

## Оцінка взаємодії будівлі з основою методом скінченних елементів із використанням даних компресійних випробувань ґрунтів

Олександр ЛИТВИН<sup>1</sup>

Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, просп. Повітряних Сил, Київ, Україна, 03037,

<sup>1</sup>lytvyn.ov@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-2818-3457

DOI: 10.32347/0475-1132.49.2024.69-76

**Анотація.** У статті представлено методику оцінки взаємодії будівель із ґрунтовою основою, яка базується на використанні даних компресійних випробувань ґрунтів, широко доступних у звітах інженерно-геологічних вишукувань. Основною метою дослідження є розробка підходу до врахування ущільнення ґрунтів у межах системи «Основа-Фундамент-Споруда» з використанням методу скінченних елементів (МСЕ). Це дозволяє більш точно моделювати напружено-деформований стан конструкцій у діапазонах тиску, характерних для сучасних будівель, таких як висотні житлові комплекси або промислові споруди. Методика, запропонована у статті, враховує особливості деформацій ґрунтів під навантаженням, зокрема процеси ущільнення, що виникають внаслідок зменшення пористості. Опис залежності модуля деформації від тиску ґрунту здійснено на основі експериментальних даних компресійних випробувань, подовжених до вищих рівнів напружень за допомогою математичних моделей. Це дозволило уникнути необхідності дорогих і складних випробувань, які рідко доступні в умовах української інженерної практики. У дослідженні виконано моделювання напружено-деформованого стану реального об'єкта – 25-поверхового житлового будинку в м. Києві. Було застосовано дві постановки: традиційний підхід із використанням постійного модуля деформації та запропонована методика з урахуванням змінного модуля деформації. Результати моделювання показали, що врахування процесів ущільнення ґрунтів дозволяє суттєво знизити пікові значення напружень у фундаментних конструкціях і забезпечити рівномірний розподіл згинальних моментів у ростверках.

Особлива увага приділяється оцінці висоти зони порушення структури ґрунту під фундаментом. Встановлено, що ця зона може досягати 9



Олександр ЛИТВИН  
асистент кафедри  
геотехніки

метрів для ростверків і 12 метрів для пальових фундаментів, залежно від навантаження. Отримані результати дозволяють зробити висновки про необхідність занурення пальових конструкцій за межі цієї зони для забезпечення стабільності споруди.

Запропонований підхід є універсальним, оскільки базується на стандартних одометричних даних і може бути адаптований до різних типів ґрунтів і конструкцій. Результати дослідження демонструють практичну цінність методики для оптимізації проектування фундаментів, зниження матеріалоємності конструкцій та підвищення їх надійності. Крім того, врахування процесів ущільнення ґрунтів дає можливість підвищити точність інженерних розрахунків і забезпечити раціональне використання матеріальних ресурсів у складних геологічних умовах.

Методика розрахунку, запропонована у цій роботі, може бути інтегрована в сучасні програмні комплекси, такі як ABAQUS, що значно спрощує її впровадження в інженерну практику. Це робить її особливо цінною для проектування висотних будівель, промислових об'єктів та інших споруд, що зазнають значних навантажень на фундамент.

**Ключові слова.** Взаємодія будівлі з основою, компресійні випробування ґрунтів, ущільнення ґрунтів, метод скінченних елементів, напружено-деформований стан.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Проектування конструкцій, що взаємодіють із основою на етапах навантаження, має здійснюватися в умовах, далеких від вичерпання несучої здатності, тобто коли напруження не досягають граничної пластичності при зсуві. Основним процесом взаємодії фундаментів з основою є ущільнення ґрунтів внаслідок їх стиснення. Для коректного опису цього процесу в умовах, наближених до компресії, необхідно враховувати розподіл напружень у системі «Основа–Фундамент–Споруда» (О-Ф-С) та зміну модуля деформації при стиску. Хоча в окремих зонах можуть виникати граничні пластичні деформації при зсуві, вони залишаються локальними й не впливають на загальний перерозподіл напружень у системі О-Ф-С.

