdot Q_l^{1/6} (0,015l + 1)(r/Q^{1/3})^\nu, \quad (7)$$

де K_p , K_R , ν – експериментальні коефіцієнти, значення яких, наприклад, для граніту 0,01, 0,012, 0,38 відповідно; Q_l – лінійна маса свердловинного заряду, кг/м; l – довжина свердловинного заряду, м; r – відстань від місця вибуху до пункту спостереження, м; Q – маса одного свердловинного заряду, кг.

Аналіз частотних характеристик сейсмічних хвиль при технологічних і спеціальних вибухах показує, що, в основному, періоди максимальних амплітуд об'ємних СВХ перебувають у діапазоні 0,025–0,2 с (частота 5–40 Гц) при розташуванні місця вибуху і пункту спостереження за коливаннями СВХ у тому самому ґрунті, а власні періоди коливань більшості будівель і споруд – 0,2–0,4 (2,5–5 Гц). Графіки уточнених (перелічених) припустимих швидкостей зсуву часток ґрунту з урахуванням частотних характеристик коливань ґрунту і власних коливань будівлі без тріщин наведені на рисунку 2.

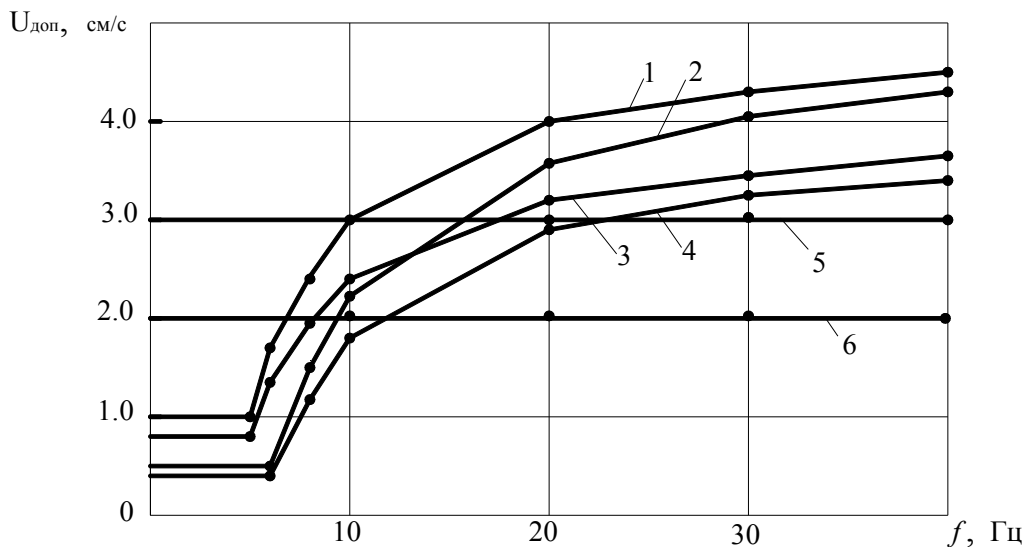


Рис. 2. Графіки визначення норм допустимої швидкості зсуву ґрунту в підвалах різного типу і технічного стану споруди від частоти коливань у СВХ:
 1, 2 – цегельні ($f = 4$ Гц) і саманні ($f = 5,5$ Гц) будівлі, відповідно, які не мають залишкові деформації;
 3, 4 – те ж ослаблені тріщинами ($K_{осл} = 0,8$);
 5, 6 – допустимий рівень інтенсивності коливань для цегельних і саманних будівель, відповідно, існуючих нормативних даних

Використовуючи значення допустимої швидкості зсуву ґрунту в підвалах будівель, ослаблених тріщинами ($U_{доп}$, см/с), отримане за формулою (2), і на підвалі рисунка 1, представляється можливим визначити максимально допустиму масу заряду, який вибухає одночасно в групі, при технологічних вибухах за методом зосередженого заряду:

$$Q_{доп} = \left(\frac{U_{доп}}{K} \right)^{3/n} \cdot r^3, \quad (8)$$

або сейсдобезпечна кількість свердловинних зарядів розосереджених в одному ряді (в одному ступені сповільнення) при масовому вибуху:

$$N_c = \frac{U_{доп}}{k} \left(\frac{r}{Q_{эф}^{1/3}} \right)^n, \quad (9)$$

де K – коефіцієнт пропорційності, що враховує умови підривання і поширення СВХ; r – відстань від місця вибуху до охоронного об'єкта, м; $Q_{эф}$ – ефективна маса окремого свердловинного заряду (кг) з ряду розосереджених зарядів; n – показник загасання СВХ з відстанню.

Висновки. В результаті виконаних досліджень розроблені методики, які дозволяють точніше оцінити припустимі норми інтенсивності впливу СВХ на будівлі і споруди, у тому числі такі, що ослаблені тріщинами.

Результати досліджень були використані для розробки національних стандартів України за нормами сейсмічної безпеки щодо визначення припустимих швидкостей коливань ґрунтів у підвалах будівель, у тому числі ослаблених тріщинами, з урахуванням частотних характеристик сейсмовибухових хвиль у системі "ґрунт–споруда".

Список використаної літератури:

1. Единые правила безопасности при взрывных работах. – К. : Норматив, 1992. – 171 с.
2. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – Т. 1. – М. : Физматлит, 2002. – 832 с.
3. Бойко В.В. Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи у кар'єрах України : монографія / В.В. Бойко. – К. : ТОВ "Видавництво Сталь", 2012. – 184 с.
4. Мобильная измерительная лаборатория / В.В. Бойко, В.А. Лемешко, В.В. Бойко и др. // Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – К., 2006. – Вып. 1. – С. 30–31.
5. Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки ДСТУ 4704:2008 (Національний стандарт України). – К. : Держспоживстандарт України, 2009.

ХЛЕВНЮК Тамара Вікторівна – кандидат технічних наук, Інститут гідромеханіки НАН України.

Наукові інтереси:
– підвищення надійності оцінки сейсмобезпеки будівель різного технічного стану при техногенних вибухах.
Тел.: (044) 453–26–69.
E-mail: sceismic-control@yandex.ru

Стаття надійшла до редакції 28.02.2013