

5. Згуровский, М.З. Системный анализ: проблемы, методология приложения [Текст] / М.З. Згуровский, Н.Д. Панкратова. – К.: Наукова думка, 2005. – 742.
6. Корчак, А.В. Методология проектирования строительства подземных сооружений [Текст] / А.В. Корчак. – М.: Недра, 2001. – 416 с.
7. Бондарик, Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии [Текст] / Г.К. Бондарик. – М.: Недра, 1981. – 256 с.

Стаття надійшла до редакції 23.10.2015 р.

УДК 622.235: 624.042.7

Н.С. Ремез, д. т. н., проф., **І.А. Іванова**, асп. (НТУУ «КПІ»)

ДИНАМІЧНА ВЗАЄМОДІЯ ГРУНТОВИХ ОСНОВ ТА БУДІВЕЛЬ ПІД ЧАС ДІЇ СЕЙСМОВИБУХОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

N.S. Remez, I.A. Ivanova (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

DYNAMIC INTERACTION OF THE GROUND BASES AND BUILDINGS DURING THE SESIMIC BLASTING LOAD

Чисельно досліджено деформований стан ґрунтових основ та будівель під час дії сейсмовибухового навантаження з врахуванням геометричних, фізико-механічних та інерційних параметрів будівель, інтенсивності і напрямку падіння хвилі та фізико-механічних властивостей ґрунту.

Ключові слова: деформований стан; ґрунтова основа; суглинок; глина; загальна деформація; сейсмічне навантаження.

Численно исследовано деформированное состояние грунтовых оснований и зданий под действием сейсмовзрывной нагрузки с учетом геометрических, физико-механических и инерционных параметров зданий, интенсивности и направления падения волны, а также физико-механических свойств грунта.

Ключевые слова: деформированное состояние; грунтовая основа; суглинок; глина; общая деформация; сейсмическая нагрузка.

The strain state of the ground bases and buildings during the seismic blasting load was numerically investigated with taking into account of geometrical, physical, mechanical and inertial parameters of the buildings, the intensity and the fall direction of the wave and physical and mechanical properties of the soil.

Keywords: strain state; ground base; loam, clay; total deformation; seismic loading.

Вступ. На сьогодні внаслідок збільшення об'ємів видобутку корисних копалин на гірничо-видобувних підприємствах однією з головних проблем є сейсmobезпечна експлуатація будівель поблизу кар'єрних полів. Вибухові роботи є основним методом руйнування твердих середовищ вибухом при

видобуванні корисних копалин, проведенні гірничих виробок. Вони супроводжуються виникненням сейсмічних хвиль, що створюють небезпеку для природних та інженерних об'єктів. Ступінь пошкодження будівель від дії сейсмічних хвиль залежить від цілого ряду чинників: сили сейсмічної дії і напрямку поширення сейсмічних хвиль, геологічних умов, характеристик матеріалу будівлі, геометричних розмірів будівлі. Тому постає проблема сейсмовбезпечної експлуатації будівель, що розташовані поблизу проведення вибухових робіт з врахуванням вище наведених чинників.

В області вирішення проблем сейсмостійкого будівництва велика кількість робіт присвячені впливу сейсмічних хвиль на споруди внаслідок дії землетрусів [1-4]. Проте, варто зазначити, що досліджень впливу сейсмовибухових хвиль на природні та інженерні об'єкти значно менше, хоча інтенсивність їх впливу значно потужніше [5].

Мета роботи – дослідження деформованого стану ґрунтових основ та будівель під час дії сейсмовибухового навантаження з врахуванням геометричних, фізико-механічних та інерційних параметрів будівель, фізико-механічних властивостей ґрунтів, інтенсивності і напрямку поширення хвилі.

