

Числове моделювання напружено-деформований стану пальового фундаменту будинку з використанням різних моделей ґрунтової основи

Віктор Носенко¹, Остап Кашоїда²

^{1,2}Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,
¹v.s.nosenko@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-8261-1846
²o.o.kashoida@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9234-4489

DOI: 10.32347/0475-1132.38.2019.34-43

Анотація. Числовим моделюванням досліджено взаємодію елементів системи «основи – фундаменти – надземні конструкції» при різних варіантах врахування ґрунтового середовища.

У даний час в міській забудові активно будують висотні будинки та споруди. Часте використання пальових фундаментів обумовлено тим, що вони мають більшу несучу здатність в порівнянні з звичайним фундаментами неглибокого закладання. На етапі проектування перед інженерами постає питання; яку модель деформації ґрунтового середовища обрати?

Перспективним напрямком проектування пальових фундаментів є підвищення економічності та надійності проектних рішень за рахунок використання раціональної кількості паль та ефективного використання їх несучої здатності. У роботі виконано порівняння напружено-деформованого стану систем «основа – фундаменти – надземні конструкції», що змодельовані різними варіантами: 1) без врахування основи (нижній кінець палі жорстко защемлений); 2) за допомогою коефіцієнтів жорсткості основи, що можуть бути уточнені на різних стадіях розрахунку; 3) моделювання ґрунтового масиву об'ємними скінченними елементами.

Порівняно результати розрахунку будівлі з різними варіантами моделювання ґрунтового середовища. Розглянуто вплив фундаментної плити при врахуванні її як несучого елемента на напружено-деформований стан фундаментів. Досліджено перерозподіл зусиль в палях в залежності від різних варіантів моделювання ґрунтового масиву. Виділено характерні палі та вантажні площі: середня, кутова, в ядрі (під залізобетонною стіною), периферійна. Виявлено перерозподіл зусиль між палями і фундаме-



Віктор Носенко
доцент кафедри
геотехніки
к.т.н., доц.



Кашоїда Остап
аспірант кафедри
геотехніки.

нтною плитою. Чисельне моделювання виконано в програмному комплексі «Ліра – САПР 2018».

Ключові слова. Пальовий фундамент, числове моделювання, коефіцієнти перемінної жорсткості, об'ємний ґрунтовий масив.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Перед будівництвом будь-якої споруди, чи будинку виконують її розрахунок. Так як на сучасному етапі розвитку розрахункових програмних комплексів можна з відносною легкістю створити скінчено-елементну модель і виконати її розрахунок, щоб дізнатися напружено-деформований стан (НДС) будь-якого елемента системи «основи – фундаменти – надземні конструкції». Важливу роль у коректності отриманих результатів відіграє метод моделювання ґрунтового середовища.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботах Бойко І.П. [1, 7], Сахаров В.О. [4], Шашкін К.Г. [6], Уліцький В.М. [5], висвітлюється питання моделювання взаємодії паливових фундаментів з ґрунтовою основою.

МЕТА РОБОТИ

Дослідити вплив обраної моделі ґрунтового середовища на НДС паливового фундаменту будинку.

ЗАДАЧІ

- 1) Аналіз основних моделей ґрунтового середовища, що широко використовуються у розрахунках фундаментів.
- 2) Числове моделювання НДС системи «основа – фундаменти – надземні конструкції» з використанням таких варіантів моделей основи:
 - із жорстким защемленням нижніх кінців палів;
 - із використанням перемінних коефіцієнтів жорсткості основи що уточнюються за декілька ітерацій розрахунку для моделювання взаємодії палів із ґрунтом;
 - із використанням пружного середовища ґрунтового масиву (рис. 1).
- 3) Порівняти НДС паливового фундаменту отриманого за використанням різних моделей основи.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналітичні розрахунки, числове моделювання системи «основи – фундаменти – надземні конструкції» при різних варіантах врахування ґрунтового середовища з використанням ПК «Ліра – САПР 2018».

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження було обрано ідеалізований 20-ти поверховий житловий будинок каркасного типу. Висота поверху 3000 мм, товщина плити перекриття 250 мм, пілони перерізом 300x900 мм, буроін'єкційні палі діаметром 620 мм і довжиною 16 м, що об'єднані між собою монолітною залізобетонною фундаментною плитою (далі ФП) висотою 1 м (рис. 2).

В якості ґрунтового середовища прийнято пісок дрібний середньої щільності, що має наступні фізико-механічні характеристики: щільність – 1.75 г/см^3 ; щільність «скелету» ґрунту – 2.66 г/см^3 ; коефіцієнт пористості – 0.6; вологість – 0.05; модуль загальних деформацій – 35 МПа; питоме зчеплення – 2 кПа; кут внутрішнього тертя – 32° ; коефіцієнт Пуассона – 0.3; що залягає однорідно під всім будинком і по глибині.

