

УДК 539.3

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СИСТЕМИ «ОСНОВА - ФУНДАМЕНТ - СПОРУДА» З УРАХУВАННЯМ ГЕНЕТИЧНОЇ НЕЛІНІЙНОСТІ

І.І. Солодей,

д-р техн. наук, професор

Г.А. Затилюк,

д-р філософії в прикладній механіці, доцент

В.С. Коновал,

здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

DOI: 10.32347/2410-2547.2025.115.135-142

У роботі розглянуто особливості моделювання системи «основа – фундамент – споруда» з урахуванням генетичної нелінійності, яка відображає послідовні зміни розрахункової схеми під час зведення будівлі. Особливу увагу приділено чисельному моделюванню ґрунтової основи, зокрема уточненню її деформаційних характеристик у процесі зміни розрахункової моделі. Показано, що традиційні розрахунки в лінійній постановці не забезпечують адекватного відображення реальних процесів взаємодії конструкцій і ґрунтової основи.

Ключові слова: генетична нелінійність, монтаж, метод скінченних елементів, глибина стиснутої зони, ґрунтова основа, осідання.

При дослідженні напружено-деформованого стану конструкцій найчастіше виконуються розрахунки задач в лінійній постановці. Водночас в такому вигляді задача не відображає повною мірою усіх особливостей роботи та взаємодії конструкцій.

Стрімкий розвиток комп'ютерної техніки дозволив реалізувати нелінійні розрахунки у сучасних програмних продуктах, що базуються на методі скінченних елементів (МСЕ) та впровадити такі розрахунки в проектну практику.

Виділяють наступні види нелінійностей [1, 2]: фізична нелінійність, у випадку врахування відхилення властивостей матеріалу від закону Гука з протіканням пружнопластичного деформування з виникненням залишкових деформацій; геометрична нелінійність, у випадку розгляду умов рівноваги об'єкту в геометрії відмінній від недеформованого стану, конструктивна нелінійність, у випадку урахування можливих змін розрахункової схеми в процесі деформування. Окрім перелічених класичних нелінійностей слід згадати про ефекти поступового накопичення деформацій у часі (повзучість), які пов'язані з реологічними процесами в матеріалі конструкції, нелінійні явища опору руху тощо.

Окремо слід вказати на ефекти накопиченням напружень і деформацій в конструкціях в процесі їх зміни при їх створенні чи створенні споруд, в яких такі конструкції є складовими частинами. Цей тип нелінійності отримав назву генетичної нелінійності, і його можна розглядати як різновид конструктивної, оскільки він також пов'язаний зі зміною розрахункової схеми. Однак, такі зміни відбуваються не в результаті дії навантажень і впливів, а за задумом проєктувальника. Зазвичай такі розрахунки виконуються виходячи із класичних припущень лінійної будівельно механіки на кожному етапі змін (монтажу), однак, за рахунок зміни розрахункової схеми від етапу до етапу, в цілому така задача є нелінійною.

Деякі можливості моделювання генетично нелінійності передбачені в сучасних розрахункових програмних комплексах. Зокрема, в програмних комплексах ЛІРА САПР, ЛІРА 10, SCAD є спеціальний режим (модуль) «Монтаж». В системі ANSYS схожий режим, який називається «Birth and Death Element» («технологія народження і загибелі елементів» або «технологія активації та деактивації елементів»).

Розв'язувальні рівняння методу переміщень можна записати [1]:

$$K_r \Delta u_r = \Delta q_r, \quad (1)$$

де K_r – матриця жорсткості системи на r -тому етапі, Δu_r – вектор додаткових переміщень, що відносяться до r -ого етапу, Δq_r – вектор додаткових навантажень, що відносяться до r -ого етапу.

Знаючи Δu_r , можна визначити збільшення зусиль ΔN_r і отримання накопичення за всіма попередніми етапами значення переміщень u_r і зусиль s_r [1]:

$$u_r = u_{r-1} + \Delta u_r \quad (2)$$

$$Ns_r = N_{r-1} + \Delta N_r. \quad (3)$$

Співвідношення (2) і (3) називають законами спадкування монтажних станів конструкції.

