

УДК 622.235.432

СЕЙСМОБЕЗПЕКА БУДІВЕЛЬ ТА КАРСТОВИХ ПОРОЖНИН ПІД НИМИ ВІД ПРОВЕДЕННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ У КАР'ЄРАХ

Н. І. Жукова

Національний технічний університет України «КПІ»
вул. Борщагівська, 115, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: NataliaZ127@ukr.net

В. В. Бойко, А. О. Кузьменко, О. М. Чала

Національна академія наук України, Інститут гідромеханіки
вул. Желябова, 8/4, м. Київ, 03680, Україна. E-mail: seismic-control@yandex.ru

Здійснено аналітичну і експериментальну оцінку сейсмічної дії вибухових робіт в умовах кар'єрів і сейсмобезпеки будівель і карстових порожнин під ними, розташованих на прилеглий до кар'єру території. Визначено сумісний вплив сейсмічних хвиль і тиску власної ваги поверхневої будівлі й маси навколишнього ґрунту на деформування стелі карстової порожнини, розташованої вище та нижче нижньої границі товщі порід. Встановлені норми критеріїв сейсмобезпеки, за якими розраховуються параметри підривних робіт, що не призводять до перевищення встановлених допустимих норм для будівель та карстових порожнин за інтенсивністю сейсмічних хвиль. Розроблена і перевірена в промислових умовах на Щирецькому гіпсовому кар'єрі ВАТ «Миколаївцемент» комплексна методика розрахунку максимально-допустимих обмежень маси вибухових речовин з урахуванням статичних і динамічних навантажень на охоронні об'єкти, які не створюють перевищень допустимих норм як для конструкцій будівель, так і для карстових порожнин під ними.

Ключові слова: кар'єр, допустимі маси зарядів, сейсмовимірювальні роботи, масові вибухи, ґрунтовий масив, карстові порожнини, швидкість коливань, сейсмобезпека.

СЕЙСМОБЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ ПОД НИМИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРАХ

Н. И. Жукова

Национальный технический университет Украины «КПИ»
ул. Борщаговская, 115, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: NataliaZ127@ukr.net

В. В. Бойко, А. А. Кузьменко, О. Н. Чала

Национальная академия наук Украины, Институт гидромеханики
ул. Желябова, 8/4, г. Киев, 03680, Украина. E-mail: seismic-control@yandex.ru

Осуществлена аналитическая и экспериментальная оценка сейсмического воздействия взрывных работ в условиях карьеров и сейсмобезопасности зданий и карстовых полостей под ними, расположенных на прилегающей к карьеру территории. Определены совместное влияние сейсмических волн и давления собственного веса поверхностного здания и массы окружающего ґрунта на деформирование потолка карстовой полости, расположенной выше и ниже нижней границы толщи пород. Установлены нормы критериев сейсмобезопасности, по которым рассчитываются параметры взрывных работ, которые не приводят к превышению установленных допустимых норм для зданий и карстовых полостей по интенсивности сейсмических волн. Разработана и проверена в промышленных условиях на Щирецком гипсовом карьере ОАО «Николаевцемент» комплексная методика расчета максимально допустимых ограничений массы взрывчатых веществ с учетом статических и динамических нагрузок на охранные объекты, не создающих превышений допустимых норм как для конструкций зданий, так и для карстовых полостей под ними.

Ключевые слова: карьер, допустимые массы зарядов, сейсмоизмерительные работы, массовые взрывы, ґрунтовый массив, карстовые полости, скорость колебаний, сейсмобезопасность.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Одним з основних напрямків у галузі підривних робіт на гіпсових кар'єрах України є забезпечення сейсмобезпеки промислових і цивільних об'єктів, розташованих на і поза територією гірничих підприємств. Основними об'єктами, що потребують захисту, є будівлі й карстові порожнини під ними. Стійкість останніх залежить як від статичного тиску будівлі й гірського масиву, так і від динамічних (вибухових) навантажень, що багаторазово діють на ці об'єкти.

Тому метою роботи є розробка методу розрахунку сейсмобезпечних параметрів масових вибухів у кар'єрі з урахуванням статичних сил і динамічних дій сейсмовибухових хвиль, що забезпечить сеймостійкість навколишніх наземних будівель і карстових порожнин під ними від проведення промислових вибухів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для досягнення мети поставлено та вирішено такі задачі дослідження:

– на основі сейсмовимірювальних робіт при проведенні масових вибухів (МВ) у Щирецькому гіпсовому кар'єрі одержані амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) сейсмовибухових хвиль (СВХ) і проаналізовано їх вплив на стійкість житлових будівель с. Піски і карстових порожнин, які розташовані під ними;

– проведена оцінка сумісного впливу сейсмічної дії вибухових хвиль та тисків від ваги поверхневої будівлі й ґрунтів навколо карстової порожнини на її стінки;

– встановлені критерії стійкості охоронних об'єктів (житлові будівлі, карстові порожнини), визначені їх необхідні кількісні норми для гарантування безпечного проживання місцевого населення;

