

## ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ СЕЙСМОВИБУХОВОЇ ХВИЛІ З ШАРУВАТИМИ ГРУНТОВИМИ ОСНОВАМИ ТА БУДІВЛЯМИ

**Н. С. Ремез, І. А. Іванова**

Національний технічний університет України «КПІ»

вул. Борщагівська, 115, м. Київ, 03056, Україна.

E-mail: ilona\_ivanova.a@ukr.net

Наведено результати чисельного моделювання деформованого стану шаруватих ґрунтових основ та будівель під дією сейсмовибухового навантаження. Показано вплив фізико-механічних та інерційних параметрів будівель, інтенсивності і напрямку падіння хвилі, взаємного розташування шарів та фізико-механічних властивостей ґрунтової основи на загальну деформацію основ та будівель. Встановлено, що сейсмостійкими є панельні будівлі, які знаходяться на ґрунтовій основі з щільним нижнім шаром та розташовані торцевою стороною до напрямку поширення сейсмовибухової хвилі.

**Ключові слова:** моделювання, сейсмовибухова хвиля, навантаження, деформація, шарувата основа, будівля.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕЙСМОВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ СО СЛОИСТЫМИ ГРУНТОВЫМИ ОСНОВАНИЯМИ И ЗДАНИЯМИ

**Н. С. Ремез, И. А. Иванова**

Национальный технический университет Украины «КПИ»»

ул. Борщаговская, 115, м. Киев, 03056, Украина.

E-mail: ilona\_ivanova.a@ukr.net

Приведены результаты численного моделирования деформированного состояния слоистых грунтовых оснований и зданий под действием сейсмозрывной нагрузки. Показано влияние физико-механических и инерционных параметров зданий, интенсивности и направления падения волны, взаимного расположения слоев и физико-механических свойств грунтовых оснований на деформацию оснований и зданий. Установлено, что сейсмоустойчивыми являются панельные здания, которые находятся на грунтовом основании с плотным нижним слоем и расположены торцевой стороной к направлению распространения сейсмозрывной волны.

**Ключевые слова:** моделирование, сейсмозрывная волна, нагрузка, деформация, слоистое основание, здание.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Збільшення об'ємів вибухових робіт та масштабів вибухів, а саме, ведення їх поблизу різних споруд, будов, комунікацій зумовлюють необхідність точного розрахунку та створення ефективних методів управління впливами сейсмічних хвиль.

Вибухові роботи супроводжуються виникненням сейсмічних хвиль. При поширенні сейсмовибухових хвиль (СВХ) у ґрунтових масивах відбувається їх

взаємодія з природними та інженерними об'єктами. Для їх ефективного проектування та експлуатації необхідно проводити точну та детальну оцінку міцності матеріалів споруд, а також поведінку будівель під дією сейсмовибухового навантаження.

У той самий час, у природі однорідні ґрунти зустрічаються дуже рідко, зазвичай ґрунт це складний шаруватий масив, кожен шар якого характеризується своїми фізико-механічними властивостями, що приводить до зміни параметрів СВХ при їх поширенні в таких ґрунтах у ході вибухових робіт.

Тому на даний час особливо актуальним є проведення досліджень особливостей поширення СВХ у товщі гірських порід і ґрунтів та динаміки їх можливого впливу на природні та інженерні об'єкти.

Велика кількість робіт в області вирішення проблем динаміки та сейсмостійкого будівництва присвячені впливу СВХ на споруди під час дії землетрусів [1–4]. Проте, варто зазначити, що досліджень впливу СВХ на об'єкти, що охороняються значно менше, хоча інтенсивність їх впливу значно більше. [5]

Мета роботи – Дослідження деформованого стану ґрунтової основи та будівель під час дії сейсмовибухового навантаження з врахуванням фізико-механічних та інерційних параметрів будівель, взаємного розташування шарів і фізико-механічних властивостей ґрунтової основи, інтенсивності і напрямку поширення хвилі.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** У роботі будівля і ґрунт вивчаються 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;  $\rho$  – щільність;  $F_i$  – компоненти вектора зовнішніх сил;  $\dot{\varepsilon}_{ij}$  – компоненти тензора швидкості деформації;  $\varepsilon_{ij}$  – компоненти тензора деформацій;  $\sigma_{ij}$  – компоненти тензора напруг;  $T$  – абсолютна температура;  $E$  – механічна енергія.

