

## Дослідження впливу способів моделювання паль на розподіл зусиль у пальному фундаменті

Людмила Бондарева<sup>1</sup>, Дмитро Нечипоренко<sup>2</sup>

Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,  
<sup>1</sup>skochko.lo@knuba.edu.ua, orcid.org/ 0000-0001-7392-814X  
<sup>2</sup>dimanechiporenko072@gmail.com, orcid.org /

DOI: 10.32347/0475-1132.44.2022.44-54

**Анотація.** Досліджено та проаналізовано вплив на розподіл зусиль в пальному фундаменті та на його деформації способу моделювання паль і ґрунтового середовища.

На основі отриманих результатів продемонстровано відмінність у розподілі зусиль в палях та різниця осідань пального фундаменту між моделями в яких елементи схеми такі, як «основа» і «фундамент» були створені різними методами, а також позначено зони в яких піки зусиль були найбільшими та найменшими.

Конструктивна схема та геологічні умови базуються на існуючому проекті та інженерно-геологічних вишукуваннях.

Скінченно елементна модель будинку складається з основи, підземних та надземних конструкцій. Для моделювання роботи основи використано лінійну пружну модель з наступними параметрами ґрунту:  $E$  – модуль пружності;  $V$  – коефіцієнт Пуассона; та ідеально пружно-пластичну модель Кулона-Мора, в якій ґрунт задано такими параметрами:  $E$  – модуль пружності;  $V$  – коефіцієнт Пуассона;  $c$  – питоме зчеплення;  $\varphi$  – кут внутрішнього тертя. Розрахунок виконувався за допомогою програмного комплексу «ЛІРА-САПР 2017»

З метою покращення та підвищення точності результатів розрахунку була зроблена ідентифікація параметрів ґрунту, вихідними даними для якої використано результати випробування паль на статичне вдавлювання. Параметри ґрунту, які внаслідок ідентифікації було отримано, застосовані до моделі ґрунтового середовища в розрахунковій схемі. В результаті цього, можна оцінити вплив



**Людмила Бондарева**  
доцент кафедри  
геотехніки  
к.т.н.



**Дмитро Нечипоренко**  
магістр кафедри  
геотехніки

ідентифікації параметрів ґрунту на зміну напружено деформованого стану (НДС) фундаментних конструкцій та порівняти значення зусиль в палях і деформації фундаменту до ідентифікації та після.

З розвитком технологій та програмних комплексів збільшилась кількість і варіативність методів розрахунку, отже, і різноманітність розрахункових моделей. Кожна розрахункова модель є унікальною та створюється з певною метою – наблизити результати розрахунків до реальної роботи фундаментних конструкцій. Виникає необхідність в створенні найбільш ефективного та раціонального способу моделювання для досягнення поставлених цілей та отримання швидкого і точного результату.

**Ключові слова.** Палля, зусилля, ґрунтове середовище, осідання, числове моделювання, ідентифікація параметрів ґрунту.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

На сьогоднішній день розроблено багато способів замодельовати палі і спосіб їх взаємодії з ґрунтовим середовищем. Для моделювання використовуються різні типи скінченних елементів (СЕ), і чим складніше є СЕ тим довше буде виконуватись розрахунок. Великий обсяг рівнянь і, як наслідок, велика тривалість обчислень не завжди виправдана. Тому розумний вибір СЕ дає змогу з високою збіжністю та раціональним використанням ресурсів, отримати результати поставленої задачі і є важливою складовою в сучасному проектуванні.

## АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Нерівномірний розподіл зусиль в палях був помічений в попередніх роботах пов'язаних з числовим моделюванням [1-3]. Проблема характеристик ґрунтів, які отримані за результатами польових випробувань та їх коригування під час розрахунків висвітлюється в роботах Бойко І.П., Носенка В. С. та ін.

## МЕТА РОБОТИ

Дослідження розподілу зусиль в палях залежно від способу їх моделювання та від способу моделювання ґрунтового середовища. Визначення найбільш ефективної розрахункової схеми за такими параметрами, як швидкість розрахунку та якість отриманих результатів.

## ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проектування будинків на пальному фундаменті є дуже розповсюдженим у наш час. Такий тип фундаменту дозволяє спорджувати висотні будинки. Оскільки в сучасному світі розвиток великих міст відбувається дуже швидко то питання з якісного розрахунку палових фундаментів є актуальним.

Об'єктом дослідження була обрана секція, яка входить до складу житлового

комплекса в м. Київ. Форма будинку в плані проста, наближена до прямокутної. Кількість поверхів – 24 плюс підвал. На першому і другому поверхах розміщені офісні приміщення, приміщення для обслуговування населення, громадські приміщення господарського призначення. Висота типового поверху складає 3 м, підвалу – 2,2 м, першого поверху – 4,2 м, другого – 3,3 м.

Конструктивна схема будинку каркасно-монолітна. Несучими елементами є пілони товщиною 250...400 мм та монолітні стіни в місці де передбачено ліфтово-сходовий вузол, а також в підвалі, їх товщина складає 200...250 мм. Горизонтальними дисками жорсткості слугують плити перекриття товщиною 200 мм.

Фундаменти являють собою пальове поле з буроін'єкційних паль діаметром 620 мм, довжина палі 21 м. Вони об'єднані між собою монолітним плитним ростверком товщиною 1,2 м.

Ґрунтами, що залягають на цій території є піски, які являють собою надійну основу для майбутньої будівлі.