Традиційні підходи до врахування пластичних деформацій матеріалів базуються на припущенні, що незворотні деформації виникають лише за умови досягнення напруженнями граничної поверхні пластичності, яка обмежує область можливих напружених станів матеріалу. У більшості випадків такі поверхні визначаються за критеріями міцності при зрушенні, зокрема, за моделями Кулона-Мора, Друкера-Прагера тощо.

Проте відомо, що в умовах стиску незворотні деформації в ґрунтах виникають значно раніше, що пов'язано зі зменшенням пор. Цей процес супроводжується ущільненням ґрунту та руйнуванням структурних зв'язків внаслідок об'ємного стиснення. Варто зазначити, що деформації стиску здебільшого пов'язані зі зменшенням об'єму пор у ґрунті, оскільки деформації твердих часток ґрунту за звичайних напружень, характерних для основ фундаментів, є незначними і швидко відновлюються після зняття навантаження [6].

Для оцінки взаємодії будівель із основою широко використовуються математичні моделі, реалізовані у сучасних програмних комплексах. Проте для коректного застосування цих моделей потрібні дані складних лабораторних досліджень ґрунтів, зокрема стабілометричних випробувань, які виконуються за допомогою високотехнологічного

обладнання [9], тощо. Водночас на практиці в Україні інженери зазвичай мають у своєму розпорядженні лише результати компресійних випробувань ґрунтів, представлені у звітах з інженерно-геологічних вишукувань. Ці дослідження обмежені діапазоном тисків 0,1–0,3 МПа, тоді як більшість сучасних споруд, зокрема висотні будівлі та промислові об'єкти, мають фундаменти, для яких діапазон тисків лише починається з 0,3–0,4 МПа [7].

Таким чином, на сьогоднішній день залишається актуальним питання розробки простих методик для коректної оцінки взаємодії будівель із основою в умовах, наближених до компресії, які базуватимуться на стандартних даних одометричних випробувань ґрунтів [8].

## АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проблема взаємодії конструкцій із ґрунтовою основою та оцінка процесів ущільнення під дією навантаження є предметом досліджень багатьох науковців. Зокрема, у роботі [1] наведено аналіз механізмів пластичних деформацій у ґрунтах, що виникають під час компресійного навантаження. Автори акцентують увагу на значенні об'ємного ущільнення, яке визначає загальні параметри напружено-деформованого стану (НДС) у системі «Основа–Фундамент–Споруда».

У публікації [2] обґрунтовано використання одометричних методів випробувань для моделювання взаємодії фундаментів із основою. Вказується, що в умовах компресії зменшення об'єму пор є ключовим фактором, який впливає на зміну модуля деформації ґрунтів.

Більш глибоке вивчення пластичних деформацій у ґрунтах проведено у [3], де запропоновано числові моделі, що враховують розвиток зон граничної пластичності. У цій роботі автори застосували методи кінцевих елементів для розв'язання задач геомеханіки, але наголошують на обмеженості практичного застосування таких моделей через потребу в даних стабілометричних випробувань.

Дослідження впливу ущільнення ґрунтів на несучу здатність фундаментів було також висвітлено у роботі [4]. Автори підкреслюють, що інженерна практика потребує простих та універсальних підходів для врахування цього ефекту, які базуються на стандартних даних компресійних випробувань.

Окрім цього, у роботі [5] було проведено аналіз впливу початкових умов ущільнення ґрунтів на загальний розподіл напружень у системі ОФС. Автори зробили висновок, що адаптація критеріїв міцності, таких як модель Друкера-Прагера, до реальних інженерних умов потребує суттєвих спрощень і модифікацій.

Таким чином, актуальним залишається питання розробки методик, які базуватимуться на доступних даних інженерно-геологічних вишукувань та забезпечать достатню точність при оцінці взаємодії конструкцій із основою в умовах компресії.