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

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

де  $P$  – середній гідростатичний тиск;  $\alpha_1$  – вміст пористого простору;  $\eta(P, \varepsilon)$  – змінний коефіцієнт об'ємної в'язкості середовища;  $\lambda$  – коефіцієнт зміщення;  $\varepsilon$  – об'ємна деформація середовища;  $\dot{\varepsilon}$  – похідна за 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  $\rho_0$  – щільність ґрунту;  $\rho_0$  – щільність будівлі.

В якості граничної умови задається гідростатичний тиск на відстані 200 м від джерела вибуху.

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

У роботі досліджено деформацію шаруватої ґрунтової основи та дев'ятиповерхових цегляних та панельних будівель, що розташовані на цій основі. Основні параметри будівлі характерні для більшості споруд населених пунктів України і відповідають Державним будівельним нормам [9], наведено в табл. 1. Розрахунки проводились для торцевого та фронтального напрямку падіння сейсмовибухової хвилі на будівлю. Вважалось, що гідростатичний тиск при сейсмовибуховому навантаженні дорівнював  $10^6$  Па та  $10^7$  Па.

Таблиця 1 – Основні параметри будівель

| Назва матеріалу              | Бетон              | Цегла                |
|------------------------------|--------------------|----------------------|
| Кількість поверхів           | Дев'ять поверхів   | Дев'ять поверхів     |
| Довжина, м                   | 32,85              | 32,85                |
| Ширина, м                    | 16,85              | 16,85                |
| Висота, м                    | 31,00              | 31,00                |
| Об'єм, м <sup>3</sup>        | 17159,19           | 17159,19             |
| Маса, кг                     | $39,46 \cdot 10^6$ | $33,46 \cdot 10^6$   |
| Щільність, кг/м <sup>3</sup> | 2300               | 1950                 |
| Модуль пружності, Па         | $3,0 \cdot 10^9$   | $2,32 \cdot 10^{10}$ |
| Коефіцієнт Пуассона          | 0,25               | 0,18                 |

## ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

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 -  $\rho_0=2600 \text{ кг/м}^3$ ,  $E=2,0 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ,  $\nu=0,37$ ,  $\alpha_1=0,093$ ,  $\alpha_2=0,353$ ,  $\alpha_3=0,554$ ,  $\rho_0 c_s^2 = 12,9 \cdot 10^5$ ,  $\rho_0 c_D^2 = 39,5 \cdot 10^6$ ,  $k = -26,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ;  $\gamma_s = 0,5$ ;  $\eta_D = 229 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ; для піску –  $\rho_0=1500 \text{ кг/м}^3$ ,  $E=5,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ,  $\nu=0,3$ .

В результаті проведеного чисельного моделювання було отримано параметри деформованого стану ґрунтових основ та будівель. На рис. 1 зображено розподіл загальної деформації ґрунтової основи та дев'ятиповерхової панельної будівлі при торцевому напрямку падіння хвилі з  $P=10^7 \text{ Па}$  в залежності від шаруватості ґрунту та його фізико-механічних властивостей.

