

УДК 624

Бакулін Є.А., канд.техн.наук,
Костира Н.О., канд.техн.наук,
Бакуліна В.М.

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ЗАПАСУ ПАЛІ ПРИ УМОВІ ЗБІЛЬШЕННЯ СЕЙСМІЧНОСТІ ДІЛЯНКИ

Сейсмологічні умови будівництва внаслідок обводнення території, залягання шарів лесових ґрунтів, які відносяться до просідаючих і інших особливостей рельєфу місцевості, мають тенденцію до підвищення балу сейсмічних дій. У деяких областях України була збільшена інтенсивність сейсмічних навантажень у середньому на один бал. У зв'язку з цим актуальною є перевірка результатів розрахунку будівлі при ймовірному збільшенні сейсмічності ділянки.

Ключові слова: землетрус, сейсмологічні умови будівництва, пальові фундаменти, коефіцієнт запасу палі.

Постановка проблеми. Землетрус характеризується короткими поштовхами, які тривають декілька секунд і обумовлені переміщенням блоків земної кори. Сплески-удари розповсюджуються від епіцентра на значні відстані у вигляді детонаційних відголосів. У центральній частині України може бути відголос землетрусів у 2-4 бали, який здатен впливати на місцевий стан ґрунту. Від детонації можуть виникати зсув, просадка слабких шарів ґрунту, як наслідок-деформується основа будівель і споруд, осідають фундаменти [1, 2].

Дослідження роботи пальових фундаментів, а саме коефіцієнта запасу палі проводиться при збільшенні сейсмічності ділянки з 8 до 9 балів, та впливу на характер його зміни конструктивних особливостей будівель. Для розрахунку прийнято дві будівлі каркасної конструктивної системи: десятиповерхова з основними несучими елементами – колонами та восьмиповерхова з колонами і пілонами, та шістнадцятиповерхова будівля з основними несучими елементами стінами [3].

Основна частина. Для проведення дослідження у науковій частині було обрано програмний комплекс МОНОМАХ. Суть розрахунку даного програмного комплексу ґрунтується на методі скінченних елементів. МСЕ заснований на ідеї апроксимації неперервної функції (температури, тиску, переміщення і т. п.) дискретною моделлю, що будується на великій кількості частинно-неперервних функцій, які визначені на скінченному числі підобластей, що називаються *скінченними елементами* [4]. Наприклад, загальна задача розрахунку пружного тіла (елемента конструкції і т. п.) може бути сформульована як задача визначення переміщень у всіх точках тіла, тобто як задача визначення вектора $u(x, y, z)$, який повинен задовольняти рівняння пружності та граничні умови [3]. Функція переміщень $u(x, y, z)$ для суцільного

тіла неперервна і аналітично може бути представлена в наступному вигляді:

$$u(x, y, z) = \alpha_1 \varphi_1(x, y, z) + \alpha_2 \varphi_2(x, y, z) + \dots + \alpha_n \varphi_n(x, y, z), \quad (1)$$

де $\varphi_1(x, y, z), \varphi_2(x, y, z), \dots, \varphi_n(x, y, z)$ - базисні функції які задаються;
 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ - невідомі постійні коефіцієнти, які потрібно визначити.

Дослідження коефіцієнта запасу палі $K_{зп}$ проводиться при збільшенні сейсмічності ділянки з 8 до 9 балів та характеру його зміни в залежності від конструктивних особливостей будівель. Для розрахунку було прийнято три будівлі з різними конструктивними схемами (рис.1.).

Несучий шар ґрунту для досліджуваних об'єктів прийнятий наступним – піски кварцові, однорідні по гранульованому складу, насичені водою. Палі буронабивні $d = 620$ мм.

Розрахунок будівель проводився в ПК Мономах для сейсмічності ділянки 8 і 9 балів.