Результати дослідження. У роботі будівля і ґрунт вивчається в рамках механіки суцільного середовища. Рух будівлі та ґрунту описується законами збереження маси, імпульсу та внутрішньої енергії, які в загальній формі мають вигляд [6]:

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_i} + \frac{\partial v_i}{\partial y_i} + \frac{\partial v_i}{\partial z_i} \right) = 0, \quad (1)$$

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = F_i + \left(\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_i} + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial y_i} + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial z_i} \right), \quad (2)$$

$$\rho \frac{dE}{dt} = \sigma_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij} - \left(\frac{\partial q_i}{\partial x_i} + \frac{\partial q_i}{\partial y_i} + \frac{\partial q_i}{\partial z_i} \right), \quad (3)$$

$$\frac{du_i}{dt} = v_i, \quad (4)$$

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\left(\frac{\partial v_j}{\partial x_i} + \frac{\partial v_j}{\partial y_i} + \frac{\partial v_j}{\partial z_i} \right) + \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_i}{\partial y_j} + \frac{\partial v_i}{\partial z_j} \right) \right), \quad (5)$$

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_j}{\partial y_i} + \frac{\partial u_j}{\partial z_i} \right) + \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_i}{\partial y_j} + \frac{\partial u_i}{\partial z_j} \right) + \left(\frac{\partial u_k}{\partial x_i} + \frac{\partial u_k}{\partial y_i} + \frac{\partial u_k}{\partial z_i} \right) \left(\frac{\partial u_k}{\partial x_j} + \frac{\partial u_k}{\partial y_j} + \frac{\partial u_k}{\partial z_j} \right) \right), \quad (6)$$

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij} \varepsilon_{ij}, \dot{\varepsilon}_{ij}, T, \quad (7)$$

де $(i=1,2,3); (j=1,2,3); t$ – час; v_{ij} – компоненти швидкості; u_{ij} – компоненти зміщення; $\dot{\varepsilon}_{ij}$ – компоненти тензора швидкості деформації; ε_{ij} – компоненти тензора деформацій; σ_{ij} – компоненти тензора напруг; T – абсолютна температура; E – механічна енергія.

Ґрунт моделюється багатокомпонентним в'язко-пластичним середовищем зі змінним коефіцієнтом в'язкості [7]:

$$\dot{\varepsilon} = \varphi \mathbf{P}, \varepsilon \bar{P} - \frac{\alpha_1 \lambda \mathbf{P}, \varepsilon}{\eta \mathbf{P}, \varepsilon} \bar{\psi} \mathbf{P}, \varepsilon \bar{\varepsilon} \quad (8)$$

де P – середній гідростатичний тиск; α_1 – вміст пористого простору; $\eta \mathbf{P}, \varepsilon$ – змінний коефіцієнт об'ємної в'язкості середовища; λ – коефіцієнт зміщення; ε – об'ємна деформація середовища; $\dot{\varepsilon}$ – похідна з часом об'ємної деформації середовища.

Функції, що входять в це рівняння різні при навантаженні та розвантаженні ґрунту і задаються згідно [7].

Умова пластичності ґрунту приймається у вигляді умови Мізеса – Шлейхера – Боткіна [8].

Початкові умови: для ґрунту $v_{ij} = 0, u_{ij} = 0, \rho = \rho_0, \sigma_{ij} = 0$; для будівлі $v_{ij} = 0, u_{ij} = 0, \rho = \rho_0, \sigma_{ij} = 0$, де ρ_0 – щільність ґрунту; ρ_0 – щільність будівлі.

В якості граничної умови задається гідростатичний тиск на відстані 210 м від джерела вибуху.

Для розв'язку поставленої задачі застосовувався метод скінченних елементів з розрахунковою сіткою з 1458 елементів.

У роботі розглядалися п'яти- та дев'ятиповерхові цегляні та панельні будинки, які розташовані на ґрунтовій основі, з потужністю шару 20 м. Геометричні параметри будівель характерні для більшості споруд населених пунктів України і відповідають Державним будівельним нормам [9]. Основні параметри будівель наведено в табл. 1. Розрахунки проводились для торцевого та фронтального напрямку падіння сейсмовибухової хвилі на будівлю. Вважалося, що гідростатичний тиск при сейсмовибуховому навантаженні дорівнював 10^5 Па, 10^6 Па та 10^7 Па.