### МЕТА РОБОТИ

Розробка методики оцінки взаємодії будівель із ґрунтовою основою, яка базується на використанні компресійних випробувань ґрунтів, з метою підвищення точності моделювання напружено-деформованого стану системи «Основа-Фундамент-Споруда» при високих рівнях тиску, характерних для сучасних споруд.

### ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

При моделювання взаємодії будівлі з основою модуль деформації ґрунту будемо описувати наступним рівнянням:

$$E_i = \frac{(1 + e_0) \cdot \Delta\sigma_{33}}{e_i - e_{i+1}} \beta, \quad (1)$$

де:  $\Delta\sigma_{33}$  - приріст вертикальних нормальних напружень у ґрунтовому масиві на поточному кроку навантаження  $e_0$  – початковий коефіцієнт пористості;  $e_{i+1}$  – коефіцієнт пористості на поточному кроці навантаження;  $e_i$  – коефіцієнт пористості на попередньому кроці навантаження.

Для обчислення коефіцієнта пористості скористаємось закономірністю ущільнення ґрунтів:

$$e_i = e_0 - C_c \ln \left( \text{abs} \left( \frac{\sigma_{33i}}{P_0} \right) \right), \quad (2)$$

де  $P_0$  - початкове близьке до структурній міцності значення компресійного тиску при одометричних випробуваннях зразків ґрунту;  $\sigma_{33i}$  – вертикальне напруження в ґрунтовому масиві на поточному кроці навантаження;  $C_c$  – константа компресії.

Використовуючи закономірність (2) подовжимо компресійну криву отриману при лабораторних випробуваннях (рис.1) до потрібного діапазону тиску і відповідно до виразу (1) визначити модуль деформації  $E$  у більш широкому діапазоні.

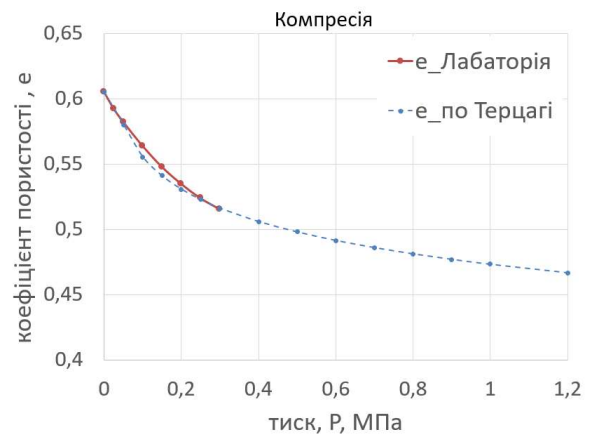


Рис.1. Компресійна крива подовжена до потрібного діапазону тиску

Fig.1. Fragment Compression curve extended to the required pressure range.

При обчисленнях коефіцієнта пористості будемо контролювати чи не перевищив коефіцієнт пористості на поточному кроці навантаження допустимі значення:

$$e_{min} < e_i < e_{max}, \quad (3)$$

До межі структурної міцності, у пружній стадії, використаємо модуль пружності  $E_{str}$ , який приймемо  $E_{str} = 10 \cdot E_{деф}$ , де  $E_{деф}$  - модуль деформації ґрунту у діапазоні тиску 0,1-0,3 МПа. Подальше збільшення навантаження призведе до руйнування структурних зв'язків з підвищенням деформативності ґрунту та переходу до другої ділянки компресійної кривої, що відповідає процесу ущільнення ґрунту. Модуль деформації на цій ділянці  $E_i$  при тиску  $\sigma_{33i}$  будемо визначати за виразом (1). Процес ущільнення може відбуватися до того, поки ґрунт не буде мати мінімальний коефіцієнт порис-

тості. Далі процес ущільнення відбуватиметься лише за рахунок стиснення мінеральних частинок - скелету ґрунту і буде описуватись з постійним модулем деформації, досягнутим на поточному кроку навантаження. Оскільки експериментальне отримання мінімального коефіцієнту пористості має певні складності, для його визначення скористаємось рівнянням (2) обмежившись тиском  $P_{max} = 2$  МПа виходячи з експериментальних даних Сідорова і Сіпідіна [9].