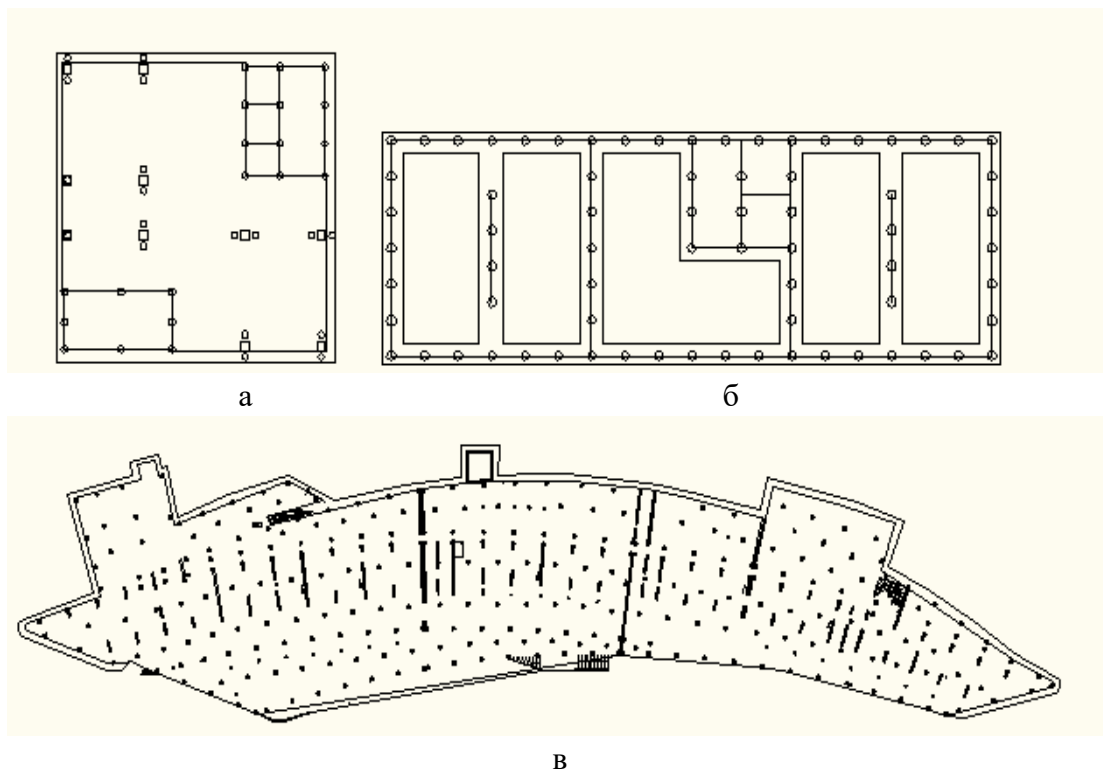


Рис. 1. Конструктивні схеми досліджуваних будівель: а - десятиповерхова будівля з основними несучими елементами колонами; б - шістнадцяти поверхова будівля з основними несучими елементами стінами; в - восьмиповерхова будівля з основними несучими елементами колонами та пілонами

Для кожної палі приведено зусилля R_z за розрахунком. Результати були розподілені на чотири групи залежно від поєднання завантажень, в яких присутні сейсмічні навантаження в різних напрямках:

$$I \text{ поєднання} - 0,99 \cdot P + 0,96 \cdot D + 0,6 \cdot K + 1 \cdot C1;$$

$$II \text{ поєднання} - 0,99 \cdot P + 0,96 \cdot D + 0,6 \cdot K - 1 \cdot C1;$$

III поєднання - $0,99 \cdot P + 0,96 \cdot D + 0,6 \cdot K + 1 \cdot C2$;

IV поєднання - $0,99 \cdot P + 0,96 \cdot D + 0,6 \cdot K - 1 \cdot C2$,

де P – постійне навантаження, D – тривале навантаження, K – короткочасне навантаження, $C1$ – сейсмічне навантаження із напрямом по куту 0^0 , $C2$ – сейсмічне навантаження з напрямом по куту 90^0 .

Для кожної групи виконано порівняння зусиль в палях при сейсмічності ділянки 8 і 9 балів шляхом співвідношення їх величин. Мінімальне відношення R_{z9}/R_{z8} склало 0,74, максимальне відношення – 1,17. Відношення R_{z9}/R_{z8} було розподілене на два інтервали, тобто: $0,74 \div 1,0$ і $1,0 \div 1,17$.

У таблиці 1 представлений розподіл відносної частоти відношення R_{z9}/R_{z8} по інтервалах з урахуванням поєднання завантажень. Таким чином, для подальшого аналізу були прийняті відношення R_{z9}/R_{z8} більші одиниці.