Таблиця 1

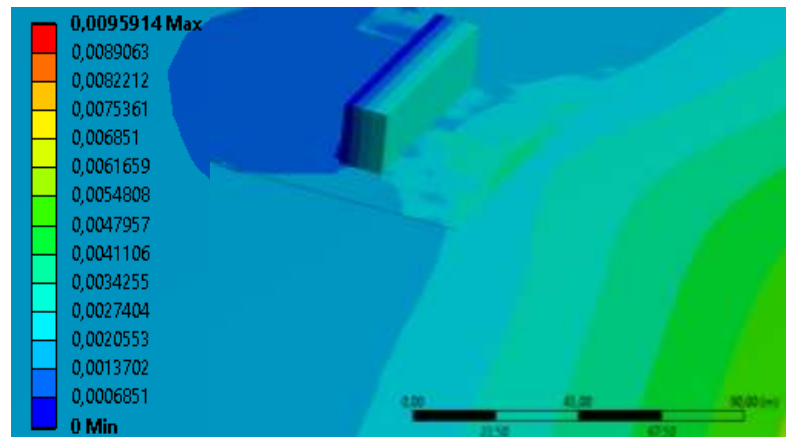
Основні параметри будівель

Назва матеріалу	Бетон	Цегла	Бетон	Цегла
Кількість поверхів	Дев'ять поверхів	Дев'ять поверхів	П'ять поверхів	П'ять поверхів
Довжина, м	32,85	32,85	67,33	67,33
Ширина, м	16,85	16,85	12,50	12,50
Висота, м	31,00	31,00	16,00	16,00
Об'єм, м ³	17159,19	17159,19	13466	13466
Маса, кг	$39,46 \cdot 10^6$	$33,46 \cdot 10^6$	$30,97 \cdot 10^6$	$26,25 \cdot 10^6$
Щільність, кг/м ³	2300	1950	2300	1950
Модуль пружності, Па	$3,0 \cdot 10^9$	$2,32 \cdot 10^{10}$	$3,0 \cdot 10^9$	$2,32 \cdot 10^{10}$
Коефіцієнт Пуассона	0,25	0,18	0,25	0,18

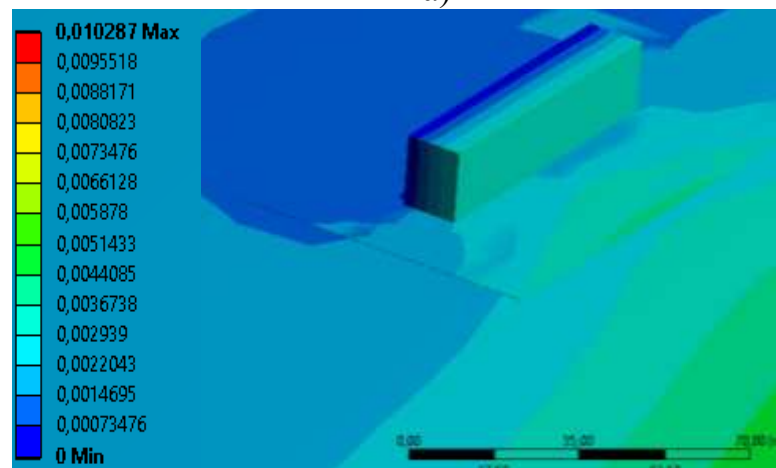
Фізико-механічні властивості ґрунтової основи наступні: для суглинку – $\rho_0=1760 \text{ кг/м}^3$, $E=1,9 \cdot 10^6 \text{ Па}$, $\nu=0,2$, $n=34,3 - 37,0\%$, $w=12,5 - 16,1\%$, $\alpha_1=0,648$, $\alpha_2=0,247$, $\alpha_3=0,105$, $E_D=21,7 - 242 \text{ Па}$, $\sigma_0=2,2 - 5,6 \text{ Па}$, $C=0,54 \text{ Па}$, $\varphi=31^\circ$, $E_1=800 \text{ Па}$, $E_2=500 \text{ Па}$, $E_p=1000 \text{ Па}$; для глини - $\rho_0=2600 \text{ кг/м}^3$, $E=2,0 \cdot 10^6 \text{ Па}$, $\nu=0,37$, $\alpha_1=0,093$, $\alpha_2=0,353$, $\alpha_3=0,554$, $\rho_0 c_s^2 = 12,9 \cdot 10^5$, $\rho_0 c_D^2 = 39,5 \cdot 10^6$, $k = -26,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $\gamma_s = 0,5$; $\eta_D = 229 \text{ Па} \cdot \text{с}$.