– розроблені рекомендації для Щирецького гіпсового кар’єру щодо параметрів підривних робіт, що дозволяють прогнозувати сейсмобезпеку кар’єрних вибухів відносно охоронних об’єктів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити дві задачі механіки гірських порід. *Перша* – статична – полягає в розрахунку деформацій, які не призводять до порушення стійкості карстових порожнин в активній зоні наземних споруд, за СНиП 2.02.01–83 і ДБН В.2.1–10–2009, із використанням розрахункової схеми у вигляді пружного лінійно-деформованого напівпростору і шару кінцевої товщини [1–3]. *Друга* – динамічна – для забезпечення стійкості будівлі над карстом від дії сейсмічних хвиль, створених кар’єрними вибухами, у відповідності з рекомендаціями ДСТУ 4704:2008 [4]. Поєд-

нання цих двох задач дає можливість провести оцінку сумісного впливу сейсмічної дії та тисків ваги поверхневої будівлі і ґрунтів над карстовою порожниною на деформування її стінок. Характерні схеми розміщення будівлі і карстової порожнини відносно лінії НГСТ наведено на рис. 1,а,б.

Для розв’язання статичної задачі осідання основи фундаменту відповідно до рекомендацій СНиП і ДБН визначалось методом пошарового підсумовування осідань окремих шарів у межах товщі основи, що стискується, а також в активній зоні деформацій основ до лінії НГСТ в аналогічних умовах. Щодо карстових порожнин, то на практиці вони можуть знаходитись в активній зоні будинків до (рис. 1,а) і нижче (рис. 1,б) лінії НГСТ.

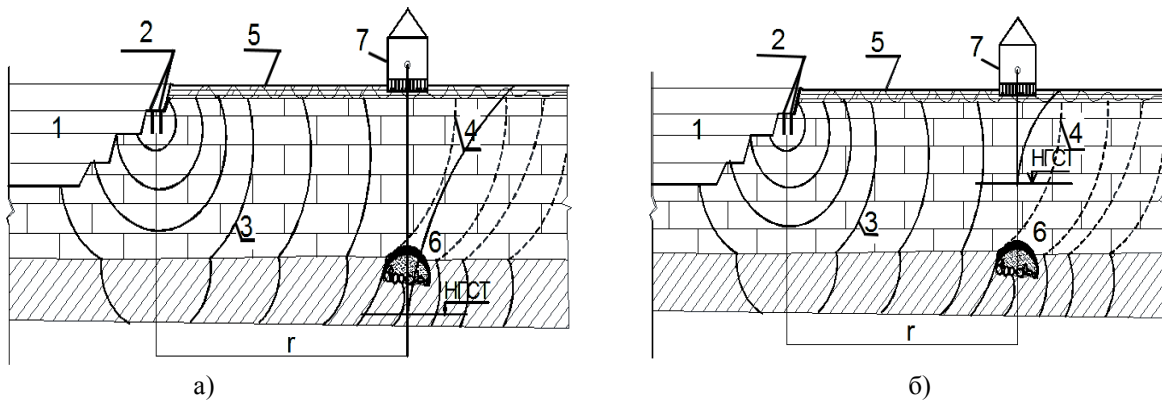


Рисунок 1 – Схеми розміщення будівлі та карстової порожнини відносно лінії НГСТ: а) карстова порожнина розташована в активній зоні будинку до лінії НГСТ на глибині h ; б) карстова порожнина розташована в активній зоні нижче лінії НГСТ на глибині h ; 1 – кар’єр; 2 – блок, що підривається; 3–5 – відповідно фронти поширення об’ємних, відбитих і поверхневих хвиль; 6 – карстова порожнина; 7 – будівля

Розглядаючи схеми, наведені на рис. 1, слід відмітити, що у випадку, коли наземна будівля розташована над карстовою порожниною, яка знаходиться вище лінії НГСТ, то їх сейсмобезпеку визначатиме сумісна дія статичних і динамічних впливів, а коли карст розташований нижче лінії НГСТ, то лише динамічна дія.

Розв’язання статичної задачі проведемо за критерієм стійкості карстових порожнин. При цьому вертикальний гірський (природний, побутовий) тиск на стінку карстової порожнини від власної ваги порід визначається за формулою, кг/м^2 :

$$P_k = \gamma h, \quad (1)$$

де γ – питома вага породи, кг/м^3 ; h – відносна висота стовпа гірської породи від карстової порожнини до земної поверхні ($h = a / d$, тут a – абсолютна висота гірської породи, м; d – діаметр карстової порожнини, м).

При розрахунку осідання окремо розташованого фундаменту визначалися лінії НГСТ, в межах якої виконувався розрахунок основи за деформаціями. Для графічного знаходження НГСТ необхідно будувати епюри природного $P_{\delta z}$ і додаткового P_{Oz} тисків ґрунту.

Метод прогнозування сейсмобезпечних параметрів вибухів на стінку карстової порожнини заснований на проведенні аналітичних і експериментальних досліджень дії сейсмічних хвиль, викликаних МВ у кар’єрі.

При проведенні аналітичних досліджень швидкість коливань ґрунту сейсмічної хвилі на стінках карстової порожнини становить

$$U_k^x = U_R^x \cdot e^{-1,7h/\lambda}, \quad (2)$$

де U_k^x – швидкість коливань ґрунту сейсмічної хвилі на стінках карстової порожнини, см/с ; U_R^x – швидкість коливань ґрунту поверхневої хвилі в ґрунтовій основі будівлі над карстовою порожниною, см/с ; λ – довжина сейсмічної хвилі, м; h – відстань від карстової порожнини до будівлі на земній поверхні, м.