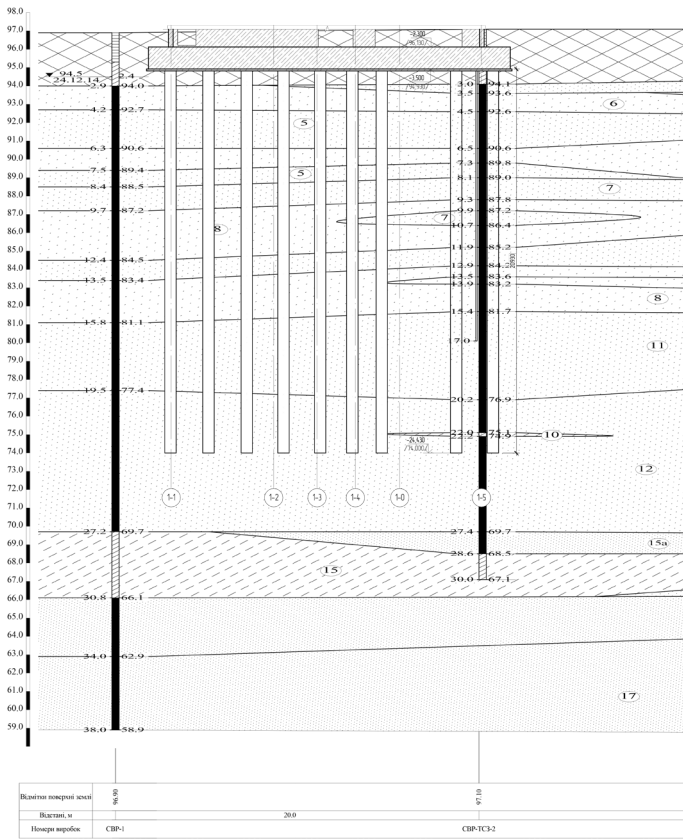
На Рис. 1 зображена посадка будинку на інженерно-геологічний розріз та основні параметри ґрунтів.

Вхідні дані мають значний вплив на якість і точність результатів розрахунку, тому дуже важливо перед створенням розрахункових моделей провести їх ретельний аналіз.

В даній роботі розглянуто декілька способів моделювання паль і ґрунтового середовища. Для виконання розрахунків застосовано метод скінченних елементів (МСЕ) реалізований в програмному комплексі «ЛІРА-САПР 2017».

Для оцінки впливу на розподіл зусиль в палях і деформації фундаменту створено три основні розрахункові схеми, в яких палі задавалися різними методами. Далі розглянуто способи моделювання паль:

1) Одновузловий скінченний елемент «паль» - СЕ57 (Рис. 2)



Умовні позначення:

- Н Насипний ґрунт  $\rho=1,65 \text{ т/см}^3$
- 5 Пісок дрібний, щільний  $\rho=1,85/2,00 \text{ т/см}^3$ ;  $E=33 \text{ МПа}$ ;  $c=3 \text{ кПа}$ ;  $\phi=32 \text{ град}$
- 6 Пісок дрібний, середньої щільності  $\rho=1,81/1,99 \text{ т/см}^3$ ;  $E=25 \text{ МПа}$ ;  $c=2 \text{ кПа}$ ;  $\phi=30 \text{ град}$
- 7 Пісок середньої крупності, щільний  $\rho=2,06 \text{ т/см}^3$ ;  $E=35 \text{ МПа}$ ;  $c=2 \text{ кПа}$ ;  $\phi=34 \text{ град}$
- 8 Пісок середньої крупності середньої щільності  $\rho=2,02 \text{ т/см}^3$ ;  $E=28 \text{ МПа}$ ;  $c=1 \text{ кПа}$ ;  $\phi=31 \text{ град}$
- 10 Супісок пластичний  $\rho=1,98 \text{ т/см}^3$ ;  $E=11 \text{ МПа}$ ;  $c=9 \text{ кПа}$ ;  $\phi=17 \text{ град}$
- 11 Пісок середньої крупності, щільний  $\rho=2,07 \text{ т/см}^3$ ;  $E=36 \text{ МПа}$ ;  $c=1 \text{ кПа}$ ;  $\phi=35 \text{ град}$
- 12 Пісок дрібний, щільний  $\rho=2,08 \text{ т/см}^3$ ;  $E=37 \text{ МПа}$ ;  $c=3 \text{ кПа}$ ;  $\phi=34 \text{ град}$
- 15 Супісок пластичний  $\rho=2,06 \text{ т/см}^3$ ;  $E=25 \text{ МПа}$ ;  $c=18 \text{ кПа}$ ;  $\phi=23 \text{ град}$
- 15a Пісок пилуватий  $\rho=2,01 \text{ т/см}^3$ ;  $E=25 \text{ МПа}$ ;  $c=4 \text{ кПа}$ ;  $\phi=31 \text{ град}$
- 17 Пісок пилуватий, щільний  $\rho=2,04 \text{ т/см}^3$ ;  $E=28 \text{ МПа}$ ;  $c=5 \text{ кПа}$ ;  $\phi=34 \text{ град}$
- 18 Пісок дрібний, щільний  $\rho=2,12 \text{ т/см}^3$ ;  $E=40 \text{ МПа}$ ;  $c=4 \text{ кПа}$ ;  $\phi=37 \text{ град}$

Рис.1. Інженерно-геологічний розріз майданчика будівництва та посадка фундаменту.  
 Fig.1. Engineering-geological cross section of the building site and basing of the foundation



Рис.2. Скінченний елемент 57.  
 Fig.2. Finite element 57.

Одноузловий скінченний елемент CE57 моделює роботу паль спільно з навколишнім ґрунтом, але без врахування взаємного впливу між палями, має набір таких параметрів (Рис. 3): довжина палі, поперечний переріз, модуль пружності,  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$  – погонні жорсткості палі вдовж глобальних осей та  $R_{ux}$ ,  $R_{uy}$ ,  $R_{uz}$  – погонні жорсткості палі навколо глобальних осей.

При застосуванні CE57 можна використовувати як лінійну так і ідеально пружно-пластичну модель ґрунтового середовища.

Застосовуючи в якості основи ідеально пружно-пластичну модель, для даного способу моделювання паль, можна помітити, що максимальні зусилля виникають в палях, які розміщені по

контуру та під діафрагмою жорсткості будинку. Якщо ж основа є лінійним пружним середовищем то піки зусиль переважно з'являються в середніх палях під сходовою клітиною.

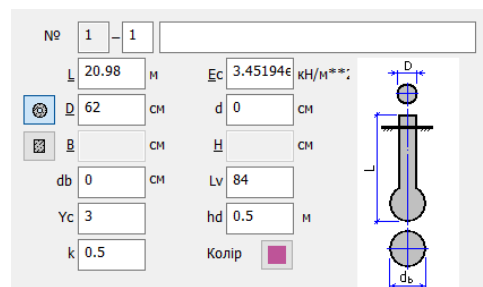


Рис.3. Параметри палі.  
 Fig.3. Parameters of pile.