При переході до наступного етапу розрахунку змінюється матриця жорсткості K_r , яка отримує додатне прирощення ΔK_{r+1} , позитивне, якщо в систему на етапі $r+1$ додаються елементи, і від’ємне, якщо елементи вибувають із системи на етапі $r+1$:

$$K_{r+1} = K_r + \Delta K_{r+1} \quad (4)$$

У розгорнутому вигляді:

$$\begin{bmatrix} K_{11}^{(r+1)} & K_{12}^{(r+1)} & 0 & 0 \\ K_{21}^{(r+1)} & K_{22}^{(r+1)} & K_{23}^{(r+1)} & 0 \\ 0 & K_{32}^{(r+1)} & K_{33}^{(r+1)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11}^{(r)} & K_{12}^{(r)} & 0 & 0 \\ K_{21}^{(r)} & K_{22}^{(r)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \Delta K_{22}^{(r)} & \Delta K_{23}^{(r)} & 0 \\ 0 & \Delta K_{32}^{(r)} & \Delta K_{33}^{(r)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Система розв’язувальних рівнянь $(r+1)$ -го етапу має вигляд:

$$\begin{bmatrix} K_{11}^{(r+1)} & K_{12}^{(r+1)} & 0 & 0 \\ K_{21}^{(r+1)} & K_{22}^{(r+1)} & K_{23}^{(r+1)} & 0 \\ 0 & K_{32}^{(r+1)} & K_{33}^{(r+1)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta u_1^{(r+1)} \\ \Delta u_2^{(r+1)} \\ \Delta u_3^{(r+1)} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta u_2^{(r+1)} \\ \Delta u_3^{(r+1)} \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Тут $\Delta u_1^{(r+1)}$ – прирощення переміщень відповідно до раніше змонтованої і незмінної частини споруди, $\Delta u_2^{(r+1)}$ – прирощення переміщень у вузлах, до яких приєдналися нові елементи, $\Delta u_3^{(r+1)}$ – переміщення зновприєднаних вузлів. Правий нульовий блоковий стовпець і нижній нульовий блоковий рядок матриці жорсткості відносяться до ще не включеної частини споруди [1].

З іншого боку, надійність та довговічність споруд значною мірою визначаються правильним урахуванням взаємодії конструкцій із ґрунтовою основою. Визначення деформацій ґрунту є одним із ключових етапів проєктування, оскільки воно впливає на напружено-деформований стан споруди під дією навантажень. Відомі різні підходи, до розрахунку ґрунтових основ.

Поширеним методом представлення податливої основи та її механічних властивостей у загальній системі «основа - фундамент - споруда» є використання коефіцієнтів жорсткості основи (коефіцієнтів постелі). З іншої сторони основа може бути представлена як скінчена обмежена область, а її поведінка описуватись різноманітними математичними моделями [3].

В роботі [4] слушно вказано на те, що під час зведення споруди змінюється низка параметрів, окрім зміни геометрії системи і які можуть бути описані технологією «Монтаж». Зокрема, деформаційні характеристики основи, які нелінійно залежать як від величини навантажень, що передаються на ґрунт, так і від жорсткості надфундаментних конструкцій, а деформаційні властивості ґрунтів основи не проявляються «миттєво» – на їх реалізацію впливає час консолідації ґрунтового масиву.

Відомо, що ґрунти проявляють суттєву нелінійність, характер якої змінюється в залежності від виду навантаження. На рисунках 1, 2 зображено графіки залежності деформацій від напружень в ґрунтах при різних видах випробувань, коли реалізується ізотропне (рис. 1) та девіаторне (рис. 2) навантаження.