Напругу на стінці карстової порожнини можливо одержати, використавши відому залежність Ландау–Лівшица:

$$\sigma_k = U_k^x \cdot V_R \cdot \frac{\gamma}{g}, \quad (3)$$

де σ_k – напруга на стінці карстової порожнини, Па; V_R – швидкість поширення сейсмічних хвиль, м/с ; γ – об’ємна вага гіпсу, кг/м^3 ; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Тоді умова рівності статичних і динамічних дій

$$P_k = \sigma_k \cdot \quad (4)$$

При розрахунку основ за деформаціями середній тиск під підшоною фундаменту не повинен перевищувати розрахункового тиску на основу R (кН/м²), який визначався за формулою СНиП 2.02.01–83 й ДБН В.2.1.–10–2009:

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma} k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c c_{II}] \quad (5)$$

де γ_{c1} і γ_{c2} – коефіцієнти умов роботи (табл. 3 [СНиП]); k – коефіцієнт, що приймається за умови коли параметри φ і c не отримані шляхом безпосереднього випробування в лабораторних умовах; M_{γ} , M_q , і M_c – безрозмірні коефіцієнти, що залежать від φ і b (табл. 4 [СНиП]); d_b – глибина підвалу від рівня планування до підлоги підвалу; c_{II} – сила зчеплення ґрунту основи, МПа.

Визначення динамічних впливів від дії сейсмічних хвиль для забезпечення сейсмобезпеки будівлі й карстової порожнини під нею проводилось на основі розв'язання прямих задач експериментального плану із застосуванням закону динамічної подібності та у відповідності з рекомендаціями ДСТУ 4704:2008.

Важливою умовою для розроблення алгоритму розрахунку сейсмобезпеки будівлі й стійкості порожнини під нею є одержання даних експериментального характеру щодо визначення ступеня поглинання інтенсивності сейсмічної хвилі в залежності від типів гірських порід на шляху її поширення. Промислові експерименти з визначення характеру поширення різних типів сейсмічних хвиль по характерних профілях проводились в умовах Щирецького гіпсового кар'єру ВАТ «Миколаївцемент». При цьому використовувалась методика багатоканальної профільної реєстрації коливань в напрямку кар'єр-будівля. Експериментальні вимірювання проводились за профільними лініями протяжністю 1300–1450 м, а розрізи кожного профілю проходили через карстові порожнини в різних азимутальних напрямках в місцях розташування будівель с Піски. Висадження свердловинних зарядів здійснювалось з різними приведеними масами заряду ВР і інтервалами сповільнення в групах із використанням неелектричної системи ініціювання зарядів. Тривалість ініціювання всіх свердловинних зарядів на кожному блоці становила до 1 с, виходячи з потреб виробництва. За даними експериментальних досліджень у кожній точці встановлення сейсмоприймача визначались типи порід, масова швидкість (см/с) та амплітудно-частотний спектр коливань. Для запису параметрів сейсмічних хвиль, які виникали при МВ на гіпсовому кар'єрі, використовувалась апаратура: сейсмоприймачі СМ–3 і СМ–3В, аналогоцифровий перетворювач сигналів АЦП–440 і регістратор ПК типу ноутбук. Апаратура пройшла перевірку в ДП «Укрметртестстандарт» України, одержано свідоцтво

на відповідність кожного засобу вимірювальної техніки вимогам експлуатаційної документації.

Так, наприклад, під час запису параметрів сейсмічних хвиль, які виникли від дії одного із характерних масових вибухів у Щирецькому кар'єрі ВАТ «Миколаївцемент», сейсмоприймачі встановлювались по лінійному профілю довжиною 1450 м у напрямку: блок 2 – крайній відносно кар'єру 1 житловий будинок 7 с. Піски, який був зазначений спеціалістами інституту прикладних проблем екології, геофізики і геохімії [5] як такий, що знаходився в зоні карстоутворення 6 (рис. 1).

Дію коливань ґрунту на об'єкти, що охороняються, можливо оцінити модулем вектора швидкості коливань у вигляді

$$|U| = \sqrt{(U^X)^2 + (U^Z)^2} \quad (6)$$

де U^X – максимальна швидкість коливань за горизонтальною (радіальною) складовою по напрямку: місце вибуху – пункт спостереження; U^Z – вертикальна складова швидкості коливань. Коливання по Y -складовій – незначні за величиною і суттєво не впливають на величину вектора швидкості.

Інтенсивність коливань по X -складовій знаходиться з Z -складовою у співвідношенні

$$U^X = 1,25 U^Z.$$

Таким чином, при експериментальних роботах достатньо одержати дані лише за вертикальною складовою, що простіше й надійніше, оскільки не потребує строгої орієнтації приладу відносно місця вибуху і, крім того, забезпечує стабільні результати, а за вищенаведеним співвідношенням можливо вирахувати X -складову [6].

Необхідною умовою використання формули (6) є наявність значень швидкості коливань за всіма складовими в один і той самий час (у границях $\frac{1}{2}$ періоду) коливального процесу [6, 7].