Осідання для різних типів основи відрізняються, як за значеннями так і характером. Для моделі Кулона-Мора переміщення плитного ростверку буде в 3 рази більшим ніж для лінійно пружної.

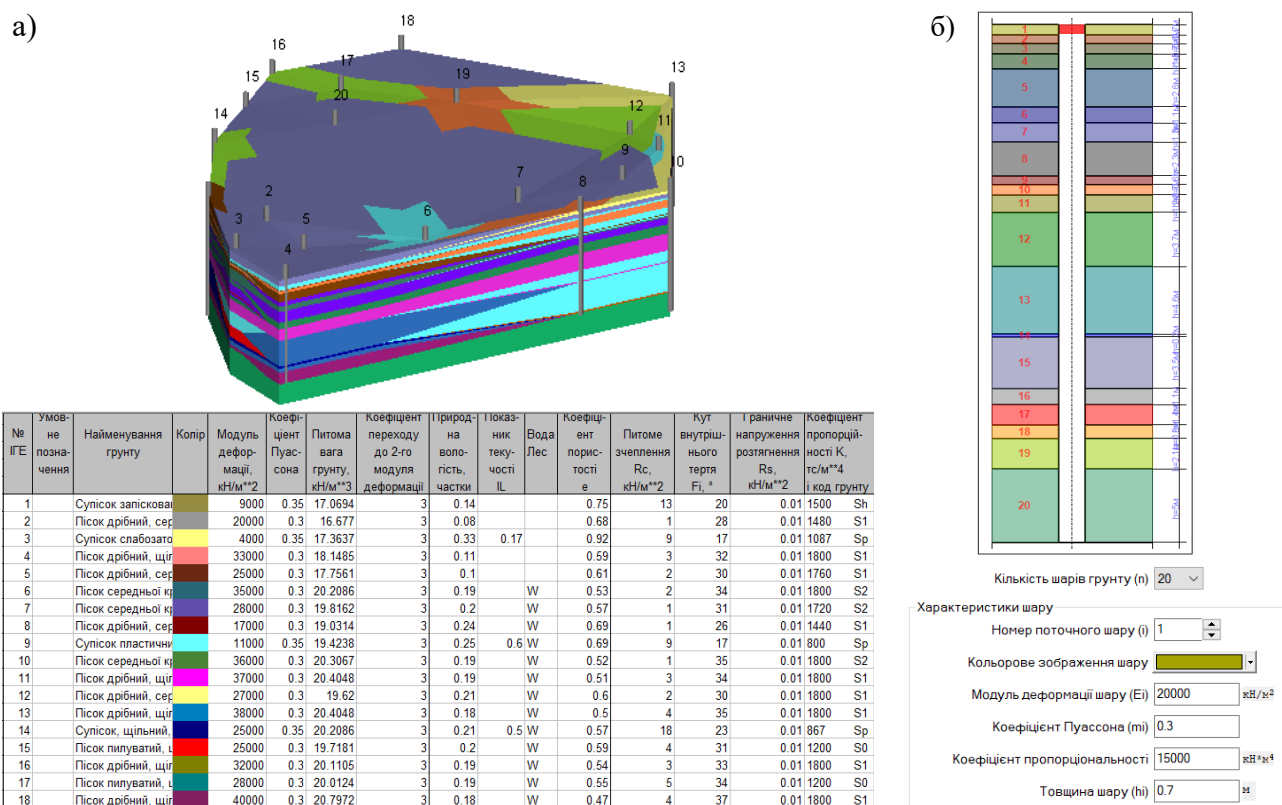


Рис.4. Ґрунтове середовище: а) ідеально пружно-пластична модель (система ҐРУНТ); б) лінійне (розрахунок жорсткості палі).

Fig.4. Soil environment: a) elasto-plastic model (system SOIL); b) linear-elastic (calculation of pile stiffness).

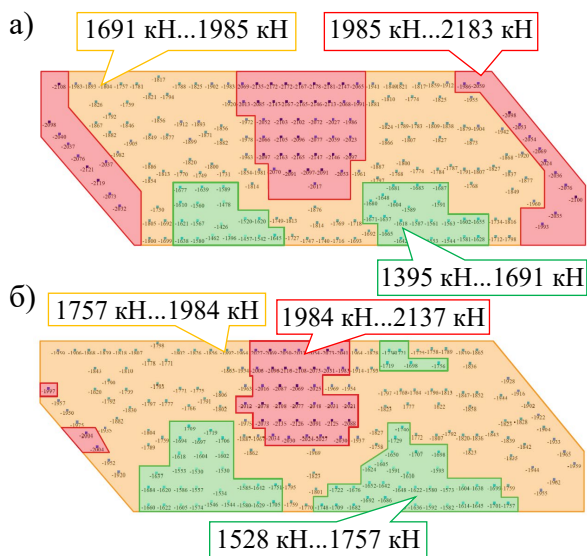


Рис.5. Розподіл зусиль в палях при використанні а) ідеально пружно-пластичної моделі, б) лінійно пружної моделі.

Fig.5. Distribution of forces in piles a) elasto-plastic model, b) linear elastic model.

Розглядаючи перший вид основи, ідеально пружно-пластична модель Кулона-Мора, можна сказати, що більші осідання виникають в центральній частині та по краях фундаменту і складають 6,7 мм. Щодо лінійно пружної моделі – максимальні значення сягають 2,1 мм. Ізополя переміщень в даному випадку нерівномірні на відміну від першого, де картинка є більш плавною.

2) Ланцюг стержневих елементів (SE57) (Рис. 6)

Даний спосіб моделювання є вдосконаленою версією попереднього. Крім вихідних даних та параметрів, що містить одновузловий скінченний елемент, цей метод вже дозволяє врахувати взаємний вплив палі і створити шарнірне чи жорстке обпирання ростверку, а також визначити несучу здатність палі на основі польових випробувань або теоретично по моделі ґрунту. Це дає можливість точніше і коректніше представити роботу пального фундаменту.