Відомо, що жорсткість ґрунтів в природньому стані в значній мірі залежить від рівня напружень, що означає, що вона зростає з глибиною їх залягання. Існують різні підходи, які

намагаються врахувати це явище. В статті [4] авторами запропоновано модель зміцнюваного ґрунту з використанням залежностей теорії лінійно-деформованого середовища.

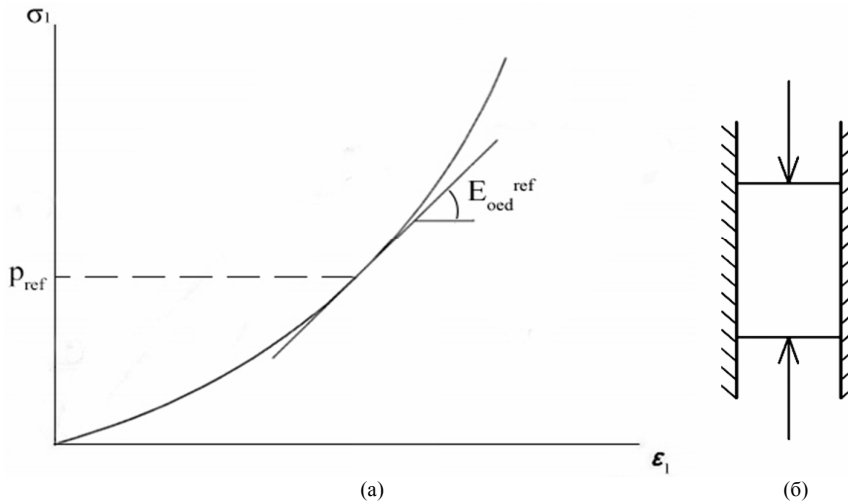


Рис. 1. Деформування ґрунтів при випробуваннях методом тривісного стиску: (а) – графік залежності деформацій від напружень при випробуваннях методом компресійного стиску; (б) – схема випробувань ґрунтів в приборі компресійного стиску (одометрі)

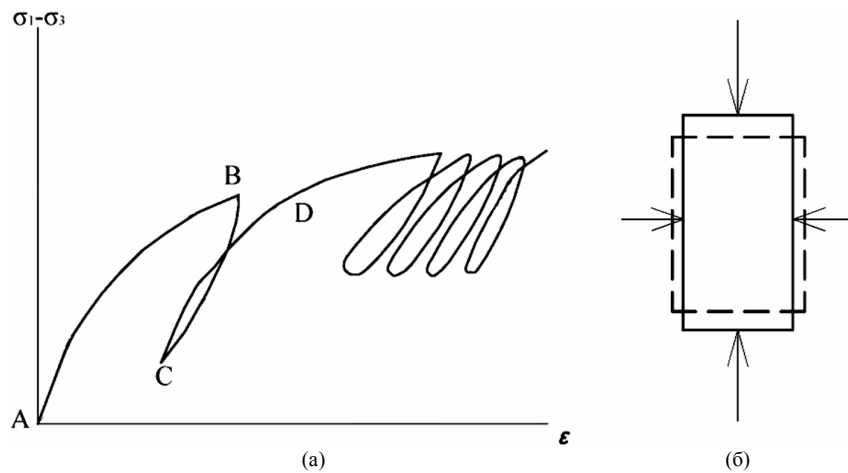


Рис. 2. Деформування ґрунтів при компресійних випробуваннях: (а) – графік залежності деформацій від напружень при випробуваннях методом тривісного стиску (А-В – гілка первинного навантаження, В-С – гілка розвантаження, С-Д – гілка повторного навантаження); (б) – схема випробувань ґрунтів в приборі тривісного стиску (стабілометрі)

Відома ґрунтова модель Hardening Soil використовує гіперболічну залежність деформацій від напружень, враховує зміцнення ґрунту при збільшенні рівня напружень, тобто описується залежність жорсткості основи від напружень σ_3 в масиві:

$$E = E^{\text{ref}} \left(\frac{c \cdot \cos \varphi + \sigma_3 \sin \varphi}{c \cdot \cos \varphi + p^{\text{ref}} \sin \varphi} \right)^m, \quad (7)$$

де c – питоме щеплення ґрунту; φ – кут внутрішнього тертя; m – показник ступеня жорсткості ґрунту [8]; p^{ref} – опорний тиск, при якому виконують лабораторні випробування ґрунту; E^{ref} – модуль деформації (в моделі HSM три різних модуля деформації), який визначається при p^{ref} .