В результаті проведеного моделювання було отримано параметри деформованого стану ґрунтових основ та споруд. На рис. 1 зображено розподіл загальної деформації ґрунтової основи та п'ятиповерхової панельної будівлі при фронтальному напрямку падіння сейсмовибухової хвилі з $P=10^7 \text{ Па}$ при різних ґрунтах основи.

Аналізуючи результати розрахунків загальної деформації можна прийти до висновку, що вона більше на 0,15 мм (в 1,04 рази) у будівлі, яка розташована на суглинку порівняно з глинистою ґрунтовою основою, при цьому деформація ґрунтової основи з суглинку збільшується на 0,6 мм (в 1,25 раз) порівняно з глинистою основою.



а)



б)

Рис. 1. Розподіл загальної деформації ґрунтової основи та п'ятиповерхової панельної будівлі при фронтальному напрямку падіння сейсмовибухової хвилі з $P=10^7 \text{ Па}$ при різних ґрунтах основи:

а) глина; б) суглинок

Проведено розрахунки загальної деформації ґрунтових основ та будівель з врахуванням геометричних, фізико-механічних та інерційних параметрів будівель, фізико-механічних властивостей ґрунтів, інтенсивності і напрямку поширення хвилі, отримані дані наведено в табл. 2.

З аналізу табл. 2 можна зробити висновок, що у всіх випадках при будь-якому напрямку падіння сейсмовибухової хвилі і для будь-яких будівель, їх деформація значно більше, якщо основа складається з суглинку. Це пояснюється тим, що суглинок більш пористий, менш щільний ґрунт порівняно з глиною, тому він значно більше деформується і це, в свою чергу, викликає більші деформації у будівлі, що розташована на цій ґрунтовій основі.

Таблиця 2

Загальна деформація ґрунтових основ (О) та будівель (Б)

Деформація п'ятиповерхової будівлі та ґрунтової основи – глина, мм								
Матеріал будівлі								Величина сейсмічного навантаження, Па
Бетон				Цегла				
Напрямок падіння хвилі								
Торцевий		Фронтальний		Торцевий		Фронтальний		
Б.	О.	Б.	О.	Б.	О.	Б.	О.	
2,54	1,63	3,04	2,34	3,25	2,39	3,54	3,13	10^7
2,29	1,47	2,93	2,04	2,93	2,09	3,21	2,96	10^6
2,08	1,33	2,54	2,01	2,69	1,92	2,85	2,62	10^5
Деформація п'ятиповерхової будівлі та ґрунтової основи – суглинок, мм								
Матеріал будівлі								Величина сейсмічного навантаження, Па
Панель				Цегла				
Напрямок падіння хвилі								
Торцевий		Фронтальний		Торцевий		Фронтальний		
Б.	О.	Б.	О.	Б.	О.	Б.	О.	
3,16	2,03	3,19	2,94	3,92	2,52	4,07	3,87	10^7
2,79	1,94	2,98	2,83	3,38	2,17	3,56	2,96	10^6
2,19	1,84	2,34	2,06	3,12	2,01	3,31	2,89	10^5
Деформація дев'ятиповерхової будівлі та ґрунтової основи – глина, мм								
Матеріал будівлі								Величина сейсмічного навантаження, Па
Панель				Цегла				
Напрямок падіння хвилі								
Торцевий		Фронтальний		Торцевий		Фронтальний		
Б.	О.	Б.	О.	Б.	О.	Б.	О.	
2,92	2,29	5,03	3,95	4,76	3,4	6,08	4,77	10^7
2,71	2,13	4,63	3,64	4,28	3,3	5,67	4,45	10^6
2,29	1,97	4,23	3,32	3,81	2,72	5,26	4,14	10^5
Деформація дев'ятиповерхової будівлі та ґрунтової основи – суглинок, мм								
Матеріал будівлі								Величина сейсмічного навантаження, Па
Панель				Цегла				
Напрямок падіння хвилі								
Торцевий		Фронтальний		Торцевий		Фронтальний		
Б.	О.	Б.	О.	Б.	О.	Б.	О.	
3,24	2,78	5,24	4,49	4,98	3,55	6,28	4,93	10^7
2,83	2,43	4,83	4,14	4,51	3,21	5,87	4,56	10^6
2,43	2,08	4,44	3,8	4,03	3,16	5,47	3,95	10^5

Наприклад, загальна деформація глинистої ґрунтової основи та розташованої на ній дев'ятиповерхової панельної будівлі при торцевому напрямку падіння хвилі з $P=10^7$ Па менше на 0,49 мм (в 1,21 раз) і на 0,32 мм (в 1,1 раз) відповідно порівняно з суглинистою ґрунтовою основою та будівлею, яка розташована на ній.