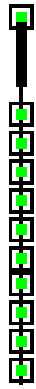


Рис.6. Ланцюг стержневих елементів.  
Fig.6. A row of rod elements.

Способи задання ґрунтового середовища аналогічні до попереднього розділу.

Аналізуючи зусилля та характер їх перерозподілу в палях можна помітити, що зони максимальних значень залишилися в тих самих місцях, як і в минулому випадку, проте самі значення змінилися [2]. Для ідеально пружно-пластичної моделі ґрунтового середовища максимальні зусилля в палях подібні до отриманих раніше, для лінійного – збільшилися на 15%.

Переміщення фундаменту, основою якого є модель Кулона-Мора зросло на 20% (максимальні переміщення – 8,3 мм), зони максимальних осідань майже не змінилися. Для розрахункової моделі з використанням лінійно пружного середовища, спостерігається зменшення деформацій на 40% (максимальні переміщення – 0,4 мм) в порівнянні зі схемою в якій використовувався одноузловий СЕ57.

Виходячи з інформації, яка представлена вище, отримано, що ґрунтове середовище представлене системою ҐРУНТ (ідеально пружно-пластична модель Кулона-Мора) відображає роботу пального фундаменту набагато коректніше.

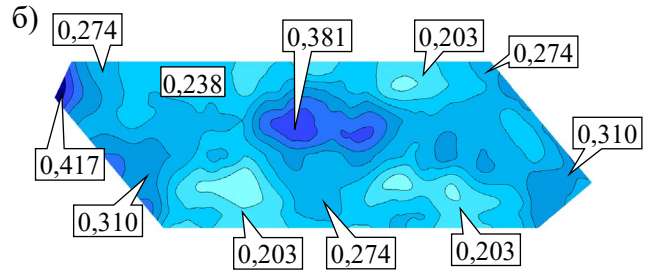
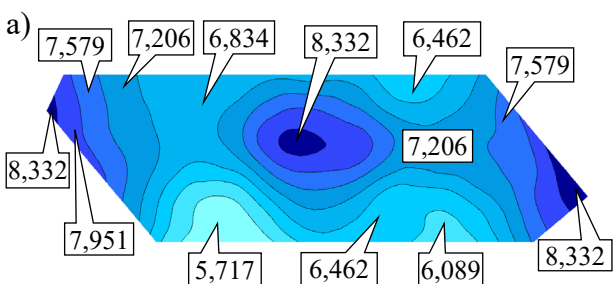


Рис.7. Ізополя осідань у фундаментній плиті, мм.

Fig.7. Isofield of settlements in the foundation plate, mm.

Деформації при використанні лінійного ґрунтового середовища будуть значно заниженими, а зусилля в палях навпаки завищеними, застосування такої основи є недоречним для даного способу моделювання паль, так як він некоректно відображає роботу фундаменту і результати є хибними.

3) Універсальний просторовий стержень СЕ10 використовується для розрахунку стержневих конструкцій. В якості його характеристик виступають осьова жорсткість (ЕА) та жорсткість на згин (ЕІ) (Рис. 8).

Ґрунтове середовище для такої розрахункової моделі утворене за допомогою об'ємних скінченних лінійних (СЕ33 – тригранна призма) та нелінійних (СЕ273 – фізично нелінійний об'ємний СЕ ґрунту у формі тригранної призми) елементів. Тому є можливість порівняти та оцінити роботу пального фундаменту на двох основах з різними видами СЕ.

E	3.45194e+007	кН/м <sup>2</sup>
D	62	см
d	0	см
Ro	24.5166	кН/м <sup>3</sup>

Рис.8. Універсальний просторовий стержень СЕ10.

Fig.8. Universal rod FE10.



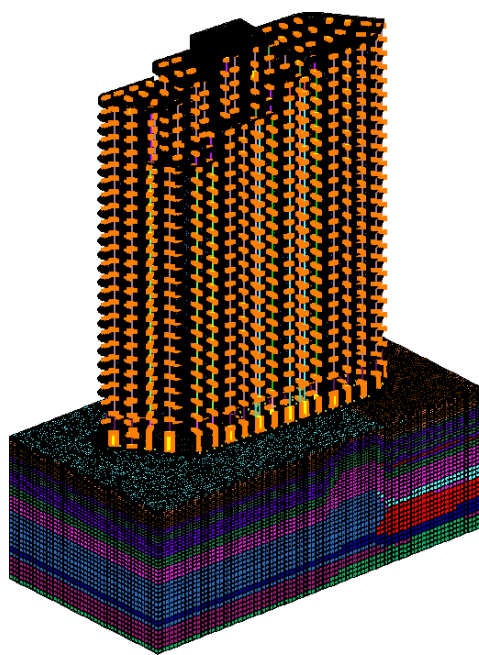


Рис.9. Скінченно-елемента модель житлового будинку на об'ємному ґрунтовому масиві.  
Fig.9. Finite element model of a building on volumetric soil massif.

Зусилля в палях при використанні ідеально пружно-пластичної моделі ґрунтового середовища збільшилися на 30 % в порівнянні з двома попередніми розрахунковими схемами. Зони де вони досягають максимальних значень також змінилися. Тепер, пікові зусилля присутні тільки в крайніх палях та повністю зникли з центральної частини будинку [1, 2]. Такий самий ефект з'явився і в моделі на лінійно пружній основі, але для неї зусилля зросли ще більше, а саме на 47%.

Характер переміщень фундаментних конструкцій також зазнав змін. Осідання стало більш рівномірним. В розрахунковій схемі із застосуванням СЕ273 переміщення зросли на 68%, а для схеми з СЕ33 – на 88% в порівнянні з СЕ57 (ланцюжок) при використанні системи ГРУНТ.