Таблиця 1

Відносна частота розподілу відношення R_{z9}/R_{z8} по інтервалах

Конструктивна схема	Поєднання завантажень	Відносна частота розподілу відношення R_{z9}/R_{z8} по інтервалах, %	
		0,74 ÷ 1,0	1,0 ÷ 1,17
I	I поєднання завантажень	44	56
	II поєднання завантажень	44	56
	III поєднання завантажень	28	72
	IV поєднання завантажень	50	50
II	I поєднання завантажень	34	66
	II поєднання завантажень	66	34
	III поєднання завантажень	18	72
	IV поєднання завантажень	72	18
III	I поєднання завантажень	50	50
	II поєднання завантажень	50	50
	III поєднання завантажень	46	54
	IV поєднання завантажень	54	46

На рис.2 представлені порівняльні діаграми зусиль в палях при сейсмічності ділянки 8 і 9 балів з урахуванням поєднання завантажень. Крапками на діаграмах позначені зусилля в палях. Для кожного поєднання завантажень та для кожної конструктивної схеми будівель побудована лінійна залежність $R_{z7} = K_{zn} \cdot R_{z6}$, де K_{zn} - емпіричний коефіцієнт, отриманий із співвідношення на основі статистичної обробки розрахункових даних.

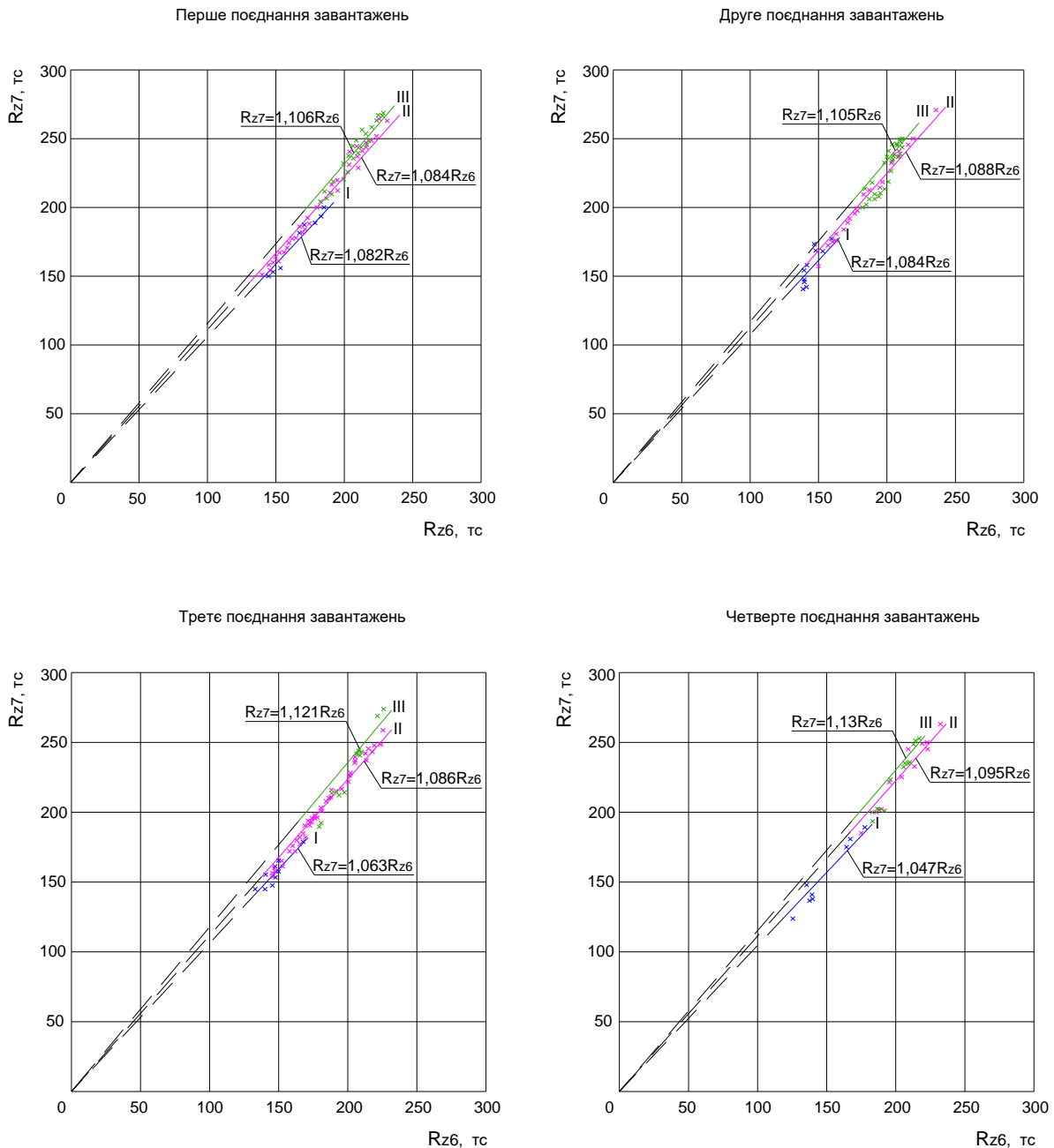


Рис. 2. Порівняльні діаграми зусиль в палях при сейсмічності ділянки 8 і 9 балів з урахуванням поєднання завантажень: R_{z6} – зусилля в палях при сейсмічності ділянки 8 балів; R_{z7} – зусилля в палях при сейсмічності ділянки 9 балів

У таблиці 2 приведені основні статистичні параметри, отримані при обробці величин R_{z8} і R_{z9} (середнє квадратичне відхилення; коефіцієнт варіації, %; коефіцієнт кореляції між R_{z8} і R_{z9}). Необхідно відзначити, що значення середнього квадратичного відхилення і коефіцієнта варіації невеликі, величини кореляції знаходяться в межах від 0,73 до 0,99 і близькі до одиниці. Ці показники свідчать про високий ступінь взаємозв'язку зусиль в палях при сейсмічності ділянки 8 і 9 балів. По розподілу Стюдента отримані двосторонні інтервали для коефіцієнтів при довірчій ймовірності 95%.