З розрахунків випливає, що зі збільшенням навантаження з 10^5 Па до 10^7 Па деформація ґрунтових основ та будівель при рівних параметрах (напрямку падіння хвилі, геометричних розмірів споруд та фізико-механічних параметрів основ та споруд) також збільшується на 4 – 27 %.

При вище наведених рівних параметрах цегляні будівлі деформуються більше ніж панельні. Наприклад, деформація п'ятиповерхової цегляної будівлі при торцевому навантаженні з $P=10^7$ Па більше на 0,76 мм (в 1,24 рази), ніж панельної.

Встановлено, що при фронтальному напрямку падіння хвилі виникають більші деформації ніж при торцевому, що пояснюється збільшенням площі взаємодії хвилі з будівлею: для п'ятиповерхових будівель в 5,3 рази, а для дев'ятиповерхових будівель в 1,94 рази.

Висновки

Досліджено деформований стан ґрунтових основ та будівель під час дії сейсмовибухового навантаження. Встановлено, що більш сейсмостійкими є будівлі, які розташовані на ґрунтових основах, які складаються з більш щільного, менш пористого ґрунту з більшою акустичною жорсткістю.

Виявлено, що бетонні будівлі є більш сейсмостійкими порівняно з цегляними будівлями, тому що вони мають більші інерційні властивості. Встановлено, що найбільш сейсмобезпечним є торцевий напрямок падіння хвилі.

Таким чином, результати цієї роботи показують, що сейсмостійкими є малоповерхові панельні будівлі, що знаходяться на більш щільній ґрунтовій основі та розташовані торцевою стороною до напрямку поширення сейсмовибухової хвилі. Цей висновок відповідає встановленим нормам та свідчить про достовірність отриманих даних.

Список використаної літератури

1. Кауфман, Б.Д. Учет загрузок. Сейсмические воздействия на гидротехнические и энергетические сооружения [Текст] / Б.Д. Кауфман, С.Г. Шульман. – М.: Наука, 1980. – 256 с.
2. Бирбаер, А.Н. Прочность и надежность конструкций АЭС при особых динамических воздействиях [Текст] / А.Н. Бирбаер, С.Г.Шульман. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 304 с.
3. Кириллов, А.П. Взаимодействие фундаментов сооружений электростанций с основанием при динамических нагрузках [Текст] / А.П. Кириллов, В.В. Крылов, А.Е. Саргсян. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 354 с.

4. Хачиян, Э.Е. Динамические модели сооружений в теории сейсмостойкости [Текст] / Э.Е. Хачиян, В.А. Амбарцумян. – М.: Наука, 1981. – 204 с.
5. Бойко, В.В. Оценка сейсмобезопасности сооружений при воздействии на них взрывных волн с учетом их спектральных характеристик [Текст] / В.В. Бойко, А.А. Кузьменко, Т.В. Хлевнюк // Вісник НТУУ «КПІ»: зб. наук. праць. – К.: ВПК «Політехніка», 2008. – Вип. 16. – С. 3 – 13. – (Серія «Гірництво»).
6. Смогунов, В.В. Основы механики сплошных сред [Текст]: учебное пособие. Часть 1 / В.В. Смогунов, Б.Л. Филиппов. – Пенза: Пенз. гос. ун-т, 2004. – 75 с.
7. Механический эффект взрыва в грунтах [Текст] / И.А. Лучко, В.А. Плаксий, Н.С. Ремез и др.; под ред. И.А. Лучко АН УССР. Институт геофизики им. С.И. Субботина. – Киев: Наук. думка, 1989. – 232 с.
8. Григорян, С.С. Об основных представлениях механики грунтов [Текст] / С.С. Григорян // Прикл. математика и механика. – М.: ИСТИНА, 1960. – Вып. 6. – С. 1057 – 1072.
9. ДБН 360-92. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень [Текст] введ. 17.04.1992. – К.: Мінбудархітектури, 1992. – 234 с.

Стаття надійшла до редакції 04. 12. 2015 р.