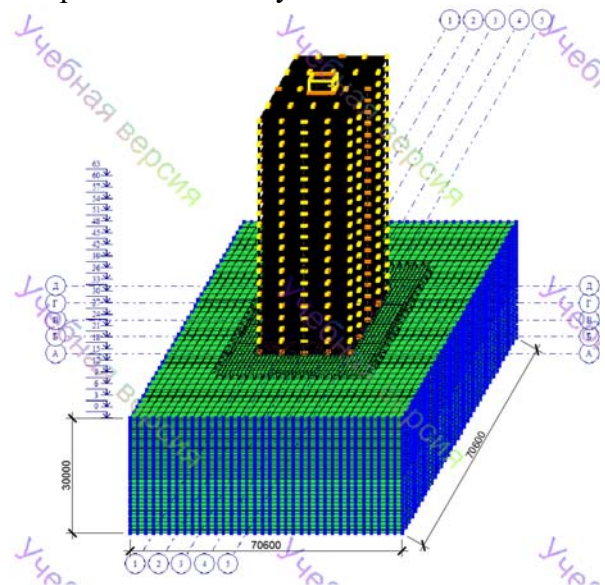


Рис.1. Скінчено-елементна модель.
Fig.1. Finite element model.

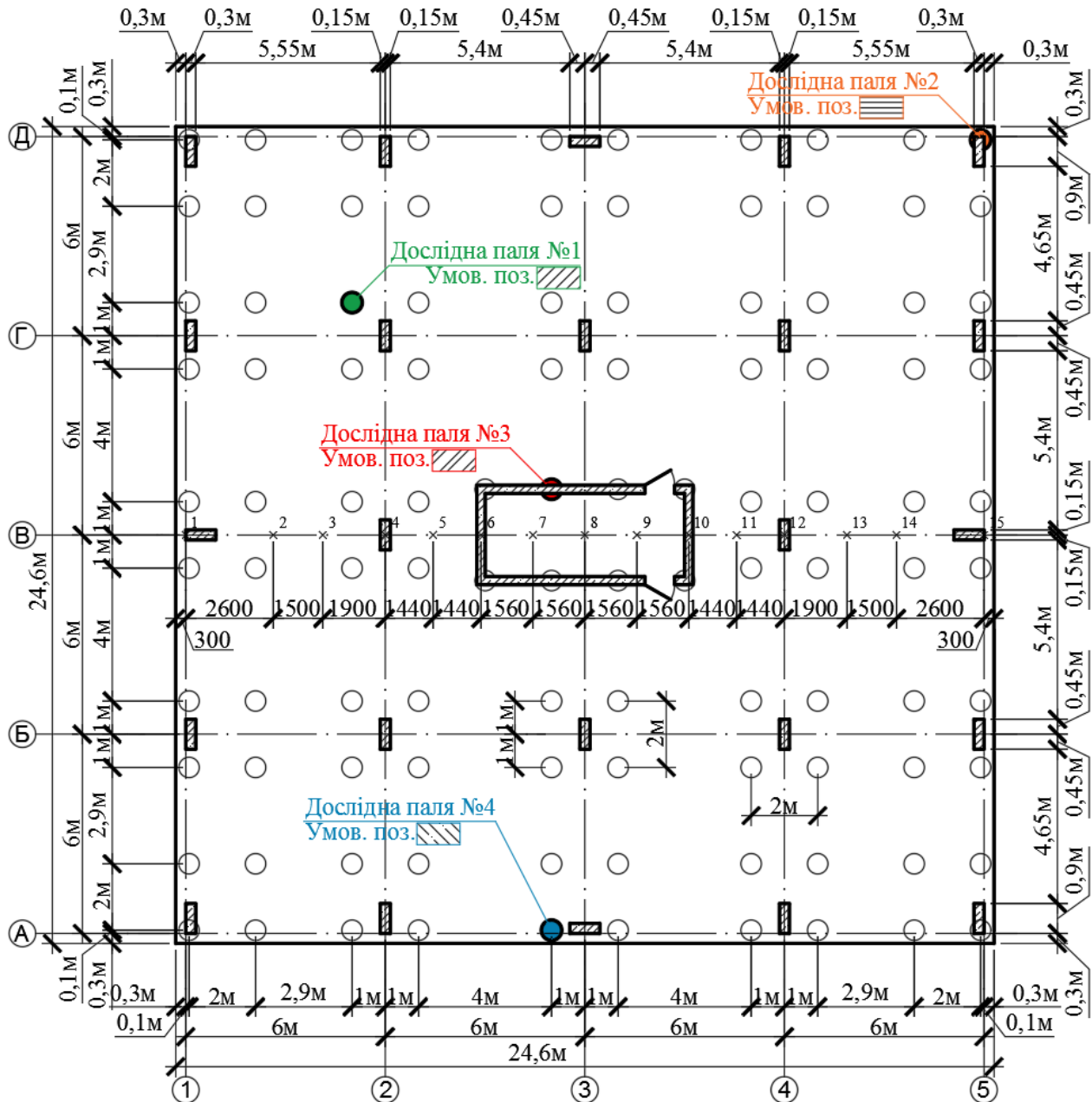


Рис.2. Схема конструктивних елементів.
Fig.2. Scheme of structural elements.

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК

У даному розрахунку за допомогою формул із ДБН В.2.1-10:2018 «Основи і фундаменти будівель та споруд» було визначено несучу здатність палі по ґрунту, що рівна 2157.61 кН. Також було визначено нижню межу стисливої зони ґрунту, що знаходиться на глибині 28.65 м від поверхні ґрунту. Для подальшого числового моделювання приймаємо ґрунтовий масив висотою 30 м.