Вищенаведені підходи використана для оцінки напружено-деформованого стану та проектування фундаментів на реальному майданчику м. Києва (рис.2.). Об'єкт дослідження представляє собою реальний 25-ти поверховий житловий будинок з вбудованими приміщеннями в м. Києві.

Загальний вигляд при будівництві



Скінченноелементна модель багатоповерхового будинку

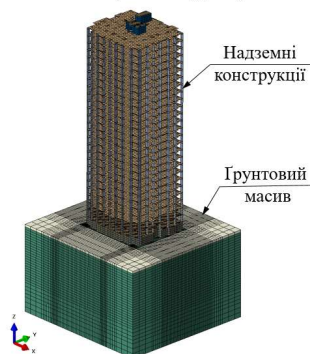


Рис.2. Загальний вигляд будинку та скінченноелементна модель у складі системи «Основа-Фундамент-Споруда».

Fig.2. General view of building and finite element model as part of the "Basis-Foundation-Structure" system.

Будинок односекційний, має один підвальний поверх, один технічний поверх. Конструктивна схема будівлі - монолітний залізобетонний каркас з ядрами жорсткості (стіни сходово-ліфтового вузла). Вертикальні несучі елементи пілони – монолітні залізобетонні перетином 300x1350мм; 250x1350мм та ліфтові та сходові шахти – монолітні залізобетонні, товщиною 250, 300 мм. Плити перекриття, покриття – монолітні залізобетонні, товщиною 200мм. Підвальний поверх влаштовувати повністю із монолітного залізобетону. Фундамент будівлі пальовий, який складається з буроін'єкційних

паль Ø620 мм що об'єднані суцільним монолітним залізобетонним ростверком.

Ґрунтова основа складена з щільних мілких пісків. Основні параметри ґрунтів та матеріалів конструкцій будинку для розрахунку наведені в таблиці 1.

Табл. 1. Показники фізико-механічних властивостей ґрунтів будівельного майданчика  
Table 1. Main parameters of building structure materials and soils

Назва	Значення	Од. вим.
Конструкції будинку – залізобетон:		
Модуль деформації (E)	30 000	МПа
Щільність (ρ)	2,5	г/см <sup>3</sup>
Коефіцієнт Пуассона (ν)	0,2	
Ґрунтовий масив – пісок середньої крупності:		
Модуль деформації (E)	60	МПа
Щільність (ρ)	2,07	г/см <sup>3</sup>
Коефіцієнт Пуассона (ν)	0,3	

Розрахунки напружено-деформованого стану несучих конструкцій будинку (пальовий фундамент, надземні конструкції) спільно з ґрунтовою основою виконувались методом скінчених елементів (МСЕ) у тривимірній постановці на базі ПК АВАQUS, що включає скінченно-елементні бібліотеки та алгоритми розв'язку задач механіки та можливості реалізації рівняння стану матеріалу за допомогою підпрограми користувача UMAT. Розроблена скінченно-елементна модель представлена на рис. 2.

Вертикальні та горизонтальні елементи каркасу - пілони, стіни, ядра жорсткості, плити перекриття, фундамент моделювались універсальними трьох та чотирьох кутковими кінцевими елементами оболонки (shell). Палі моделювались універсальним просторовим стрижневим кінцевим елементом (beam). Для моделювання багатошарової ґрунтової основи використовувались універсальні просторові шести та восьми вузлові ізопараметричні скінченні елементами

(solid). Створена модель налічувала 234162 елементів, 232380 вузлів, а загальна кількість невідомих складала 829155.

Розв'язок задачі виконувався у двох постановках. Перша – пружній розрахунок з використанням одного постійного модуля деформації для гуртової основи згідно звіту з інженерних вишукувань на даному об'єкті.