Основні статистичні параметри відношення R_{z9} / R_{z8}

Посадження завантажень	Середнє квадра- тичне відхилен- ня R_{z9} / R_{z8}	Коефіцієнт варіації, $R_{z9} / R_{z8}, \%$	Коре- ляція між R_{z8} і R_{z9}	Інтервал максимальн ої частоти розподілу R_{z9} / R_{z8}	Коефіцієнт отриманий методом найменши х квадратів $k = R_{z9} / R_{z8}$	Довірчий інтервал для K_{zn} по критерію Пірсона і Стьюдента
I конструктивна схема						
I	0,039	3,6	0,995	1,0-1,17	1,082	1,05-1,09
II	0,063	5,8	0,895	1,0-1,17	1,084	1,05-1,09
III	0,033	3,1	0,925	1,0-1,17	1,063	1,05-1,09
IV	0,058	5,6	0,980	1,0-1,17	1,047	1,05-1,09
II конструктивна схема						
I	0,025	2,32	0,997	1,0-1,17	1,084	1,08-1,1
II	0,028	2,56	0,97	1,0-1,17	1,088	1,08-1,1
III	0,026	2,39	0,967	1,0-1,17	1,086	1,08-1,1
IV	0,03	2,76	0,93	1,0-1,17	1,095	1,08-1,1
III конструктивна схема						
I	0,036	3,26	0,813	1,0-1,17	1,106	1,1-1,13
II	0,038	3,45	0,774	1,0-1,17	1,105	1,1-1,13
III	0,06	5,43	0,825	1,0-1,17	1,121	1,1-1,13
IV	0,054	4,77	0,727	1,0-1,17	1,130	1,1-1,13

Розглянемо приклад практичного використання коефіцієнта запасу палі K_{zn} при розрахунку двадцятидвохповерхової будівлі з основними несучими елементами колонами та пілонами. Розрахунок проводився в ПК МОНОМАХ для сейсмічності ділянки 8 балів у м. Києві.

На рис. 3 наведена мозаїка зусиль в палях даної будівлі. Для аналізу розрахунку приймаємо палі діаметром 600 мм.

Зосереджене навантаження, що передається на ростверк становить 432 тс. За результатами польових досліджень несуча здатність буронабивної палі $d=600$ мм, $l=20$ м становить 160 тс. Несучий шар ґрунту прийнятий: пісок мілкий, щільний, вологонасичений. Таким чином, конструкція фундаменту для даної колони за розрахунками буде наступною: палі $d = 600$ мм, $l = 20$ м (рис.4).