Аналізуючи результати розрахунків розподілу загальної деформації дев'ятиповерхової панельної будівлі можна прийти до висновку, що найменша деформація 4,4 мм досягається коли вона розташована на ґрунтовій основі, у якій верхній більш потужний шар представлений менш щільним ґрунтом (суглинок 15 м, варіант а), а нижній шар більш щільний ґрунт з більшою акустичною жорсткістю (глина 5 м). Найбільше значення деформації будівлі 5,5 мм спостерігається у варіанті коли верхній шар представлений менш щільним ґрунтом (пісок 15 м, варіант в), а нижній шар більш щільний ґрунт (глина 5 м). При цьому найменше значення деформації ґрунтової основи становить 2,8 мм, а найбільше 3,84 мм відповідно. Це пояснюється тим, що менш щільні, пористі ґрунти є демпфуючими середовищами, в яких відбувається загасання енергії хвиль.

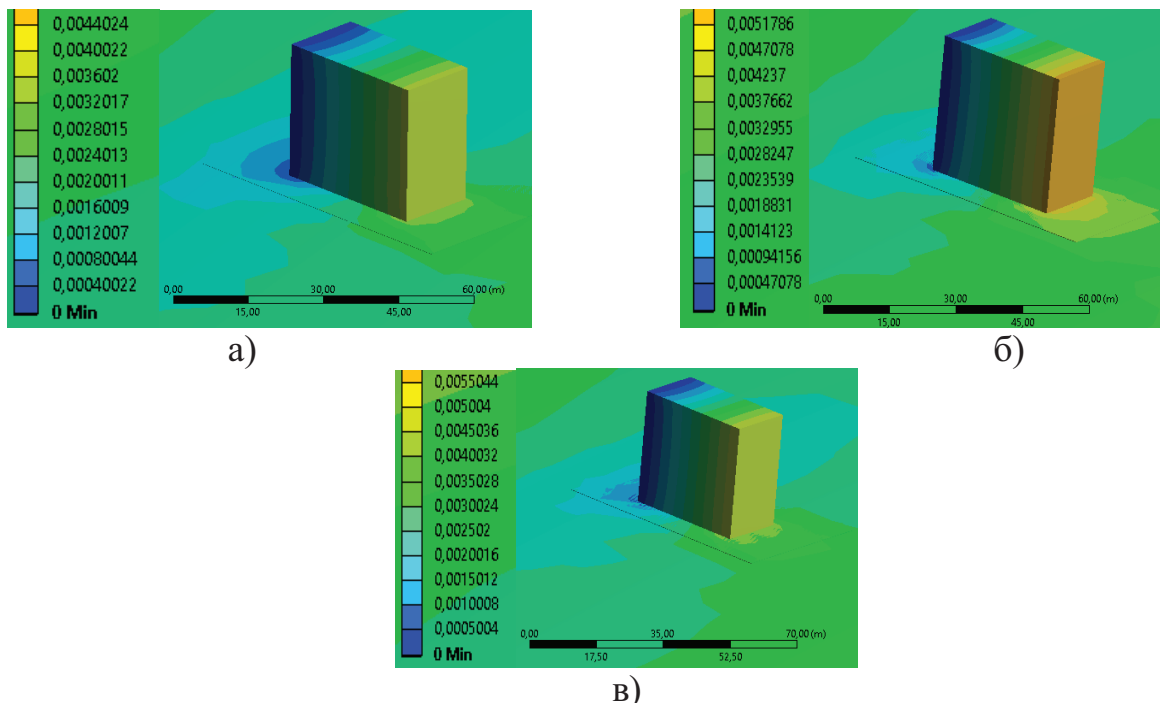


Рисунок 1 – Розподіл загальної деформації ґрунтової основи та дев'ятиповерхової панельної будівлі при торцевому напрямку падіння хвилі з  $P=10^7 \text{ Па}$  в залежності від шаруватості ґрунту та його фізико-механічних властивостей: а) суглинок 15 м – глина 5 м; б) глина 15 м – суглинок 5 м; в) пісок 15 м – глина 5 м

**ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ  
КОРИСНИХ КОПАЛИН**

Також було розраховано загальну деформацію шаруватої ґрунтової основи та дев'ятиповерхових панельних і цегляних будівель з  $P=10^6$  Па, отримані дані наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Загальна деформація дев'ятиповерхової будівлі (Б)  
та ґрунтової основи (О)

| Деформація будівлі та основи – суглинок 15 м – глина 5 м, мм |      |             |      |             |      |             |      |  |
|--|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|--|
| Матеріал будівлі   |      |             |      |             |      |             |      | Величина<br>сейсмічного<br>навантаження,<br>Па |
| Бетон  |      |             |      | Цегла       |      |             |      |  |
| Напрямок падіння хвилі                                       |      |             |      |             |      |             |      |  |
| Торцевий   |      | Фронтальний |      | Торцевий    |      | Фронтальний |      |  |
| Б.   | О.   | Б.          | О.   | Б.          | О.   | Б.          | О.   |  |
| 2,48   | 1,8  | 3,62        | 2,77 | 2,98        | 2,15 | 4,01        | 3,07 | $10^6$   |
| Деформація будівлі та основи – глина 15 м – суглинок 5 м, мм |      |             |      |             |      |             |      |  |
| Матеріал будівлі   |      |             |      |             |      |             |      | Величина<br>сейсмічного<br>навантаження,<br>Па |
| Бетон  |      |             |      | Цегла       |      |             |      |  |
| Напрямок падіння хвилі                                       |      |             |      |             |      |             |      |  |
| Торцевий   |      | Фронтальний |      | Торцевий    |      | Фронтальний |      |  |
| Б.   | О.   | Б.          | О.   | Б.          | О.   | Б.          | О.   |  |
| <b>3,58</b>  | 2,57 | 4,64        | 3,46 | <b>4,38</b> | 3,11 | 6,04        | 4,47 | $10^6$   |
| Деформація будівлі та основи – пісок 15 м – глина 5 м, мм    |      |             |      |             |      |             |      |  |
| Матеріал будівлі   |      |             |      |             |      |             |      | Величина<br>сейсмічного<br>навантаження,<br>Па |
| Бетон  |      |             |      | Цегла       |      |             |      |  |
| Напрямок падіння хвилі                                       |      |             |      |             |      |             |      |  |
| Торцевий   |      | Фронтальний |      | Торцевий    |      | Фронтальний |      |  |
| Б.   | О.   | Б.          | О.   | Б.          | О.   | Б.          | О.   |  |
| 5,11   | 3,58 | 6,09        | 4,42 | 6,24        | 4,75 | 6,14        | 4,43 | $10^6$   |

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 верхній шар ґрунтової основи представлений піском, а нижній щільною глиною порівняно з випадками коли верхній шар представлений більш щільними ґрунтами (суглинок, глина). Це пояснюється тим, що пісок більш пористий, менш щільний ґрунт порівняно з глиною та суглинком, тому він значно більше деформується і це, в свою чергу, викликає більші деформації у будівлі, що розташована на цій ґрунтовій основі.

При рівних параметрах (інтенсивності сейсмічного навантаження, напрямку падіння хвилі, фізико-механічних властивостей основи та будівлі) цегляні будівлі деформуються більше ніж панельні. Наприклад, деформація дев'ятиповерхової цегляної будівлі при торцевому напрямку з  $P=10^6$  Па більше на 0,8 мм (в 1,22 рази), ніж панельної.

Встановлено, що при фронтальному напрямку падіння хвилі виникають більші деформації ніж при торцевому, що пояснюється збільшенням площі взаємодії хвилі з будівлею в 1,94 рази.

**ВИСНОВКИ.** Досліджено деформований стан ґрунтових основ та будівель під час дії сейсмовибухового навантаження. Встановлено, що найбільш сейсмобезпечним є таке розташування шарів ґрунту, коли верхній менш щільний шар має більшу потужність, а нижній шар більш щільний з більшою акустичною жорсткістю.