Виконувався збір навантажень на вертикальні несучі елементи за допомогою вантажних площ та через сумування навантажень в вузлах у програмному комплексі. За допомогою вантажних площ на пілон першого поверху в осях (2; Г) передалося 9630 кН, а через сумування навантажень у вузлах – 8594 кН. Різниця в отриманих результатах була у кожній вантажній площі. Це явище зумовлено тим, що під-час збору навантажень через вантажні площі ніяк не враховується жорсткість каркасу будинку.

Тому для отримання більш-коректних результатів розрахунку необхідно використовувати різні програмні комплекси, що базуються на методі скінченних елементів.

ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛІ ІЗ ЗАЦЕМЛЕННЯМ НИЖНЬОГО КІНЦЯ ПАЛІ

Суть даного методу моделювання полягає в тому, що нижній кінець (вузол) палі заземлюється і в результаті чого утворюється «палія-стійка». Защемлення обмежує лінійні та кутові, переміщення по всім трьом осям глобальної системи координат. Даний метод моделювання ніяк не враховує ґрунтовий масив та його вплив на палі чи фундаменту плиту (рис. 5, рис. 6).

До переваг даного методу моделювання пального фундаменту можна віднести те, що він виконується з відносною простотою та малою затратою часу для розрахунку.

До недоліків можна віднести те, що не можливо отримати дійсні осідання палі, та фундаментної плити, так-як нижній кінець палі жорстко зацмлений.

Отримані результати в дослідних паліях:

Палія 1: зусилля - 1884 кН; осідання - 2.5 мм.

Палія 2: зусилля - 2256 кН; осідання - 3.0 мм.

Палія 3: зусилля - 4248 кН; осідання - 5.8 мм.

Палія 4: зусилля - 2531 кН; осідання - 3.4 мм.

Також був виконаний розрахунок з поступовим наростанням жорсткості моделі (рис. 3, рис.4).

Палія 1: зусилля - 1920 кН; осідання - 3.5 мм.

Палія 2: зусилля - 2117 кН; осідання - 3.8 мм.

Палія 3: зусилля - 4072 кН; осідання - 7.2 мм.

Палія 4: зусилля - 2501 кН; осідання - 4.5 мм.



Рис. 3. Зусилля в паліях в залежності від стадії монтажу.

Fig. 3. Efforts in piles depending on the stage of installation.

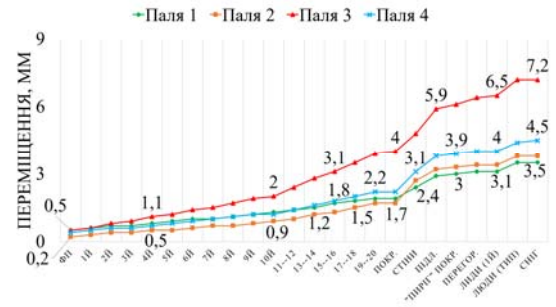


Рис. 4. Переміщення палі в залежності від стадії монтажу.

Fig. 4. Displacement piles depending on the installation stage.



Рис. 5. Зусилля в паліях при різних варіантах розрахунку.

Fig. 5. Efforts in piles for different calculation options.

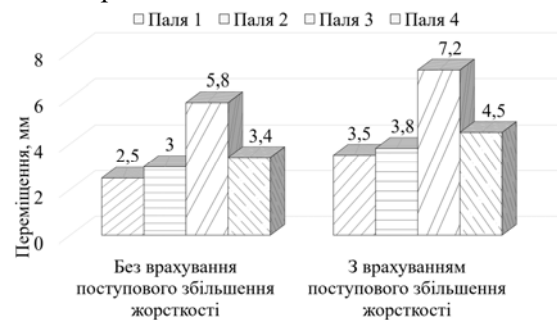


Рис. 6. Переміщення в дослідних паліях при різних варіантах розрахунку.

Fig. 6. Displacement in the experimental piles with different calculation options

ВАРІАНТ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРЕМІННИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ЖОРСТКОСТІ, ЩО УТОЧНЯЮТЬСЯ ЗА ДЕКІЛЬКА ІТЕРАЦІЙ РОЗРАХУНКУ

У даному методі моделювання у вузли якими розбиті палі по дожині вводяться одновузлові скінченні елементи, які моделюють жорсткість основи.

Жорсткість палі, що модулюється через «СЕ 57», в ПК «Ліра – САПР 2018», визна-

чається шістьма величинами [8]:

R_x, R_y, R_z – погонні жорсткості вздовж глобальних осей та/або локальних осей координат вузла X, Y, Z.

R_{ux}, R_{uy}, R_{uz} – погонні жорсткості навколо глобальних осей та/або локальних осей координат вузла X, Y, Z.