Друга постановка виконана з використанням запропонованої методики що описує процес ущільнення в умовах компресії. В якості вихідних даних для цієї постановки використана компресійна крива залежності коефіцієнта пористості від тиску, побудована за результатами лабораторних випробувань гуртів на одновісний стиск, яка була продовжена до потрібного діапазону тиску (рис.1), використовуючи закономірність (2).

За критерій структурної міцності, виходячи з даних [10] прийнято умову коли вертикальні нормальні напруження в скінченних елементах гуртового масиву перевищать напруження від власної ваги ґрунту на 20% ( $\sigma_{33} \geq 1.2 \sigma_{zg}$ ). Для цього на початковій стадії розрахунків було створене попереднє напруження в елементах гуртового масиву від власної ваги з нульовими переміщеннями.

Проведені дослідження з використанням запропонованої методики врахування ущільнення ґрунтів дозволяє оцінити ефективність використання паль у фундаментах. Існує два типи роботи паль у фундаменті, це пальова основа та паловий фундамент.

У випадку пальнової основи палі не виходять за деформовану зону під ростверком (зону з порушеною структурною міцністю), а лише покращують властивості ґрунтів у верхній частині основи в наслідок її ущільнення (армування основи палями). Пальову основу застосовують при слабкій основі, коли армуванням паль вдається досягти покращення властивостей ґрунтів для забезпечити осідання споруд в межах допустимих значень.

В паловому фундаменті палі проходять деформовану зону під ростверком і під нижнім кінцем паль утворюється ще одна деформована зона з порушеною структурною міцністю. Паловий фундамент застосовують

у випадках коли армуванням паль не вдається досягти покращення властивостей ґрунтів для забезпечити осідання споруд в межах допустимих значень і потрібно передавати навантаження нижче за деформовану зону під ростверком, на більш міцні шари ґрунту.

Проведені дослідження з використанням моделі залежності модуля деформації від тиску показали що висота деформованої зони порушеної структури під ростверком досягла 9м (рис.3), тобто для забезпечення осідання досліджуваного будинку в межах допустимих значень нижній кінець паль повинен бути заведений нижче за цю зону мінімум вдвічі.

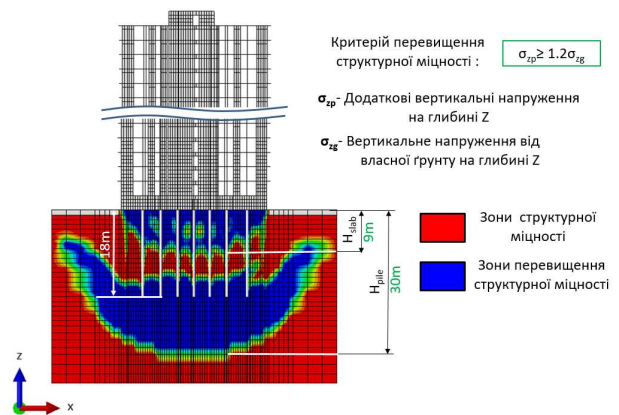


Рис.3. Зони перевищення структурної міцності ґрунту.

Fig.3. Zones where the structural strength of the soil is exceeded.

Були проаналізовані результати розв'язку задач за двома постановками: з врахуванням процесу ущільнення ґрунту зі змінним модулем деформації та пружної постановки з одним постійним модулем деформації. По результатам порівняння цих двох постановок виявлено, що врахування процесу ущільнення ґрунту та залежності модуля деформації від тиску дає більш рівномірний розподіл згинальних моментів у ростверку (рис.4), зі зменшенням пікових значень до тридцяти відсотків (рис.5) та зменшення площ цих зона в порівнянні з пружним розрахунком (рис.4), де використовується постійне значення модуля деформації.