Отримано, що використання в якості палі СЕ10 та об'ємних елементів ґрунтового середовища, не залежно від їх типу (СЕ33 чи СЕ273), призводить до збільшення зусиль у

палях та збільшення переміщень в порівнянні з СЕ 57, які змодельовані, як ланцюжок скінчених елементів, а основа утворена за допомогою системи ГРУНТ. Головний недолік такого способу моделювання є час і велика трудомісткість. До того ж необхідно контролювати розмір ґрунтового масиву, а також виконувати ідентифікацію параметрів ґрунту.

Проаналізуємо отримані результати:

1. Деформації ростверку при моделюванні паль одноузловим СЕ57 складають 6,7 мм, для ланцюга скінчених елементів вони збільшилися на 20 %, а при моделюванні на об'ємному ґрунтовому масиві ці значення зросли ще більше. Для ідеально пружно-пластичної моделі Кулона-Мора максимальні переміщення складають 26,4 мм (+74%↑), для лінійно пружної – 72,2 мм (+91%↑).

2. Зусилля в кутових палях в моделі із використанням одноузлового і ланцюга скінчених елементів СЕ57 майже однакові, якщо ж паля моделюється просторовим стержнем на об'ємному ґрунтовому масиві то вони зростають. Для моделі Кулона-Мора на 32%, для лінійно пружної на 48%.

3. Під сходовою клітиною величина зусиль в палях при їх моделюванні за допомогою СЕ57 майже така сама, як і для кутових паль. Тобто піки зусиль для моделей із застосуванням СЕ57 виникають, як в периферійних палях так і в центральних. У випадку, коли паля представлена стержнем на об'ємному ґрунтовому масиві то зусилля під сходовою клітиною зменшуються. Для ідеально пружно-пластичної моделі ґрунту на 18%, для лінійної – на 45%.

Найбільш коректно перерозподіл зусиль в палях відбувається при використанні об'ємного ґрунтового середовища (в кутових палях виникають максимальні зусилля). Проте осідання в цьому випадку завищені, необхідно робити ідентифікацію параметрів ґрунту. Це дасть змогу більш коректно змодельовати поведінку ґрунту та отримати максимально близьки до реальних значень деформації.

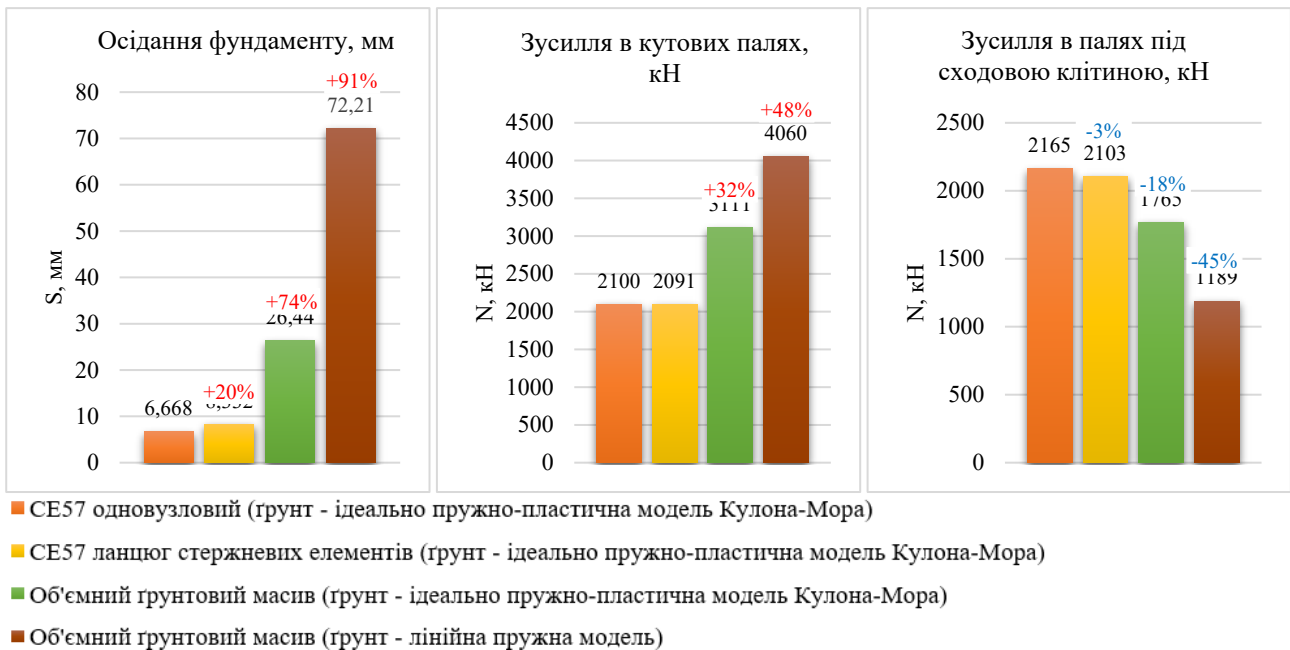


Рис.10. Графіки порівнянь отриманих результатів.  
Fig.10. Comparison graphs of the obtained results.

Для ідентифікації параметрів було взято дві випробувальні палі. Згідно звіту статичного випробування маємо такі результати: при максимальному навантаженні 302,4 т осідання дослідної палі №1 складають 31,51 мм, для палі №2 – 29,57 мм.

В програмноу комплексі «ЛІРА-САПР 2017» створено чотири розрахункові схеми, по дві для кожної із паль. В одних і тих самих ґрунтових умовах паля моделювалась різними способами – універсальний просторовий стержень CE10 або за допомогою просторового шестивузлового ізопараметричного CE34. В якості ґрунтового середовища використана ідеально пружно-пластична модель Кулона-Мора.

Довжина і ширина ґрунтового масиву 10x10 м, по 5 м в кожную сторону від палі. Глибина його складає 23 м. Розміри CE були прийняті 1x1 м. Чим дрібніший скінченний елемент тим більше їх в скінченно елементній моделі, в результаті чого часу на розв'язання такої задачі може бути витрачено дуже багато. Також кількість CE впливає на накопичення математичних похибок під час розрахунку, що знижує

точність і якість отриманих результатів. Тому такий варіант розмірів CE буде найбільш оптимальним.