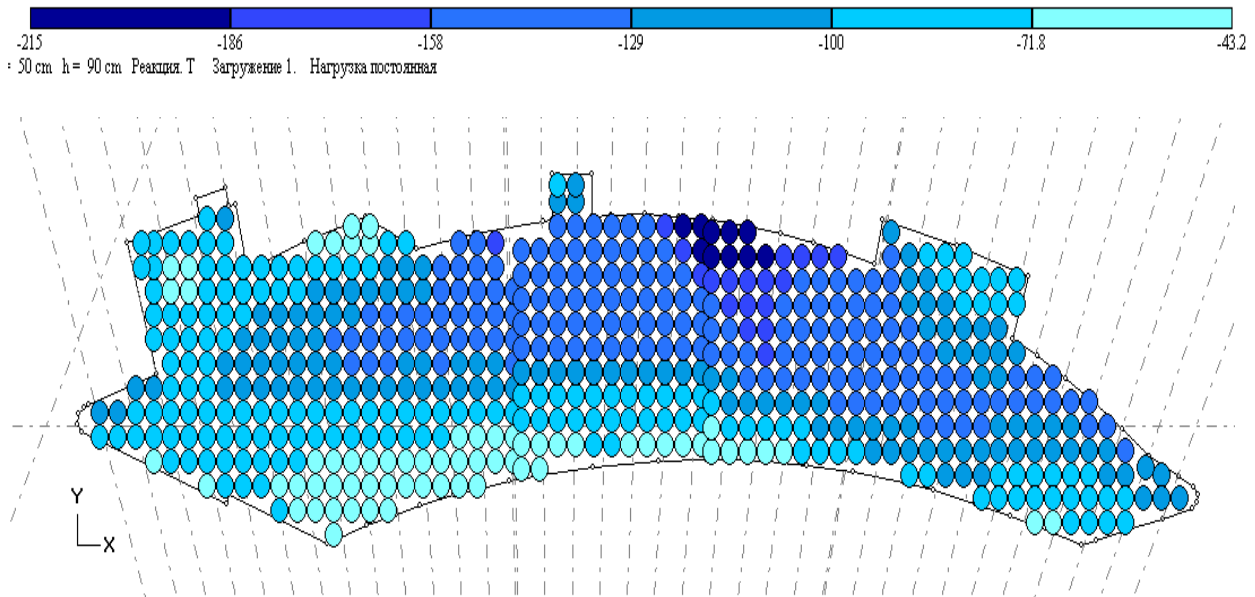


Рис. 3. Мозаїка зусиль в палях при розрахунку в ПК МОНОМАХ за умови сейсмічності 8 балів, тс

Згідно розрахунку зусилля в палях R_{z8} при сейсмічності ділянки 8 балів:

1. $R_{z8}=142$ тс;
2. $R_{z8}=156$ тс;
3. $R_{z8}=133$ тс;
4. $R_{z8}=143$ тс.

Таким чином, за результатами розрахунку будівлі при сейсмічності ділянки 8 балів прийняте конструктивне рішення ростверку з палями є правильним.