На рис. 2 наведено сейсмограму коливань ґрунту при масовому вибуху, звідки видно, що максимальні амплітуди коливань ґрунту належать поверхневим низькочастотним (3–4 Гц) хвилям, а в об'ємних високочастотних (16–30 Гц) хвилях амплітуда коливань в 1,5–3,0 рази менша порівняно з поверхневими. На рис. 3 результати спектрального аналізу цих осцилограм представлені у вигляді енергоємних частотних коливань, одержаних біля будівель з карстовими порожнинами під ними.

Незважаючи на те, що частота коливань ґрунту в поверхневих хвилях R практично співпадає з частотою власних коливань будівель, резонансних явищ не спостерігається, розхитування охоронних будівель відсутнє. Це пояснюється короткою дією коливального процесу ґрунту в поверхневій хвилі (близько 1с) на охоронні об'єкти.

Із рис. 3 видно, що енергоємними частотами коливань у районі с. Піски є діапазон низькочастотних коливань 2–4 Гц, що пов'язано як зі значною відстанню поширення сейсмічних хвиль, коли високочастотні коливання інтенсивно затухають, так й із за-

лежністю їх від закарстованості масиву гірських порід, а також від типу ВР, конструкції заряду.

Динамічні характеристики СВХ в пунктах встановлення сейсмоприймачів у районі с. Піски наведено в табл. 1, звідки видно, що під час масового вибуху, який аналізується, швидкість коливань гру-

нту біля будинків у профілі вздовж вулиці становила від 0,019 до 0,03 см/с, що від 10 до шести разів менше 1 балу коливань за Міжнародною шкалою MSK-64 (1 бал прирівнюється до 0,2 см/с), що не перевищує норми ДСТУ 4704:2008.

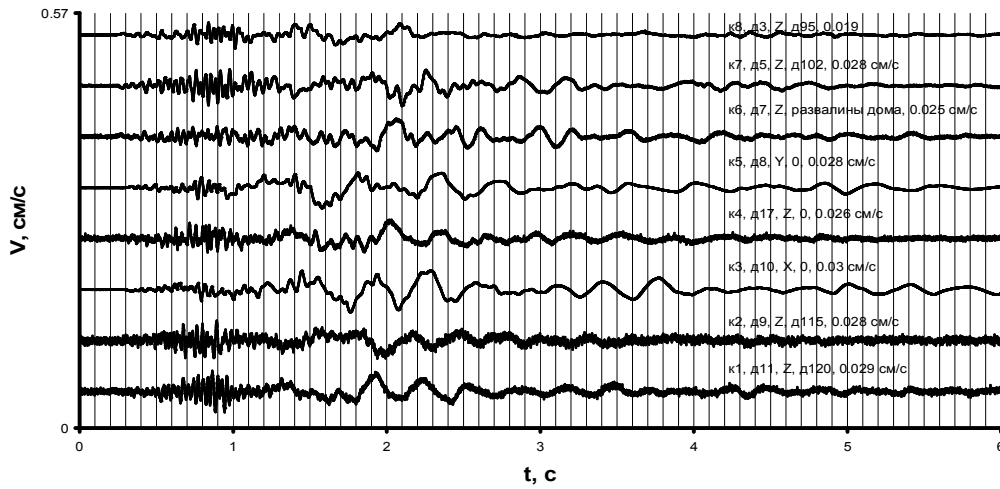


Рисунок 2 – Осцилограма коливань ґрунтової основи будівель с. Піски

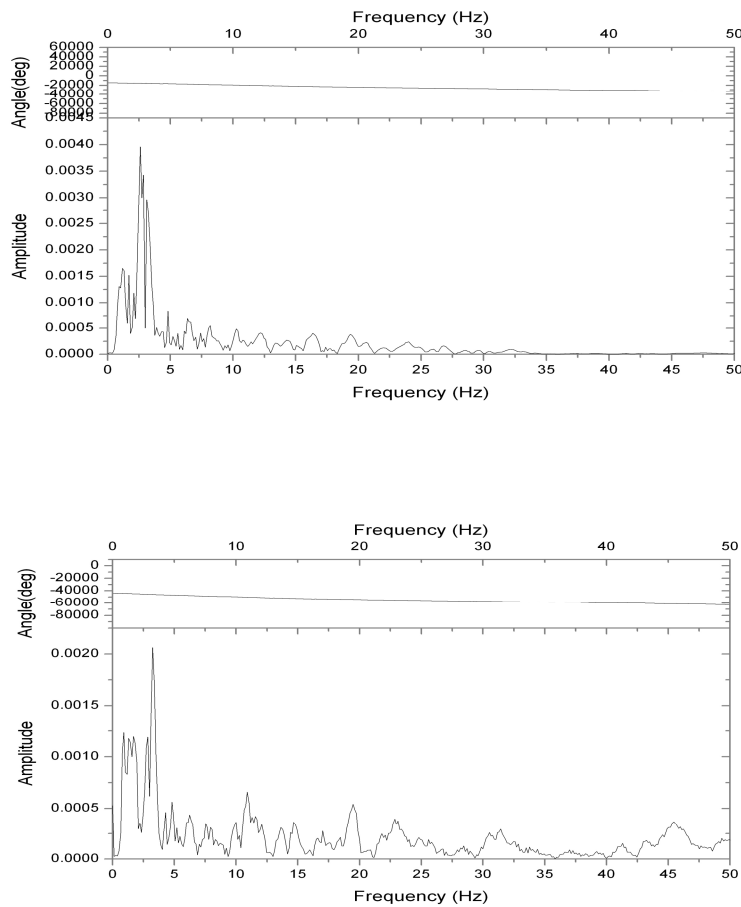


Рисунок 3 – Характерні спектри сейсмічних коливань ґрунту при масовому вибуху в Щирецькому кар'єрі