Граничні умови по бічним граням для просторового ґрунтового масиву накладені таким чином щоб заборонити переміщення в горизонтальних напрямках, але дозволити ґрунту стискатися під навантаженням. Нижня грань повністю закріплена від будь яких переміщень.

Навантаження на палю задавалося по стадіям, кожна стадія відповідає ступеню завантаження згідно натурних випробувань. Поступове збільшення навантаження змодельовано за допомогою системи «МОНТАЖ».

Аналізуючи графіки осідань (Рис.12, 13) можна помітити, що в моделях де використані параметри ґрунту з інженерно-геологічного звіту значно завищені переміщення в порівнянні з польовими випробуваннями. Тому прийнято рішення збільшити модуль деформації ґрунтів: для розрахункової схеми з випробування першої палі в чотири рази, другої палі – в шість разів [4].

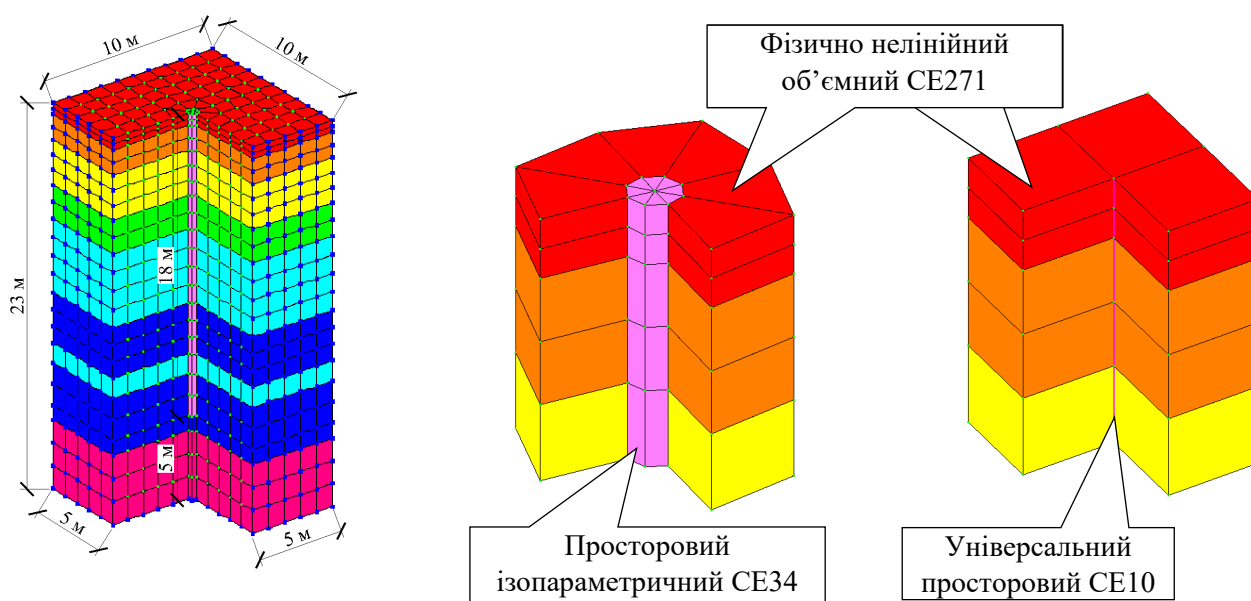


Рис.11. Скінченно – елементна модель випробування палі.

Fig.11. Finite element model of the in-situ pile test.

В скінченно елементних моделях де вже збільшений модуль деформації були зменшені в два рази значення кута внутрішнього тертя або питомого зчеплення. Проте зміна цих характеристик ніяк не вплинула на характер кривої осідань.

Також на графіках видно, що деформації основи в розрахунковій схемі де використаний SE10 в якості палі більші на 11% – 13% в порівнянні з моделлю в якій паля представлена за допомогою SE34.

Щоб оцінити вплив ідентифікації параметрів ґрунту на зміну перерозподілу зусиль в палях та деформацій фундаменту до моделі, де палі створені універсальним просторовим стержнем, а основа за допомогою фізично нелінійного об'ємного SE273, був застосований модуль деформації ґрунту збільшений в чотири рази. Це призвело до того, що максимальні осідання зменшились на 68% в порівнянні з розрахунковою схемою де були використані параметри ґрунту з інженерно-геологічного звіту, їх величина складає 8,4 мм (Рис. 14). Зусилля в кутових палях зменшились на 38%, в середніх збільшились на – 14 %. Виходячи з цього можна сказати, що зусилля в палях розподілились більш

рівномірно [5]. Це також помітно на Рис. 14 де зони зусиль в палях позначені характерним кольором, максимальні зусилля червоним, мінімальні зеленим.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Отримано, що методи моделювання палей та різні типи основ впливають на перерозподіл зусиль в палях та деформації фундаменту.

Встановлено, що в розрахунковій схемі з використанням ланцюга стержневих елементів в якості палей, ґрунт – ідеально пружно-пластична модель Кулона-Мора, максимальні осідання складають 8,3 мм, це на 20% більше за значення осідань (6,7 мм) в схемі де палі змодельовані одновузловим SE57. Величина зусиль та характер їх перерозподілу для даних розрахункових моделей є подібними, в переферійних палях різниця в значеннях складає менше 1%, в центральних – 3%.

Виявлено, що якщо основа представлена, як лінійна пружна модель, для палей які утворені SE57, то деформації будуть дуже малі, так для одновзлового SE осідання складають 2,1 мм, для ланцюга стержневих елементів – 0,4 мм.



Показано, що в розрахункових схемах де основа утворена об'ємними скінченними елементами (SE33, SE273), а паля являє собою універсальний просторовий стержень SE10 спостерігається зміна перерозподілу зусиль в палях та збільшення осідань фундаменту. Порівнюючи з моделлю в якій паля утворена одноузловим SE57, а основа – ідеально пружно-пластичне ґрунтове середовище, значення зусиль зросли на 32%

в кутових палях та зменшилися на 18% в центральних для моделі із використанням SE273, у випадку, коли ґрунт – лінійно пружна модель, зусилля в перефірійних палях зростають на 48%, а в центральних зменшуються на 45%. Осідання збільшилися на 74% (26,4 мм) для схеми де ґрунт – модель Кулона-Мора, на 91% (72,2 мм) – лінійна пружна модель.