1. Погонна вертикальна жорсткість R_z визначається в відповідності до діючих будівельних норм. На основі заданих характеристик ґрунтів визначаються:

- усереднені модуль зсуву $G1$ та коефіцієнт Пуассона $\nu1$ вздовж довжини палі L :

$$G1 = \frac{\sum_{i=1}^{NL} G_i * h_i}{L}; \quad \nu1 = \frac{\sum_{i=1}^{NL} \nu_i * h_i}{L}; \quad (1)$$

- усереднені модуль зсуву $G2$ та коефіцієнт Пуассона $\nu2$ вздовж довжини ($k*L$) нижче п'яти палі:

$$G2 = \frac{\sum_{j=1}^{NeL} G_j * h_j}{k * L}; \quad \nu2 = \frac{\sum_{j=1}^{NeL} \nu_j * h_j}{k * L}; \quad (2)$$

де:

E_i - модуль деформації i -го шару ґрунту

$i = 1 - : -n$;

$G_i = E_i / 2 / (1 + \nu_i)$; - модуль зсуву i -го шару ґрунту;

k – коефіцієнт глибини під п'ятою палі, що враховує характеристики ґрунту нижче п'яти.

Погонна жорсткість палі без розширення п'яти:

$$R_z = \frac{G1 * L}{\beta}; \quad (3)$$

Було виконано наступні варіанти розрахунків за допомогою коефіцієнтів жорсткості (табл.1):

А) Розрахунок моделі без врахування роботи фундаментної плити (для неї не вираховувались коефіцієнти жорсткості основи), та з параметром взаємного впливу сусідніх паль одна на одну 4D;

В) Розрахунок моделі з врахуванням роботи ФП (для неї вираховувались коефіцієнти жорсткості основи), тобто вона розвантажувала палі. Параметр взаємного впливу сусідніх паль: 4D;

С) Розрахунок моделі без врахування роботи ФП (для неї не вираховувались коефіцієнти жорсткості основи), та без врахування взаємного впливу сусідніх паль одна на одну.

Д) Як в пункті "А", але з врахуванням поступової зміни жорсткості чисельної моделі (застосовано система «Монтаж»);

Е) Як в пункті "А", але з уточненням коефіцієнтів жорсткості, що вираховувались за декілька ітерацій розрахунків (рис. 7);

Ф) Як в пункті "В", але з автоматичним перерахунком коефіцієнтів жорсткості для паль, а коефіцієнти жорсткості для фундаментної плити визначались теж автоматизовано, але тиск на ґрунт прикладався в ручну (рис. 8, рис.9).

До переваг даного методу моделювання ґрунтового масиву можна віднести те, що він виконується з відносною простотою, та малою затратою часу на виконання розрахунку в порівнянні з розрахунком і створенням моделі з об'ємним масивом.

До недоліків можна віднести те, що даний метод моделювання не дає можливості визначити дійсний згинаючий момент у палях та визначає не зовсім коректні результати при врахуванні в роботу фундаментної плити.

Результати розрахунку «Е» та «Ф», методу моделювання наведені в якості графіків. Їх необхідно читати в наступним чином: 1) результати по першому розрахунку; 2) результати після першого уточнення коефіцієнтів жорсткості основи; 3) те саме, після другого уточнення; 4) те саме, після третього уточнення; 5) те саме, після четвертого уточнення; 6) те саме, після п'ятого уточнення. Мається на увазі уточнення коефіцієнтів жорсткості по новим, діючим навантаженням.

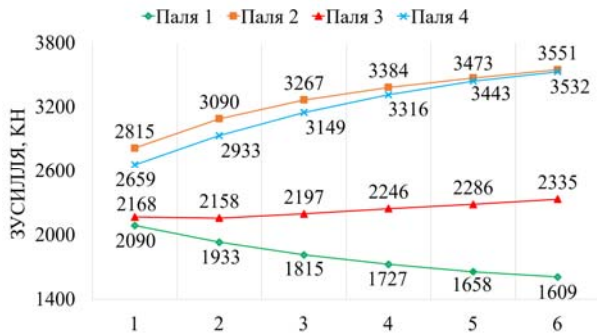


Рис. 7. Зусилля в палях на різних ітераціях варіанту E.

Fig. 7. Efforts in piles on different iterations of option E.

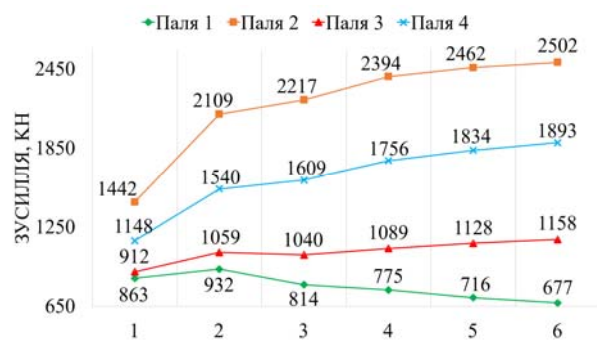


Рис. 8. Зусилля в палях на різних ітераціях варіанту F.

Fig. 8. Efforts in piles on different iterations of option F.