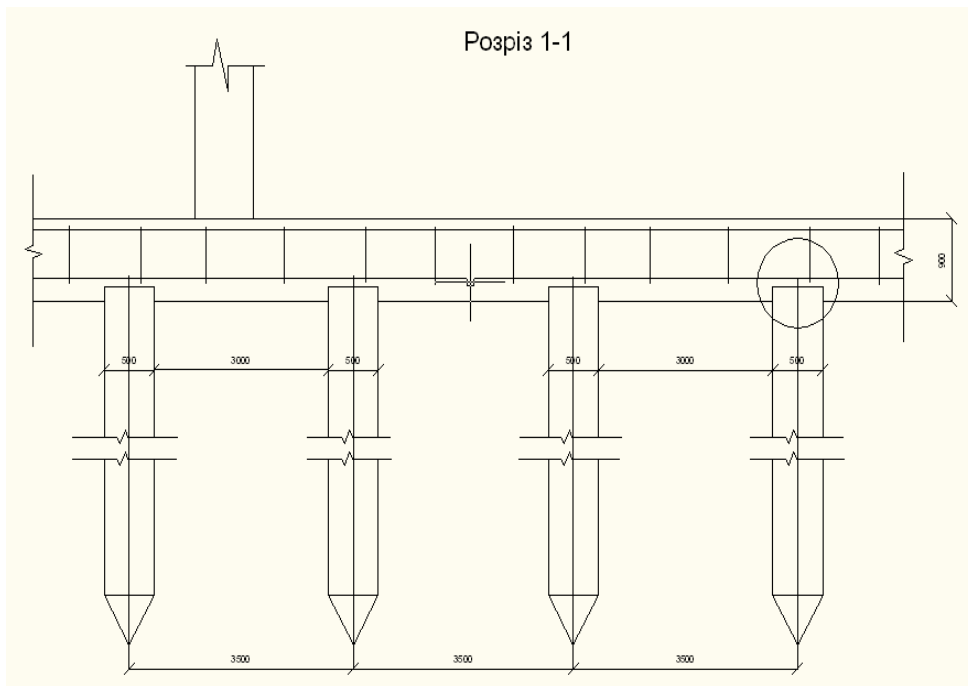


Рис. 4. Конструкція пальового фундаменту

При умові збільшення сейсмічності ділянки з 8 до 9 балів потрібно розрахункові зусилля в палях R_{z8} при сейсмічності 8 балів помножити на коефіцієнт запасу палі $K_{зп}$, характерний для другої конструктивної схеми (несучими елементами будівлі є колони та пілони). Тоді зусилля в палях при сейсмічності 9 балів матимуть наступні значення:

1. $R_{z9} = R_{z8} \cdot K_{зп} = 142 \times 1,1 = 156,2$ тс;
2. $R_{z9} = R_{z8} \cdot K_{зп} = 156 \times 1,1 = 171,6$ тс;
3. $R_{z9} = R_{z8} \cdot K_{зп} = 133 \times 1,1 = 146,3$ тс;
4. $R_{z9} = R_{z8} \cdot K_{зп} = 143 \times 1,1 = 157,3$ тс.

Таким чином, зробимо наступний висновок: розрахункове зусилля в палі 2 при введенні коефіцієнта $K_{зп}$ більше від її несучої здатності. Отже, необхідно прийняти заходи по збільшенню несучої здатності палі і відповідно зміцненні конструкції ростверку.

Пропонуються наступні шляхи вирішення даної проблеми: по-перше необхідно збільшити несучу здатність палі шляхом зміни її геометричних характеристик, наприклад, збільшенням діаметра; по-друге розглянути зміну конструкції ростверку, наприклад, введенням додаткової п'ятої палі.

Висновки. Для кожної групи виконані порівняння зусиль в палях при сейсмічності ділянки 8 і 9 балів шляхом співвідношення їх величин. Мінімальне співвідношення R_{z8}/R_{z9} складає 0,74, а максимальне – 1,17. Для кожного сполучення навантажень побудована лінійна залежність $R_{z9} = K_{зп} \cdot R_{z8}$, де $K_{зп}$ – емпіричний коефіцієнт запасу, отриманий на основі статистичної обробки даних за критерієм Пірсона і Стьюдента. Аналізуючи результати розрахунку коефіцієнта запасу палі $K_{зп}$, можна зробити висновки, щодо його залежності від конструктивної схеми будівлі: для каркасу з несучими елементами колонами $K_{зп} = 1,04-1,08$; для каркасу з колонами і пілонами $K_{зп} = 1,09-1,13$.

Список використаних джерел

1. Будівництво в сейсмічних районах України. Норми проектування : ДБН В.1.1–12:2006. – К.: Мінбуд України, 2006 – 78 с.
2. Немчинов Ю. И. Проблемы проектирования и строительства в сейсмоопасных районах Украины и основные направления норм по сейсмостойкому строительству – Асоціація українського сейсмостійкого будівництва, 2003.
3. Уздин А. М. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений / А. М. Уздин. – С. Петербург, 1993. – 176 с.
4. Зенкевич О. К. Метод конечных элементов в технике / О. К. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.

Аннотация

Сейсмологические условия строительства вследствие обводненности территории, залегания слоев лёссовых грунтов, относящихся к просадочным и других особенностей рельефа местности, имеют тенденцию к повышению бала сейсмических воздействий. В некоторых областях Украины была увеличена интенсивность сейсмических нагрузок в среднем на один балл. В связи с этим актуальной является проверка результатов расчета здания при вероятном увеличении сейсмичности участка.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмологические условия строительства, палевые фундаменты, коэффициент запаса сваи.

Annotation

Earthquake terms of construction due to irrigation of site, stratification layers of loess soils, which refer to subsiding soils and other features of site relief, have tendency to increase balls of seismic loading. In some regions of Ukraine intensity of seismic load has been increased on the average for one ball. In terms of this it's actually to checks up the results of building calculating when probably the increasing of location seismicity.

Keywords: earthquake, seismological terms of building, palevi foundations, coefficient of supply of pile.