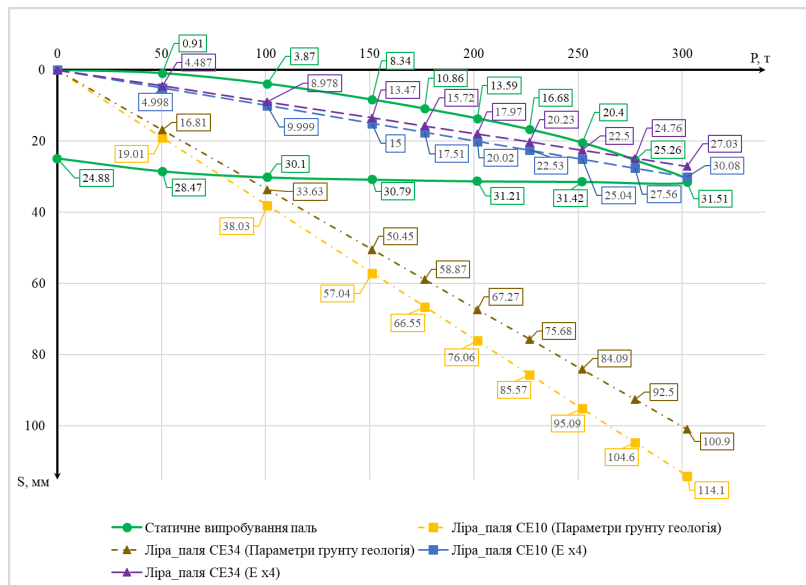


Рис.12. Графік залежності осадки палі S від навантаження P (Паля №1)  
 Fig.12. The graph of the dependence of the pile settlement S from the load P (Pile No. 1).

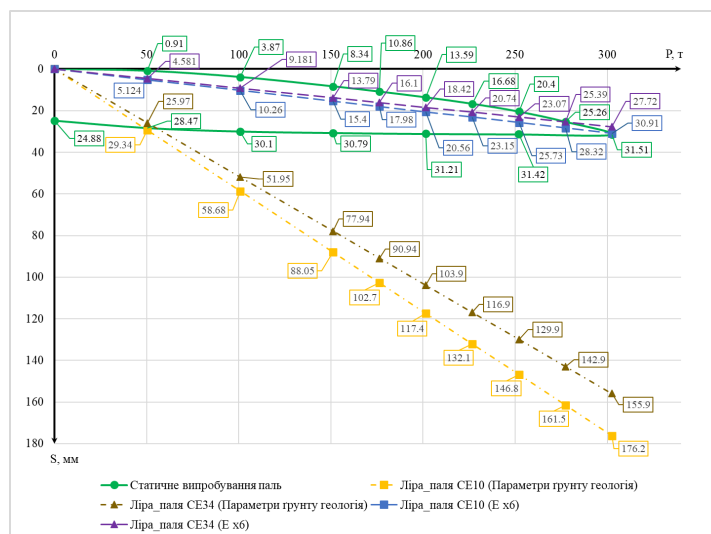


Рис.13. Графік залежності осадки палі S від навантаження P (Паля №2)  
 Fig.13. The graph of the dependence of the pile settlement S from the load P (Pile No. 2).

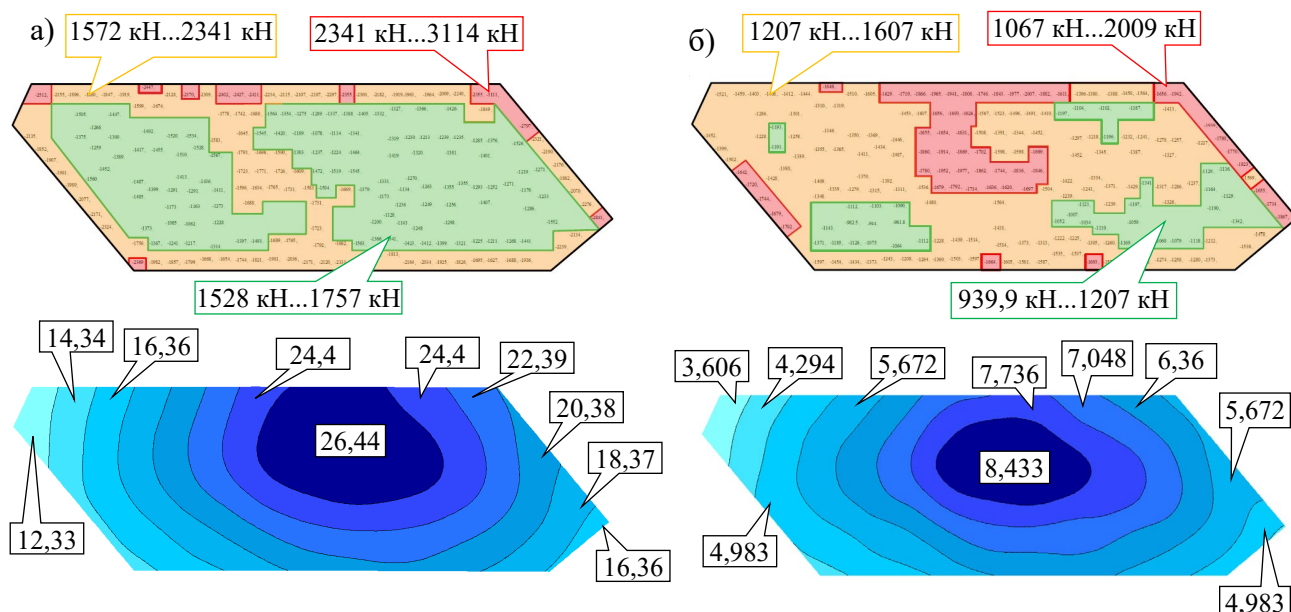


Рис.14. Перерозподіл зусиль в палях то осідання фундаменту: а) до ідентифікації параметрів; б) після ідентифікації параметрів.