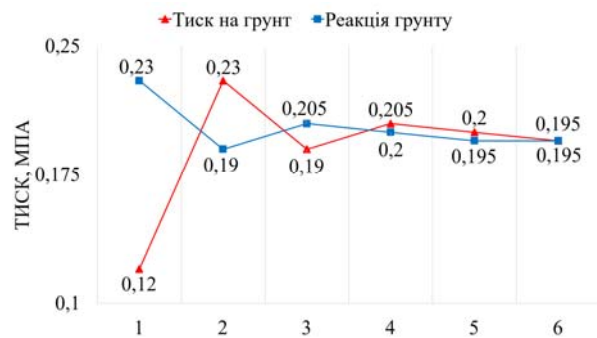


Рис. 9. Графік тиску на ґрунт, та тиску на фундаментну плиту (ростверк). Варіант F.

Fig. 9. Schedule of soil pressure and raft pressure. Option F.

ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄМНОГО ГРУНТОВОГО МАСИВУ

Даний метод моделювання полягає в тому, що каркас будинку (споруди) влаштовується на об'ємних скінченних елементах, які мають такі ж фізико-механічні характеристики як і ґрунт.

Табл. 1. Отримані зусилля та осідання

	N, kH				S, мм			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
A	2090	2815	2168	2659	53	40	68	54
B	863	1442	912	1148	22	21	29	23
C	2070	2050	3630	2384	7	6	11	8
D	2122	2637	2249	2665	74,5	51	96,3	72,9
E	1609	3551	2335	3532	53	37	68	51
F	677	2502	1158	1893	25	22	32	26

Розрахунок було розбито частини (табл. 2):

A) ґрунтовий масив моделюється як пружне середовище (лінійна робота);

A1) ФП не спиралась на ґрунтовий масив (не включалась в роботу) (рис. 10);

A2) те саме, але ФП опирається на ґрунт (передає частину навант. на основу) (рис. 11);

B) обмеження несучої здатності палі, тобто при досяганні певного (граничного) зусилля вона виключалась з роботи $F_d = 250m.c.$;

B1) ФП не спиралась на ґрунтовий масив (не включалась в роботу);

B2) те саме, але ФП опирається на ґрунт (передає частину навант. на основу);

До переваг даного методу моделювання ґрунтового масиву можна віднести те, що можна отримати коректні величини згинаючих моментів, що виникають в самих палях (жодний інший метод не дає можливості визначити дане зусилля) (рис. 12-14).

До недоліків можна віднести те, що даний метод вимагає велику (більшу ніж в інших варіантах) кількість трудо-затрат інженера на створення, та перевірку скінчено-елементної моделі (щоб вузли палей, та фундаментної плити, співпадали з вузлами об'ємних скінченних елементів), ну і великих затрат часу на виконання розрахунку [2, 3].

Табл. 2. Отримані зусилля та осідання

	N, kH				S, мм			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
A1	1589	3453	2472	3326	7	11	2	16
A2	1442	2727	2031	2835	4	9	1	13
B1	2047	2452	2452	2452	130	103	156	126
B2	748	1212	896	1105	105	84	125	103

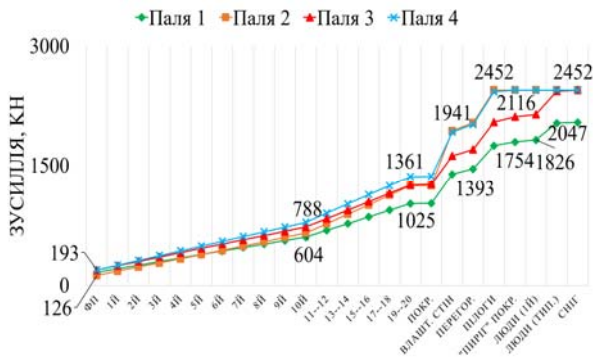


Рис. 10. Зміна зусиль в палях з обмеженням зусилля та без врахування фундаментної плити в роботу фундаментів.

Fig. 10. Change of efforts in the piles with limited effort and without taking into account the raft when working the foundations.

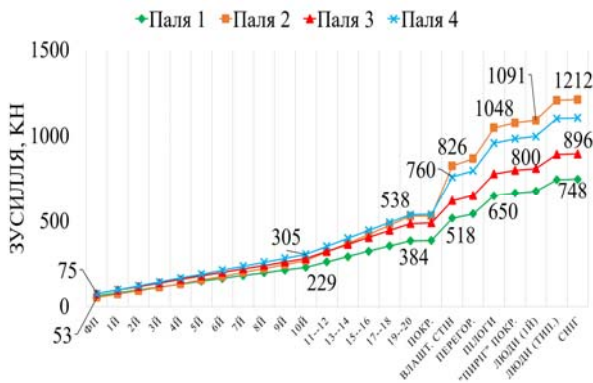


Рис. 11. Зміна зусиль в палях з обмеженням зусилля та з врахуванням фундаментної плити в роботу фундаментів.

Fig. 11. Change of efforts in the piles with limited effort and with taking into account the raft when working the foundations.

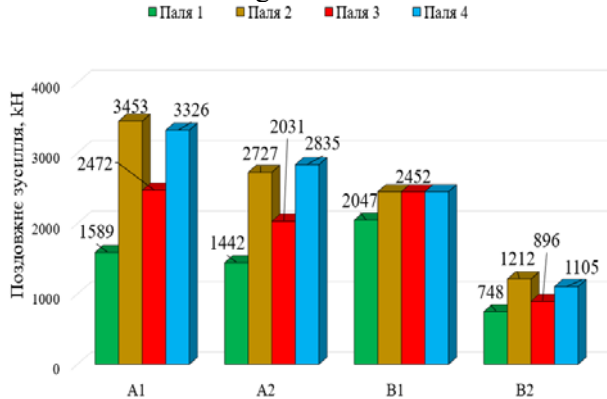


Рис. 12. Поздовжні зусилля в палях з використанням об'ємних скінченних елементів.