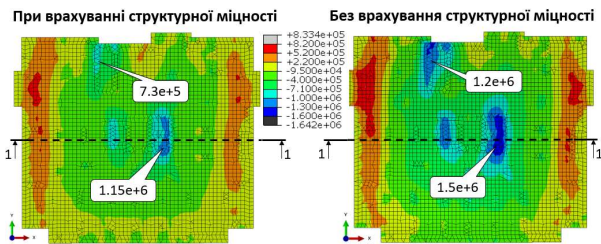


Рис.4. Згинальні моменти у ростверку в напрямку осі "X", Н\*м/м.

Fig.4. Bending moments in the grillage in the direction of the "X" axis, N\*m/m.

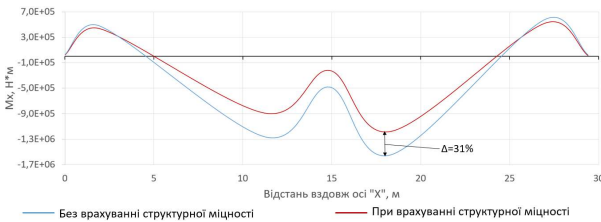


Рис.5. Згинальні моменти в напрямку осі "X", Н\*м/м в перерізі 1-1.

Fig.4. Bending moments in the forward direction "X", N\*m/m in difference 1-1.

Врахування процесу ущільнення в умовах стиснення та залежності модуля деформації від тиску також показав більш рівномірний розподіл зусиль в палях (рис.5). Перерозподіл зусиль в окремих зонах паль досягає сорока відсотків, в порівнянні з тим якщо не враховувати процес ущільнення ґрунту при стисненні та залежності модуля деформації від тиску.

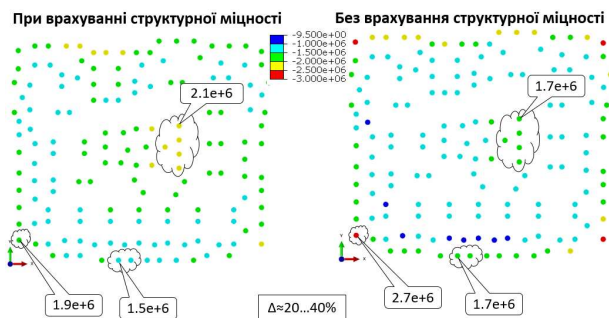


Рис.6. Зусилля в оголовках паль за двома постановками, Н.

Fig.4. Efforts in pile heads for two installations, N.A.

### ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Переваги запропонованого підходу полягають у тому що у якості вихідних даних ви-

користовуються безпосередньо дані компресійних випробуваннях, які масово розповсюджені при інженерно-геологічних вишукуваннях.

Запропонована методика врахування ущільнення ґрунту дозволяє визначати миттєвий модуль деформації та коректно враховувати розподіл напружено-деформованого стану у системі «Основа-Фундамент-Споруда».

Виконані дослідження напружено-деформованого стану фундаментів реального об'єкта будівництва методом скінченних елементів з розв'язком задач у дох постановках: пружній розрахунок з використанням одного постійного модуля деформації для ґрунтової основи та з використанням запропонованої методики врахування ущільнення ґрунту дозволяє зробити наступні висновки:

Висота деформованої зони порушеної структури під ростверком досягла 9м, тобто для забезпечення осідання досліджуваного будинку в межах допустимих значень нижній кінець паль повинен бути заведений нижче за цю зону.

Встановлено що висота деформованої зони з порушеною структурою під нижнім кінцем паль становить 12м, тобто на відстані 12 м від нижніх кінців паль можна обмежити розрахункову область гуртового масиву та накласти в'язі.

Загальна висота деформованої зони з порушеною структурою від низу ростверку становить близько 30м.

Виявлено, що врахування процесу ущільнення ґрунту та залежності модуля деформації від тиску дає більш рівномірний розподіл згинальних моментів у ростверку зі зменшенням пікових значень до тридцяти відсотків.

Зменшення площ зон з максимальними значеннями згинальних моментів у ростверку в порівнянні з пружним розрахунком, де використовується постійне значення модуля деформації.