Fig.14. Redistribution of forces in piles and foundation settlement: a) before identification of parameters; b) after identification of parameters.

Отримані значення деформацій є суттєво завищеними, тому для підвищення точності результатів виконана ідентифікація параметрів ґрунтів.

В результаті ідентифікації параметрів застосовано модуль деформації, збільшений в 4 рази.

Досліджено, що використання ідентифікованих параметрів в моделі з об'ємним пружно-пластичним ґрунтовим масивом осідання фундаментної плити зменшились на 68% (8,4 мм), а зусилля перерозподілилися більш рівномірно (в куткових палях зменшились на 38%, в середніх збільшились на – 14 %).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Pidlutskyi V.L. Research of the interaction of piles with different lengths and the grillage in the foundations of high-rise buildings / V.L. Pidlutskyi, I.P. Boyko, V.S. Nosenko // *Civil and Environmental Engineering Reports* №26. – 2017. – р. 059-068.
2. Носенко В.С. Числове моделювання напружено-деформований стану пального фундаменту будинку з використанням різних моделей ґрунтової основи. / В.С. Носенко, О.О. Кашоїда // *Основи і*

*фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник.* – К.: КНУБА. – 2019. – Вип. 38. – С. 34-43.

3. Носенко В.С. Визначення напружено-деформованого стану групи паль шляхом числового моделювання їх взаємодії з основою за даними польових досліджень. / В.С. Носенко, О.О. Кашоїда // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник.* – К.: КНУБА. – 2021. – Вип. 43. – С. 87-100.
4. Бойко І.П. Методика ідентифікації деформаційних параметрів піщаного ґрунтового масиву. / І.П. Бойко, А.О. Олійник, А.О. Галета // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник.* – К.: КНУБА. – 2021. – Вип. 42. – С. 53-63.
5. Бойко І.П. Ідентифікація параметрів ґрунтів на основі результатів натурних випробувань паль. / І.П. Бойко, Л.О. Скочко, М.В. Хоронжевський // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник.* – К.: КНУБА. – 2021. – Вип. 42. – С. 9-18.

#### REFERENCES

1. Pidlutskyi V.L., Boyko I.P., Nosenko V.S. (2017). Research of the interaction of piles with different lengths and the grillage in the

- foundations of high-rise buildings. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 26(3), 059-068.
2. Nosenko V.S., Kashoida O.O. (2019). Chyslove modelyuvannya napruzhenno-deformovanyu stanu pal'ovoho funda-mentu budynku z vykorystanniam riznykh modeley gruntovoyi osnovy. [Numerical simulation the stress-strain state of the pile foundation building using different soil models]. *Osnovu i fundamente: Mizhvidomchyy naukovo-tekhnichnyy zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 38, 34-43 (in Ukrainian).
  3. Nosenko V.S., Kashoida O.O. (2021). Vyznachennya napruzhenoho stanu hrupy pal' shlyakhom chysel'noho modelyuvannya yikh vzayemodiyi z osnovoyu za danymy naturnykh doslidzhen'. [Determination of the stress-strain state of a group of piles by numerical simulation of their interaction with the base according to field research data]. *Osnovu i fundamente: Mizhvidomchyy naukovo-tekhnichnyy zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 43: 87-100 (in Ukrainian).
  4. Boyko I.P., Olynyk A.O., Haleta A.O. (2021). Metodyka identyfikatsiyi deformatsiynykh parametriv pishchanoho hruntovoho masyvu. [Identification methodology of deformation parameters of sandy soil massif]. *Osnovu i fundamente: Mizhvidomchyy naukovo-tekhnichnyy zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 42: 53-63 (in Ukrainian).
  5. Boyko I.P., Skochko L.O., Khoronzhevskiy M.V. (2021). Identyfikatsiya parametriv gruntiv na osnovi rezul'tativ pryrodnykh vyprobuvan' pal'. [Identification of soil parameters based on the results of field tests of piles]. *Osnovu i fundamente: Mizhvidomchyy naukovo-tekhnichnyy zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 42: 9-18 (in Ukrainian).

#### **Determination of the impact of pile modeling methods on the distribution of forces in the pile foundation**

*Liudmyla Bondareva  
Dmytro Nechiporenko*

**Summary.** The effect of the pile and the soil environment modeling method on the distribution of forces in the pile foundation and its deformation was studied and analyzed.

Based on the obtained results, the difference in the distribution of forces in piles and the difference in the settlement of the pile foundation was

demonstrated. A comparison is drawn between the models, in which elements of the scheme such as "base" and "foundation" were made using different methods. The zones where the peak forces are the largest and the smallest were marked.

The structural scheme and geological conditions are based on the existing project, as well as engineering and geological investigations.

The finite element model of the building consists of a base, underground, and above-ground structures. A linear-elastic model with the following soil parameters was used to simulate the work of the base:  $E$  – modulus of elasticity;  $\nu$  – Poisson's ratio; as well as the elastoplastic Mohr-Coulomb model, in which the soil is defined by the following parameters:  $E$  – modulus of elasticity;  $\nu$  – Poisson's ratio;  $c$  – cohesion;  $\varphi$  is the friction angle. The calculation was performed with the help of the LIRA-SAPR 2017 software complex.

In order to improve the accuracy of the calculation of the results, the identification of the parameters of the base was carried out, where the results of in-situ test piles for static indentation were used as the initial data. The soil parameters, which were obtained in the result of identification, were applied to the model of the soil environment in the calculation scheme. As a result, it is possible to assess the influence of the identification parameters on the change in the stress-strained state (SSS) of the foundation structures as well as compare the forces values in piles and the deformation of the foundation before and after the identification.

With the development of technologies and software complexes, the number and variability of calculation methods were increasing, as well as the variety of calculation models. Each calculation model is unique and created with a certain goal – to make the calculation results closer to the real work of foundation structures. It is necessary to make the most effective and rational modeling method to achieve the goals set, as well as to obtain a quick and accurate result.

**Keywords.** Piles, forces, foundation environment, subsidence, numerical modeling, identification of soil parameters.