Fig. 12. Axial efforts in piles using volumetric finite elements.

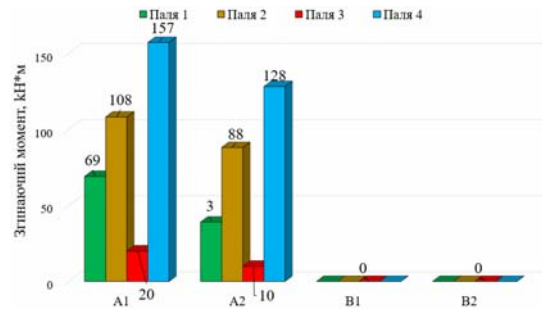


Рис. 13. Максимальні значення згинальних моментів в палях з використанням об'ємних скінченних елементів.

Fig. 13. Maximum values of bending moments in piles using volumetric finite elements.

У варіанті «В1» та «В2» не визначились згинаючі моменти через те, що параметри скінченного елемента яким моделювались палі не має можливості визначити дане зусилля.

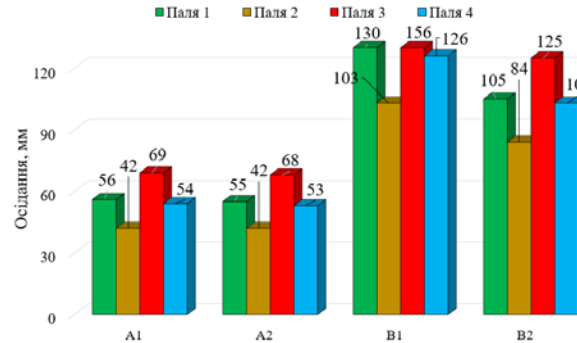


Рис. 14. Осідання палей з використанням об'ємних скінченних елементів.

Fig. 14. Displacement piles using volumetric finite elements.

ПОРІВНЯННЯ ЗГИНАЮЧИХ МОМЕНТІВ У ФУНДАМЕНТНІЙ ПЛИТІ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД МЕТОДУ МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВИ

У даному розділі наведено порівняння згинаючих моментів, що виникають у фундаментній плиті від дії навантажень та порівняння їх між собою.

Критеріями порівняння є:

- 1) врахування, або не врахування ФП в роботу (рис.15, рис.16);
- 2) радіуси впливу для «СЕ-57» (рис.17);
- 3) «СЕ-57» та об'ємні скінченні елементи (рис. 18).

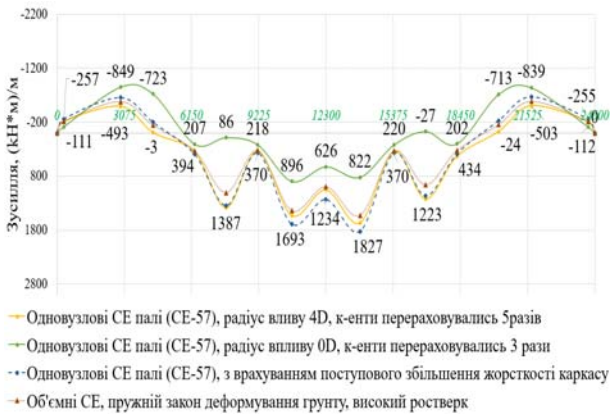


Рис. 15. Згинальні моменти у ФП по осі "X", варіанти без включення ФП в роботу.
 Fig. 15. Bending moments in the raft on the "X" axis, options without turning raft into operation.

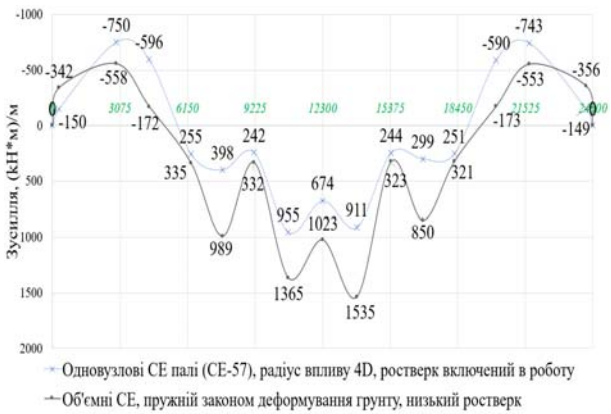


Рис. 16. Згинальні моменти у ФП по осі "X", варіанти з включення ФП в роботу.
 Fig. 16. Bending moments in the raft on the "X" axis, options with turning raft into operation.