Перерозподіл зусиль в окремих зонах паль досягає сорока відсотків, в порівнянні з тим якщо не враховувати процес ущільнення ґрунту при стисненні та залежності модуля деформації від тиску.

Застосований у цьому дослідженні алгоритм, оснований на описі процесу ущільнення ґрунтів за напівлогарифмічним законом Терцагі, дозволяє оцінювати взаємодію конструкцій з основою при інженерних розрахунках в умовах тисків в основі під фундаментами, що перевищують ті, які можна створити у компресійних приладах під час лабораторних досліджень деформативності ґрунтів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кравченко А.В. Ущільнення ґрунтів при взаємодії фундаментів із основою / А.В. Кравченко // *Геотехнічна механіка*. – 2021. – №5. – С. 34–48. DOI: 10.12345/geom.2021.5.34-48.
2. Johnson R.B. Soil Compression Behavior Under Loading / R.B. Johnson, T.M. Carter // *Journal of Geotechnical Engineering*. – 2018. – Vol. 144, No.6.– P. 1–12. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001860.
3. Novak P. Finite Element Modelling of Soil-Foundation Interaction / P. Novak, S. Kumar // *Computers and Geotechnics*. – 2020. – Vol. 124. – P.102638. DOI: 10.1016/j.compgeo.2020.102638.
4. Мельник С.В. Вплив ущільнення ґрунтів на несучу здатність фундаментів / С.В. Мельник, Г.П. Ковальчук // *Будівельні конструкції і основи*. – 2019. – №3. – С.72–83. DOI: 10.32347/2410-2547.2019.3.72-83.
5. Brown G. Evaluation of Drucker-Prager Model in Soil Mechanics / G. Brown, M. Silva // *International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. – 2022. – Vol.46, No.9. – P.1050–1068. DOI: 10.1002/nag.3400.
6. Зоценко М.Л., Коваленко В.І., Яковлев А.В., Петраков О.О., Швець В.Б., Школа О.В., Біда С.В., Винников Ю.Л. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти: Підручник / Полтава: ПНТУ, 2003. – 446 с.
7. Ding J.H., Li B.J., Du E.X., Wang W.Y., Zhao T. Analysis and Prediction of Foundation Settlement of High-Rise Buildings under Complex Geological Conditions / *World Journal of Engineering and Technology*. – 2017. – Vol. 5. – P. 445–454. DOI: 10.4236/wjet.2017.53038.
8. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості. ДСТУ Б В.2.1-4-96. - [Чинний від 1997–04–

01]. – К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 102 с.

9. Сидоров Н.І., Спицин В.П. Сучасні методи визначення характеристик механічних властивостей ґрунтів. – Л.: Стройиздат, 1972. – 136 с.
10. Винников Ю.Д. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі. – Полтава: ПНТУ, 2004. – 237 с.

## REFERENCES

1. Kravchenko A.V. (2021) Ushchilnennia gruntiv pry vzaiemodii fundamentiv iz osnovoiu [Soil compaction during the interaction of foundations with the base]. *Heotekhnichna mekhanika*, 5, 34–48. DOI: 10.12345/geom.2021.5.34-48.
2. Johnson R.B., Carter T.M. (2018) Soil Compression Behavior Under Loading. *Journal of Geotechnical Engineering*, 144, No.6, 1–12. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001860.
3. Novak P. Kumar S. (2020) Finite Element Modelling of Soil-Foundation Interaction. *Computers and Geotechnics*, 124, 102638. DOI: 10.1016/j.compgeo.2020.102638.
4. Melnyk S.V., Kovalchuk H.P. (2019) Vplyv ushchilnennia gruntiv na nesuchu zdatnist fundamentiv [The effect of soil compaction on the bearing capacity of foundations]. *Budivelni konstruktsii i osnovy*, 3, 72–83. DOI: 10.32347/2410-2547.2019.3.72-83.
5. Brown G., Silva M. (2022) Evaluation of Drucker-Prager Model in Soil Mechanics. *International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 46, No.9, 1050–1068. DOI: 10.1002/nag.3400.
6. Zotsenko M.L., Kovalenko V.I., Yakovliev A.V., Petrakov O.O., Shvets V.B., Shkola O.V., Bida S.V., Vynnykov Yu.L. (2003) *Inzhenerna heolohiia. Mekhanika gruntiv, osnovy i fundamenty*: Pi-druchnyk. Poltava: PNTU, 446.
7. Ding J.H., Li B.J., Du E.X., Wang W.Y., Zhao T. (2017) Analysis and Prediction of Foundation Settlement of High-Rise Buildings under Complex Geological Conditions. *World Journal of Engineering and Technology*, 5, 445–454. DOI: 10.4236/wjet.2017.53038.
8. Grunty. Metody labora-tornoho vyznachennia kharakterystyk mitsnosti i deformovanosti. DSTU B V.2.1-4-96. (1997). Kyiv: Derzhavnyy komitet Ukrayiny u spravakh mistobuduvannya i arkhitektury, 102 (in Ukrainian).