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

Результати цієї роботи показують, що сейсмостійкими є панельні будівлі, що знаходяться на ґрунтовій основі з щільним нижнім шаром та розташовані торцевою стороною до напрямку поширення сейсмовибухової хвилі. Цей висновок відповідає встановленим нормам та свідчить про достовірність отриманих даних.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кауфман Б.Д., Шульман С.Г. Учет загрузок. Сейсмические воздействия на гидротехнические и энергетические сооружения. – М.: Наука, 1980. – 256 с.
2. Бирбаер А.Н., Шульман С.Г. Прочность и надежность конструкций АЭС при особых динамических воздействиях. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 304 с.
3. Кириллов А.П., Крылов В.В., Саргасян А.Е. Взаимодействие фундаментов сооружений электростанций с основанием при динамических нагрузках. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 354 с.
4. Хачиян Э.Е., Амбарцумян В.А. Динамические модели сооружений в теории сейсмостойкости. – М.: Наука, 1981. – 204 с.
5. Бойко В.В., Кузьменко А.А., Хлевнюк Т.В. Оценка сейсмобезопасности сооружений при воздействии на них взрывных волн с учетом их спектральных характеристик // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2008. – Вип. 16. – С. 3–13.
6. Смогунов В.В., Филиппов Б.Л. Основы механики сплошных сред: учебное пособие. Часть 1. – Пенза: Пенз. гос. ун-т, 2004. – 75 с.
7. Механический эффект взрыва в грунтах / 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 // Прикл. математика и механика. – М.: ИСТИНА, 1960. – Вып. 6. – С. 1057–1072.
9. ДБН 360-92. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень. – Введ. 17.04.1992. – К.: Мінбудархітектури, 1992. – 234 с.

#### THE NUMERICAL SIMULATION OF INTERACTION OF SEISMIC BLAST WAVE WITH THE LAYERED SOIL BASES AND BUILDINGS

**V. Remez, I. Ivanova**

National Technical University of Ukraine «KPI»

vul. Borshagovska, 115, Kyiv, 03056, Ukraine.

E-mail: ilona\_ivanova.a@ukr.net

**Purpose.** Investigate the strain state of the layered soil base and buildings during seismic blasting load with taking into account the physical and mechanical and the in-

ertial parameters of buildings, the relative position of layers and the physical and mechanical properties of soil base, the intensity, and the fall direction of the wave. **Methodology.** We have applied the numerical simulation of strain state of the layered soil bases and buildings during seismic blasting load. We have studied the building and soil as part of continuum mechanics of environment. Soil simulated multi-component viscoplastic medium with variable viscosity. We have used the method of finite element with the calculated mesh of 1458 elements. **Results.** We have explored the strain state of soil bases and buildings during the seismic blasting load. We have found that most seismically safe when the less dense upper layer has more power, and the bottom layer is denser with more acoustic rigidity. We have found that panel buildings more seismic resistant compared to brick structures, because they have more inertial properties. We established that most seismic safe direction is lateral direction of the fall wave. The results of this work showed that seismic resistant are panel buildings that located on the soil base with thick bottom layer and are located lateral side to the direction of propagation of the seismic blasting waves. This conclusion meets the standards and demonstrates the reliability of the data. **Originality.** For the first time, we have carried out the research of the strain state of layered soil bases (top layer with a power of 15 m and bottom layer with a power of 5 m) and nine storey buildings with taking into account the physical and mechanical and inertial parameters of buildings, the intensity and direction of incident of seismic blasting wave, the physical and mechanical properties of the soil. **Practical value.** The results of this research can be used in an underground blasting in layered soils near protected objects (underground and surface) and the design and operation of buildings near blasting for the calculation of rational parameters of explosion with minimal seismic effect.