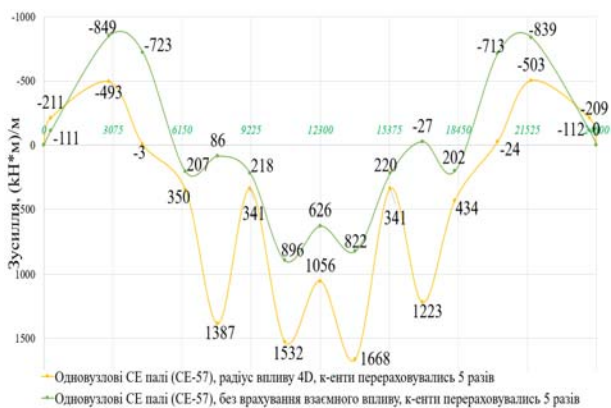


Рис. 17. Згинальні моменти у ФП по осі "X", в залежності від врахування "радіусів взаємного впливу палей".
 Fig. 17. Bending moments in the raft on the "X" axis, depending on the consideration of "radius of interaction of piles".



Рис. 18. Згинальні моменти у ФП по осі "X", при врахуванні послідовного зведення будівлі системою "Монтажем".
 Fig. 18. Bending moments in the raft along the "X" axis, while considering the consistent erection of the building with the system "Stage construction".

ВИСНОВКИ

Показано, що в залежності від вибору моделі ґрунтового середовища для оцінки напружено-деформованого стану пальового фундаменту можна отримати як кількісно та і якісно різні результати. Так наприклад, при найбільш простому варіанті моделювання «защемлення нижнього кінця паль» найбільші навантаження отримані у центральних палях тоді як використання моделі «перемінних коефіцієнтів жорсткості» із урахуванням впливу між сусідніми палями або «об'ємного ґрунтового масиву» дає найбільші значення навантаження на кутові та периферійні палі, що підтверджено даними інших дослідників на основі числових та натурних експериментів.

Показано, що при використанні моделі «перемінних коефіцієнтів жорсткості основи» із урахуванням впливу між сусідніми палями необхідно уточнювати значення цих коефіцієнтів, що найменше за 5 ітерацій для отримання коректних даних по навантаженню на палі.

Показано, що при використанні моделі «об'ємного ґрунтового масиву» з використанням пружного закону деформування основи можна отримати різні результати розрахунку, якщо обмежити навантаження на палю. При використанні моделі з обмеженням навантаження на палі максимально

завантажуються периферійні палі та ті, що знаходяться під ядром жорсткості, а при використанні моделі без обмеження навантаження на палю максимально завантажуються лише периферійні палі.

Показано, що значення на епюрі згинаючих моментів в фундаментній плиті також можуть відрізнятися як кількісно так і якісно. Після порівняння епюр, без врахування фундаментної плити в роботу, можна зробити висновок, що при використанні моделі з «жорстко зацмеленим нижнім кінцем палі» одержуються найменші значення згинаючих моментів, що призведе до недоармування фундаментної плити. Найбільш коректні результати можна отримати при моделюванні на «об'ємному ґрунті» (пружний закон деформування), або на «перемінних коефіцієнтах жорсткості» (з уточненням цих коефіцієнтів).

При порівнянні епюр згинаючих моментів в фундаментній плиті, з врахування її в роботу, то недоармованою плита буде якщо використовувати модель на «перемінних коефіцієнтах жорсткості», а переармованою – на «об'ємному ґрунтовому масиві» (пружний закон деформування, з обмеженням навантаження на палю). Найбільш-коректні результати було отримано в результаті моделювання на «об'ємному ґрунтовому масиві» (пружний і нелінійний закон деформування).

Після порівняння епюр згинаючих моментів в ФП при використанні моделі «з зацмеленим нижнім кінцем паль», можна зробити висновок, що поступове збільшення жорсткості каркасу не призводить до якоїсь суттєвої різниці в величинах на епюрі. Це зумовлено тим, що дослідний будинок має просту геометричну форму, та застосовується одна й та ж конструктивна схема на кожному поверсі.

Порівнявши отримані поздовжні зусилля в дослідних палях можна побачити, що при моделюванні за допомогою «перемінних коефіцієнтів жорсткості» можна отримати схожі результати як в моделі на «об'ємному ґрунтовому масиві» з пружним законом деформування. Різниця в зусиллях у серед-

ній палі становлять 20 кН (1,26%), у кутовій палі – 98 кН (2,84%), у тій, що під ядром – 86 кН (3,82%), у периферійній – 206 кН (6,19%). Дані результати належать до варіантів моделювання без врахування фундаментної плити в роботу.

При врахуванні фундаментної плити в роботу результати не співпадають. Тому при моделюванні за допомогою «перемінних коефіцієнтів жорсткості» фундаменту не потрібно враховувати в роботу фундаменту, навантаження повинні сприймати тільки палі (ФП йде в запас).

ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко І.П. Особливості взаємодії пальових фундаментів під висотними будинками з їх основою. / І.П.Бойко // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. – 2006. – Вип. 30. – С. 3-8.
2. Носенко В.С. Напружено-деформований стан пальово-плитних фундаментів секційних висотних будинків: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Носенко Віктор Сергійович. – К.: КНУБА, 2012. – 175с.
3. Підлущкий В.Л. Взаємодія фундаментної плити з палями різної довжини з ґрунтовою багатопаловою основою: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Підлущкий Василь Леонідович. – К.: КНУБА, 2013. – 230с.
4. Сахаров В.О. Моделювання взаємодії пальового фундаменту з нелінійною основою в умовах прибудови: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Сахаров Володимир Олександрович. – К.: КНУБА, 2005. – 215 с.
5. Улицкий В.М. Расчеты и интерактивный мониторинг при строительстве зданий в сложных грунтовых условиях / В.М. Улицкий, К.Г. Шашкин, А.Г. Шашкин // *Технологии безопасности и инженерные системы № 2(13)*. – С-Пб: Стройиздат. – 2007. – С. 16-19.
6. Шашкин К.Г. Взаимодействие здания и основания: Методика расчета и практическое применение при проектировании / К.Г.Шашкин, А.Г.Шашкин. – С-Пб: Стройиздат, 2002. – 48с.
7. Boyko I.P. Finite element simulation of the loss of stable resistance in a foundation-soil system / I.P. Boyko, V.S. Boyandin, A.E. Delnik, A.L. Kozak, A.S. Sakharov // *Archive of Applied Mechanics № 62*. – 1992. – p. 316-328.

8. Городецкий А.С. Компьютерные модели конструкций / А.С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – Київ: ФАКТ, 2007. – 392с.

REFERENCES

1. Boyko I.P. (2006). Osoblyvosti vzaiemodii palovykh fundamentiv pid vysotnymy budynkamy z yikh osnovoiv [Features of the interaction of pile foundations under high-rise buildings with their foundation]. *Osnovu i fundamenty: Mizhvidomchyj naukovotekhnichnyj zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 30, 3-8 (in Ukrainian).
2. Nosenko V.S. (2012). Napruzhenodeformovanyj stan paljovo-plytnykh fundamentiv sekcijnykh vysotnykh budynkiv [Stress-strain state of plate-pile foundations of sectional high-rise buildings]. Dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.02. Kyiv: KNUBA, 175 (in Ukrainian).
3. Pidluts'kyi V.L. (2013). Vzayemodiya fundamentnoyi plyty z palyamy riznoyi dovzhyny z gruntovoyu bagatosharovoyu osnovoyu [Interaction of a base plate with piles of different lengths with a soil multilayer basis]. Dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.02. Kyiv: KNUBA, 230 (in Ukrainian).
4. Sakharov V.O. (2005). Modelyuvannya vzayemodiy paljovogo fundamentu z nelinijnoyu osnovoyu v umovakh prybudovy [Modeling of the interaction of a pile foundation with a nonlinear basis in the conditions of an extension]. Dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.02. Kyiv: KNUBA, 215 (in Ukrainian).
5. Ulitskiy V.M., Shashkin K.G., Shashkin A.G. (2007). Raschjoty i interaktivnyj monitoring pri stroitel'stve zdaniy v slozhnykh gruntovykh usloviyakh [Calculations and interactive monitoring during the construction of buildings in difficult ground conditions]. *Tekhnologii bezopasnosti i inzhenernye sistemy*. S-Petersburg: Strojizdat, 2(13), 16-19 (in Russian).
6. Shashkin K.G., Shashkin A.G. (2002). Vzaimodejstvie zdaniya i osnovaniya: Metodika rascheta i prakticheskoe primenenie pri proektirovanii [Interaction of the building and the foundation: Method of calculation and practical application in the design]. S-Petersburg: Strojizdat, 48 (in Russian).
7. Boyko I.P., Boyandin V.S., Delnik A.E.,

Kozak A.L., Sakharov A.S. (1992). Finite element simulation of the loss of stable resistance in a foundation-soil system. *Archive of Applied Mechanics*, 62, 316-328.

8. Gorodetskiy A.S. (2007). Computer models of structures. Kyiv, FAKT, 392 (in Ukrainian)/

Numerical simulation the stress-strain state of the pile foundation building using different soil models

Viktor Nosenko
Ostap Kashoida

Summary. Numerical simulation investigates the interaction of the elements of the system "base - foundation - superstructures" under different variants models of the soil.

Currently, high-rise buildings and structures are actively being built in the city. Frequent use of pile foundations is due to the fact that they have a greater bearing capacity than conventional foundations shallow laying. At the design stage, engineers are asked a question; which model of deformation of the soil medium is higher to choose?

A promising area of pile foundation design is to increase the cost-effectiveness and reliability of design solutions through the use of a rational number of piles and the effective use of their bearing capacity. The work compares the stress-strain state of the systems "base - foundation - superstructures", modeled in different variants: 1) without taking into account the base (the tip of the pile is rigidly trapped); 2) by means of the stiffness coefficients of the substrate, which can be specified at different stages of calculation; 3) modeling the soil mass with three dimensional finite elements.

Comparison results of the calculation with different variants of soil modeling. The influence of the pile raft when considering it as a supporting element on the stress-strain state of the foundations is considered. The force redistribution in piles has been investigated depending on different variants of soil modeling. Characteristic piles are distinguished: average, angular, in the core (central zone), peripheral. The redistribution of effort between the piles and the base plate is revealed. Numerical simulation was performed in the software complex "Lira-SAPR 2018".

Key words. Pile foundation, numerical simulation, variable stiffness coefficients, volumetric soil massif.