Таблиця 1 – Характеристики СВХ в районі с. Піски

Відстань від блоку, що підривається, до пункту спостереження, м	Тип сейсмоприймача	№ сейсмоприймача	Складові коливання	Об'ємна хвиля		Поверхнева хвиля			Пункти вимірів в основі будинків №
				Швидкість зміщення ґрунту, см/с	Частота коливань ґрунту, Гц	Швидкість зміщення ґрунту, см/с	Частота коливань ґрунту, Гц	Модуль вектору швидкості зміщення ґрунту, см/с	
1450	СМ-3	3	Z	0,0185	29	0,019	3,2	0,030	95*
1430	“	5	Z	0,0235	30	0,028	3,0	0,045	102*
1425	“	7	Z	0,0145	20	0,025	3,1	0,040	103*
1420	СМ-3В	10	X	0,025	20	0,030	2,9	0,040	106*
	“	8	Y	0,022	21	0,028	3,3		
	СМ-3	17	Z	0,022	23	0,026	3,1		
1350	“	9	Z	0,025	25	0,028	3,0	0,045	115*
1300	“	11	Z	0,030	31	0,029	3,1	0,046	120

Примітка: * – будинки, що знаходяться в зоні карстоутворення.

Також були проведені додаткові сейсмовимірювання масових швидкостей коливань, збуджених дією рухом зі швидкістю 60 км/год сорокатонного автомобіля вздовж вулиці з будинком № 106, біля якого були встановлені сейсмоприймачі. На рис. 4 і 5 наведено осцилограми та спектрограми за складовими z та x відповідно цього експерименту.

Із рис. 4 видно, що інтенсивність коливання знаходиться на рівні, який виникав біля житлових будинків с. Піски при проведенні масового вибуху, розташованому на відстані 1450 м до пунктів реєстрації (табл. 1), а частотний спектр (рис. 5) характеризується як низькими, так і високими частотами. Резонансних явищ не спостерігалось, оскільки час дії коливального процесу в наведеній хвилі короткий і тривав не більше 0,3 с.

Резерв для зменшення інтенсивності сейсмовибухових хвиль міститься в розробці оптимальної схеми КСП, коли кожна свердловина на блоці ініціюється окремо, з оптимальним інтервалом сповільнення (не менше $\frac{1}{2}$ періоду коливань хвилі), а фактично при експериментальному вибуху згідно схеми комутації свердловин з різницею у 10 мс підривалились суміжні свердловини № 8 і № 20, № 7 і № 19 тощо, а такий малий проміжок часу (10 мс) між підриваннями свердловин, як показали заміри параметрів СВХ, майже в 1,5 рази менше $\frac{1}{2}$ періоду коливань хвилі, що дає підстави стверджувати, що фактично відбувається одночасне підривання двох свердловин, і зростає сейсмоефект вибуху.

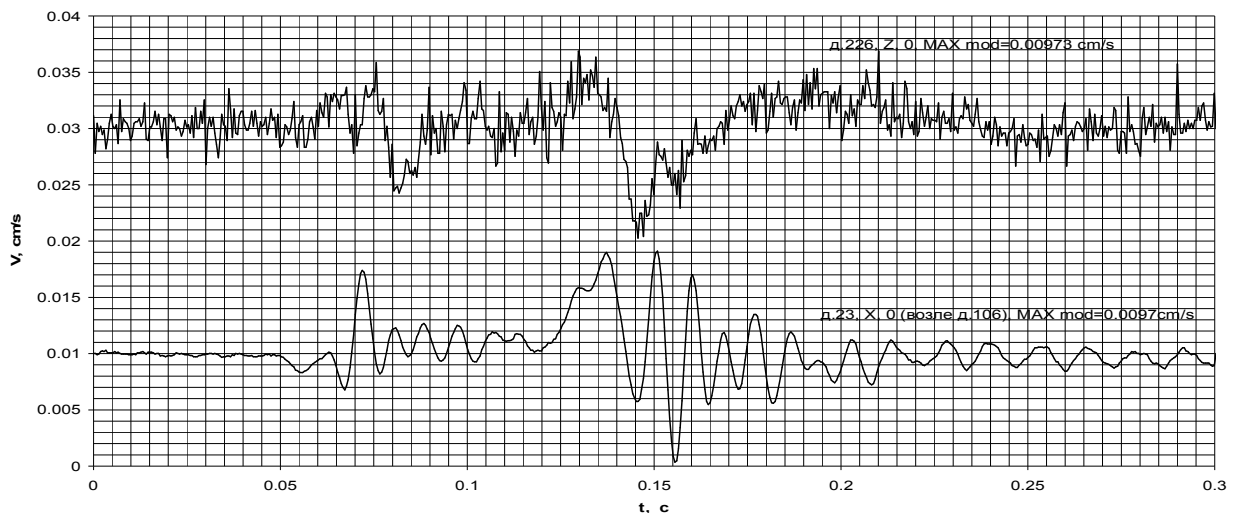
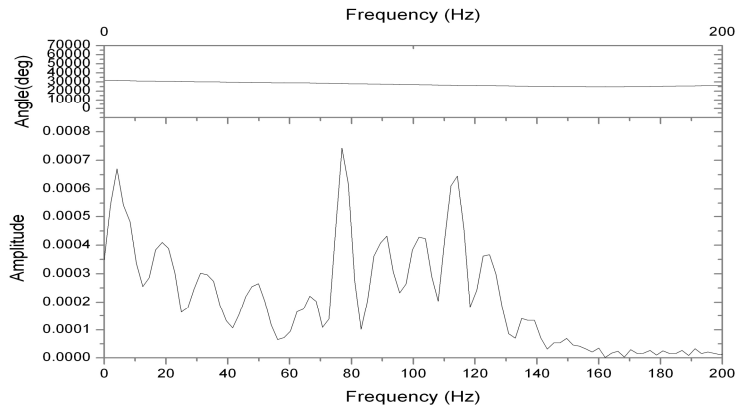
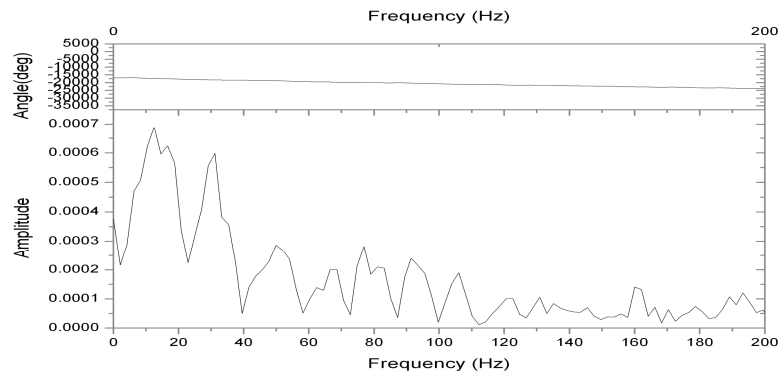