**Key words:** simulation, seismic blast wave, load, strain, layered base, building.

#### REFERENCES

1. Kaufman, B.D. and Shul'man, S.G. (1980), *Ychet nagruzok. Seismichiskie vozdeistvia na gidrotechnicheskie i energeticheskie sooruzenia* [Account of loadings. Seismic impact of hydrotechnic and energy buildings], Nayka, Moscow, Russia.
2. Birbraer, A.N. and Shul'man, S.G. (1989), *Prochnost i nadeznost konstruksuy AЭС pri osobuch dynamicheskikh vozdeictviyach* [Durability and reliability of constructions of NPP at the special dynamic influences], Energoatomizdat, Moscow, Russia.
3. Kirillov, A.P., Krylov, V.V. and Sargsyan, A.E. (1984), *Vzaimodeistvie fundamentov sooruzeniy elektrostanziy s osnovaniem pri dynamicheskikh nagruzkach* [The interaction of foundations of buildings of power-stations with the base at the dynamic loadings], Energoatomizdat, Moscow, Russia.
4. Khachiyani, E.E. and Ambarcumyan, V.A. (1981), *Dynamicheskije modeli sooruzeniy v teorii seismostoikosti* [Dynamic models of buildings in the theory of seismic resistance], Nayka, Moscow, Russia.
5. Boyko, V. V., Kuz'menko, A.A. and Khlevnyuk T.V. (2008), "The evaluation of seismic safety of buildings during influence on them of explosive waves with taking into account their spectral descriptions", *Herald of National technical university of Ukraine "KPI", Series "Mining"*, no. 16, pp. 3–13.

6. Smogunov, V.V. and Fylypov, B.L. (2004), *Osnovu mehaniki sploshnych sred, uchebnoe posobie. Chast 1* [Fundamentals of mechanics of continuous media: tutorial. Part 1], Penza. Russia.

7. Luchko, I.A., Plaksiy V.A., Remez N.S. et al. (1989), *Mechanicheskiy efekt vzruva v gruntach* [The mechanical effect of explosion in soils], edited by I.A. Luchko Academician of Science USSR. Institute of Geophysics name S.I. Subbotina, Naykova dumka, Kiev, Ukraine.

8. Grigorian, S.S. (1960), *Ob onovnykh predstavleniyach mehaniki gruntov* [On the basic conceptions of mechanics of soil], Applied Mathematics and Mechanics, ISTINA, Moscow, Russia.

9. The state building codes 360 (1992), *Mistobuduvannya. Planuvannya i zabudova miskuch i silskuch poselen* [The town planning. Planning and development of urban and rural settlements], Minbudarhitektury, Kiev, Ukraine.

Стаття надійшла 19.12.2015.

УДК 624.15.001:624.131.537

### **ВИЗНАЧЕННЯ КОРИГУЮЧИХ МНОЖНИКІВ ДЛЯ ЗІСТАВЛЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ СТІЙКОСТІ СХИЛІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РІЗНИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ**

**К. С. Причина**

ДВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. Карла Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49000, Україна.

E-mail: kateryna.prychyna@gmail.com

У статті наведені результати дослідження щодо встановлення якісного і кількісного зв'язку між різними методами і підходами до розрахунку стійкості ґрунтових схилів на основі формули Соколовського. Отримані відповідні коригуючі множники, які були введені в розрахунки на основі методів ламаної лінії ковзання і лінії ковзання у вигляді ступеневої функції. На цій основі запропоновано вдосконалену методику розрахунку стійкості, яка була перевірена на точність і адекватність на базі фактичного зсуву. Результати досліджень будуть корисні при проектуванні заходів інженерного захисту та освоєнні схилівих територій.

**Ключові слова:** схил, укіс, стійкість, коефіцієнт стійкості, зсув, лінія ковзання, коригуючі множники.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРЕКТИРУЮЩИХ МНОЖИТЕЛЕЙ ДЛЯ СОПОСТАВЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА**

**Е. С. Причина**

ГВУЗ «Національний горний університет»

просп. Карла Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49000, Украина.

E-mail: kateryna.prychyna@gmail.com

В статье приведены результаты исследования по установлению качественной и количественной связи между различными методами и подходами к расче-