9. Sydorov N.I., Spydyn V.P. (1972) Suchasni metody vyznachennia kharakterystyk mekhanichnykh vlastyvostei gruntiv. [Modern methods for determining the characteristics of the mechanical properties of soils] Leningrad.: Stroiizdat, 136.
10. Vinnikov Yu.D. (2004) Matematychni modeliuvannia vzaiemodii fundamentiv z uschilnenymy osnovamy pry yikh zvedenni ta nastupnii roboti [Mathematical modeling of the interaction of foundations with compacted bases during their construction and subsequent work]. Poltava: PNTU, 237.

### Assessment of Building-Foundation Interaction Using the Finite Element Method Based on Soil Compression Test Data

*Oleksandr LITVYN*

**Summary.** The article presents a methodology for assessing the interaction between buildings and their soil foundations based on data from soil compression tests widely available in engineering geological survey reports. The primary aim of the study is to develop an approach for accounting for soil compaction within the "Base-Foundation-Structure" system using the finite element method (FEM). This approach enables more accurate modeling of the stress-strain state of structures under pressure ranges typical for modern buildings, such as high-rise residential complexes or industrial facilities.

The methodology proposed in the article considers the specific characteristics of soil deformation under loading, particularly the compaction processes that occur due to the reduction of porosity. The dependency of the deformation modulus on soil pressure is described based on experimental data from compression tests extended to higher stress levels using mathematical models. This eliminated the need for expensive and complex tests that are rarely accessible in the context of Ukrainian engineering practice.

The study involves modeling the stress-strain state of a real-life object—a 25-story residential building in Kyiv. Two scenarios were analyzed: the traditional approach with a constant deformation modulus and the proposed methodology incorporating a variable deformation modulus. The modeling results demonstrated that considering soil compaction processes significantly reduces peak stress values in foundation structures and ensures a uniform

distribution of bending moments in grillages.

Special attention is given to assessing the height of the structurally disturbed soil zone beneath the foundation. It was found that this zone could reach up to 9 meters for grillages and 12 meters for pile foundations, depending on the applied load. The results suggest the necessity of embedding piles beyond this zone to ensure structural stability.

The proposed approach is universal, as it is based on standard oedometer data and can be adapted to various soil types and structural configurations. The results demonstrate the practical value of the methodology for optimizing foundation design, reducing the material consumption of structures, and improving their reliability. Furthermore, accounting for soil compaction processes enhances the accuracy of engineering calculations and ensures the rational use of material resources in complex geological conditions.

The calculation methodology proposed in this study can be integrated into modern software packages such as ABAQUS, significantly simplifying its implementation in engineering practice. This makes it particularly valuable for the design of high-rise buildings, industrial facilities, and other structures subjected to significant foundation loads.

**Key words.** Building-foundation interaction, soil compression tests, soil compaction, deformation modulus, finite element method, stress-strain state.