Рисунок 4 – Осцилограма сейсмічних коливань, збуджених проїздом на відстані 20 м від будинку № 106 с. Піски зі швидкістю 60 км/год сорокатонного автомобіля



Складава, X



Складава, Z

Рисунок 5 – Спектрограми сейсмічних коливань, збуджених проїздом на відстані 20 м від будинку № 106 с. Піски із швидкістю 60 км/год сорокаторного автомобіля

Стосовно динамічних характеристик хвиль у віддалених районах розташування будівель над пустотами встановлено, що під час масових вибухів на прикладі Щирецького кар'єру швидкість коливань ґрунту становить від 0,019 до 0,028 см/с, що майже на порядок менше інтенсивності коливань в 1 бал (не менше 0,2 см/с). Населення, яке не знає про проведення вибуху, може таку бальність і не відчути. Ці коливання знаходяться на рівні коливань, які можуть виникнути під час руху автомобіля по вулиці.

Розв'язанням прямої задачі експериментального характеру за даними сейсмічних вимірювань в умовах Щирецького гіпсового кар'єру ВАТ «Миколаївцемент» були одержані емпіричні коефіцієнти пропорційності і показник степеня затухання за методом динамічної подібності. Максимально-допустима величина маси свердловинних зарядів ВР у групі

($Q_{доп}$, кг) при одночасному їх підриванні або відстані від місця вибуху до об'єкту, що охороняється (r_c , м), при одноразовому вибуху визначаються з допомогою формул [8, 9]:

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

$$r = \left(\frac{K}{U_{доп}} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot Q_{зр}^{\frac{1}{3}}, \quad (7)$$

де $U_{доп}$ – швидкість коливань ґрунтової основи будівлі над карстовою порожниною, см/с; K – коефіцієнт умов підривання та розповсюдження поверхневої хвилі $K=100$; n – показник степеню затухання хвилі $n=1,7$ (табл. 2).

Таблиця 2 – Значення коефіцієнтів

Гіпсові кар'єри на підприємствах	K	n
ВАТ «Миколаївцемент», Щирецький кар'єр	100(U_R^z)	1,7(U_R^z)
ВАТ "Івано-Франківськцемент"	4160 (U_R^z)	2,1(U_R^z)
ПП «Скала-Інтер»	313(U_S^z)	1,5(U_S^z)

Використавши формулу (7), табл. 2 та значення допустимої швидкості коливань ґрунту в фундаменті будівлі ($U_{доп}$, см/с), визначені відповідно до

ДСТУ4704:2008, можливо розрахувати сейсмобезпечні параметри впливу масових вибухів у кар'єрах на навколишнє середовище. Розраховані допустимі

маси заряду в одній групі відносно охоронних об'єктів с. Піски при багаторазових масових вибухах в Щирецькому кар'єрі наведені в табл. 3.

При визначенні допустимої маси зарядів (табл. 3) за допустиму швидкість коливань ґрунту прийнята величина $U_{\text{доп}} = 0,03$ см/с, виходячи з

того, що протягом усього періоду проведення сейсмонконтролю при масових вибухах в Щирецькому кар'єрі біля с. Піски не були порушені будівлі і карстові порожнини при вимірах швидкості зміщення частинок ґрунту 0,019–0,03 см/с.

Таблиця 3 – Допустимі маси заряду в одній групі в залежності від відстані до найближчої будівлі і карстової порожнини під нею в с. Піски при багаторазових масових вибухах у Щирецькому гіпсовому кар'єрі

r_c , м	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1450	1400	1500
$Q_{\text{доп}}$, кг	380	390	450	525	600	690	780	880	990	1090	1200	1500

Примітка: Допустимі маси зарядів, визначені для сезону робіт літо і зима. Для сезону робіт весна і осінь допустимі маси зарядів (табл. 3) повинні бути зменшені в 1,2 рази.

Тепер наведемо приклад розрахунку сумісної дії динамічних (проаналізуємо МВ) і статичних дій на стінку карстової порожнини під будинком № 106:

1. Гірський тиск на стінку карстової порожнини під дією власної ваги порід (МПа) згідно формули (1):

$$P_K = \gamma \cdot h = 1900 \frac{20}{2} = 0,076.$$

2. Швидкість коливань ґрунту на стінках карстової порожнини (см/с), викликаних дією МВ в кар'єрі визначається за формулою (2):

$$U_K^Z = U_R^Z \cdot e^{-1.7 \cdot \frac{h}{\lambda}} = 0,03 \cdot e^{-1.7 \cdot \frac{20}{160}} = 0,0243,$$

де $U_R^Z = 0,03$, см/с – максимальне значення швидкості коливання ґрунту релеївської хвилі на земній поверхні біля будинку 106 (табл. 1), розташованого над карстовою порожниною, одержане з осцилограми масового вибуху.

3. Напряга на стінці карстової порожнини визначається за формулою (3), МПа:

$$\sigma_K = 2,43 \cdot 10^{-4} \cdot 1,4 \cdot 10^3 \cdot \frac{2300}{9,81} = 8 \cdot 10^{-4}.$$

Таким чином, на стінку карстової порожнини діють: сейсмічна хвиля – динамічна дія і тиск гірського масиву – статична дія.

Приймаючи відношення динамічних сил до статичних як 1,8, можливо розрахувати напругу від сейсмічних дій хвиль на стінки карстової порожнини

$$\sigma_g = 8 \cdot 10^{-4} \cdot 1,8 = 14,4 \cdot 10^{-4}.$$

Таким чином, можливо зробити висновок, що гірський масив на стінки карстової порожнини тисне в 52 рази (0,076 МПа/ 0,00144 МПа=52) сильніше за дію сейсмічних хвиль на приведених відстанях 150–180 м/кг^{1/3}. Наведені розрахунки на основі використання даних сейсмовимірювальної апаратури показали, що МВ в Щирецькому кар'єрі не впливають на стійкість карстових порожнин, а цей фактор також забезпечує стійкість житловим будинкам, які знаходяться над карстовими порожнинами на денній поверхні масиву ґрунту.

На основі вищенаведених досліджень можливо зробити наступні висновки:

1. Проведені експериментальні дослідження сейсмічної дії МВ у Щирецькому гіпсовому кар'єрі з використанням сейсмометричної апаратури дозволили встановити закономірності поширення СВХ у складно структурних ґрунтах з карстовими порожнинами, які межують з кар'єром і на яких знаходяться житлові будинки с. Піски.

2. Аналіз і оцінка АЧХ параметрів СВХ, одержаних при сейсмометричних вимірюваннях, дозволили визначити сейсдобезпечні норми для житлових будинків с. Піски і розрахувати напругу від її сейсмічних хвиль на стінки карстових порожнин на відносній відстані 150–180 м/кг^{1/3}. Ці розрахунки показали, що тиск на стінки карстових порожнин, спричинений сейсмічними хвилями, у 50 раз менший тиску від ґрунту, в якому знаходиться порожнина. Таким чином доведено, що СВХ не причетні до провалів денної поверхні землі, що мало місце в недавні часи.

3. У роботі наведено неординарний метод розрахунку сумісного впливу динамічних і статичних навантажень, викликаних дією сейсмічних хвиль і тиску навколишніх ґрунтів на стінки карстової порожнини.

Розроблено рекомендації для Щирецького гіпсового кар'єру щодо визначення безпечних масштабів вибухових робіт з урахуванням їх сейсмічної дії на житлові будівлі та карстові порожнини під ними.

ВИСНОВКИ. Одержані результати досліджень є базовими для розробки інноваційних сейсдобезпечних технологій використання енергії вибуху при руйнуванні закарстованих масивів гірських порід при проведенні вибухових робіт на гіпсових кар'єрах України. Крім того, сформульовані авторами принципи і закономірності статичної і сейсмічної стійкості стелини порожнини і розташованої над нею будівлі під час вибухів в закарстованому масиві гірських порід у кар'єрах дозволяють застосувати їх у методичних підходах при підготовці персоналу для освоєння інноваційних сейсдобезпечних технологій, для розробки нових та доповнення існуючих Державних стандартів України, а також розкрити перспективні напрями методологічних і наукових досліджень у майбутньому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Усиление конструкции подземных сооружений на участках с ожидаемыми карстовыми провалами / Самедов А.М., Шелиховская Ю.П., Исмаилов Т. // *Вісник НТУУ «КПІ»*. Серія «Гірництво». – 2008. – Вип. 17. – С. 74–81.
2. Определение расчетного размера карстовых провалов при проектировании фундаментов на закарстованных территориях / Толмачев В.В., Троицкий Г.М. / *Основания фундаментов и механика грунтов*. – 1983. – № 2. – С. 22–24.
3. Печеркин И.А. Вопросы изучения карста в инженерных целях // *Инженерная геология*. – 1981. – № 5. – С. 77–80.
4. ДСТУ 4704:2008. Національний стандарт України. Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки / Бойко В.В., Воротеляк В.С., Воротеляк Г.А., Кузьменко А.О. та ін. – К: Держспоживстандарт України, 2009. – 11 с.
5. Звіт «Геофізичні дослідження карстонебезпечної ділянки площею 500 300 м в с. Піски Пустомитівського району Львівської області». Інститут прикладних проблем екології, геофізики і геохімії». – К., 2008. – 56 с.
6. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – М.: Физматлит, 2002. – 832 с.
7. Динамические процессы в геосферах: сбор. научн. трудов Института динамики геосфер РАН. – М.: ГЕОС, 2013. – Вып. 4. – 268 с.
8. ДСТУ 7116:2009. Національний стандарт України. Вибухи промислові. Методи визначення фактичної сейсмічності будівель і споруд / В.В. Бойко, В.С. Воротеляк, Г.А. Воротеляк, А.О. Кузьменко. – К: Держспоживстандарт України, 2010. – 6 с.
9. Бойко В.В. Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи у кар'єрах України: монографія. – К.: ТОВ «Видавництво Сталь», 2012. – 234 с.

SEISMIC SAFETY OF BUILDINGS AND CAVERNS FROM MINING BLASTING

N. Zhukova

National Technical University of Ukraine "KPI"

vul. Borshagivska, 115, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: NataliaZ127@ukr.net

V. Boiko, A. Kuzmenko, O. Chala

Institute of Hydromechanics of NAS Ukraine

vul. Zhelyabova, 8/4, Kyiv, 03680, Ukraine. E-mail: seismic-control@yandex.ru

Analytic and experimental estimation of blasting influences in mines and seismic safety of buildings and caverns, which are located under these buildings or close, were done. Summery influence of seismic waves and building self-weight pressure on carven walls deformation were found. A first calculation of seismic safety data for explosion limiting near buildings and caverns was done. Criteria for blasting parameter determination were established for buildings and caverns due to safety norm for surface waves intensity and static stresses and volume wave intensity. Complex method for blasting parameters calculation was checked in gypsum mine JSC "Mikolaevcement" with subject to static and dynamic influences, blasting limits, and acceptance stresses for buildings and caverns.

Key words: quarry, permissible charge mass, seismic measuring work, major blasts, ground massif, karst cavities, speed of fluctuations, seismic safety.

REFERENCES

1. Samedov, A. M., Selikhovskaya, U.P., Ismailov, T. (2008), "Underground constructions strengthening for sections with hypothetical dolinas", *Herald of the National University of Ukraine "Kiev Polytechnical Institute" Series of Mining*, no. 17, pp. 74–81.
2. Tolmachev, V.V., Troitskiy, G.M. (1983), "Assessment of calculated size of dolinas for base design on cavern territories", *Subfundation and soil mechanics*, no. 2, pp. 22–24.
3. Pecherkin, I.A. (1981), "Issue of cavern research for engineering goals", *Geological Engineering*, no. 5, pp. 77–80.
4. Boiko, V.V., Vorotelyak, V.E., Vorotelyak, G.A., Kuzmenko, A.O. and others (2009), *Natsionalnyy standart Ukrayiny. Provedennya promyslovykh vybukhiv. Normy seysmichnoyi bezpeky* [National standart of Ukraine. Blasting. Seismic Safety Regulations], DSTU 4704:2008, Dergspogivstandart Ukrainu, Kyiv, Ukraine.
5. Report *Heofizychni doslidzhennya karstonebezpechnoyi dilyanky ploscheyu 500 300 m v s. Pisky Pustomytivs'koho rayonu Lvivs'koyi oblasti* [Geophysical research of cavern dangerous area 500 300 m in Pisky village of Pustomutivsky region of Lvivska oblast] (2008), Institute of applicabal problems of ecology, geophysics and geochemistry, Kyiv, Ukraine.
6. Orlenko, L.P. (2002), *Fyzyka vzryva* [Explosion physics], Phismathlit, Moscow, Russia.
7. "Dynamic processes in geospheres", (2003), *Collected scientific papers of Institute of geosphere dynamics RAS, GEOS, Moscow, Russia*, no. 4, pp. 268.
8. Boiko, V.V., Vorotelyak, V.E., Vorotelyak, G.A., Kuzmenko, A.O. and others (2009), *Natsionalnyy standart Ukrayiny. Vybukhy promyslovi. Metody vyznachennya faktychnoyi seysmostiykosti budivel' i sporud* [National standart of Ukraine. Blasting. Estimation Methodic of real seismic strength of constructions and buildings], DSTU 7116:2009, Dergspogivstandart Ukrainu, Kyiv, Ukraine.
9. Boiko, V.V. (2012), *Problemy seysmichnoyi bezpeky vybukhovoyi spravy u karyerakh Ukrayiny* [Seismic Safety Problems of Blasting on Ukranian Mines], Ltd. "Vudavnutstvo Stal", Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла 30.03.2015.