При розрахунках деформацій основи класичним аналітичним методом пошарового підсумування приймається, що осідання визначаються за формулою:

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} h_i}{E_i}, \quad (8)$$

де β – безрозмірний коефіцієнт; $\sigma_{zp,i}$ – середнє значення вертикального нормального напруження від зовнішнього навантаження в i -му шарі ґрунту на вертикалі, що проходить через центр підшви фундаменту; h_i – товщина i -го розрахункового шару ґрунту, приймають не більше 0,4 ширини фундаменту; n – кількість шарів, на які розділена товща основи, що стискається; E_i – модуль деформації i -го розрахункового шару ґрунту за гілкою первинного навантаження.

Осідання за формулою (9) визначаються не для нескінченного напівпростору, а зона визначення обмежується межею стиснутої товщі H_c , яка фактично залежить від діючого навантаження, і приймається на рівні, коли виконується нерівність:

$$\sigma_{zp} \leq n \cdot \sigma_{zg}, \quad (9)$$

σ_{zp} – значення вертикального нормального напруження від зовнішнього навантаження; σ_{zg} – значення вертикального нормального напруження від власної ваги ґрунтового масиву; n – коефіцієнт, що задає співвідношення для обмеження глибини стиснутої товщі (класичне значення - 0,2).

Вертикальне напруження від зовнішнього навантаження (p) зменшується нелінійно зі збільшенням глибини (z) за законом:

$$\sigma_{zp} = \alpha \cdot q, \quad (10)$$

де α – коефіцієнт, який відповідно до теорії лінійно-деформованого середовища, для прямокутних фундаментів зменшується з глибиною за законом:

$$\alpha = \frac{2}{\pi} \left(\arctan\left(\frac{\eta}{\zeta \cdot \sqrt{1+\zeta^2+\eta^2}}\right) + \frac{\zeta \cdot \eta \cdot (1+\eta^2+2\zeta^2)}{(\eta^2+\zeta^2) \cdot (1+\zeta^2) \cdot \sqrt{1+\zeta^2+\eta^2}} \right), \quad (11)$$

де ζ – відносна глибина до меншої сторони фундаменту

$$\zeta = \frac{2z}{b}, \quad (12)$$

z – глибина на якій визначається напруження.

Для круглих фундаментів коефіцієнт α зменшується за законом:

$$\alpha = 1 - \left(\frac{1}{1+(1/\zeta^2)} \right)^{3/2}. \quad (13)$$

В роботі [3] виконано порівняльний розрахунок трьох моделей:

1 - традиційна технологія розрахунку з «одноментним» прикладанням навантажень та формуванням НДС конструкцій та постійним коефіцієнтом постелі;

2 - з врахуванням генетичної нелінійності за допомогою системи «Монтаж» та коефіцієнтом постелі, обрахованим для останньої стадії монтажу;

3 - з врахуванням генетичної нелінійності за допомогою системи «Монтаж» та перерахунком коефіцієнта постелі на кожній стадії монтажу.

Розрахунок в роботі [3] показав, що варіант 2 за рахунок суттєвого завищення деформацій моделі на початкових етапах монтажу, призводить до отримання консервативного результату розрахунку, що відповідає використанню значних коефіцієнтів надійності.

В запропонованому дослідженні пропонується представити ґрунтову основу як скінченноелементну обмежену область.

Для моделювання ґрунтової основи була використана найпростіша ґрунтова модель Кулона-Мора. Дана моделі є білінійною і деформаційні характеристики ґрунту (модуль деформації ґрунту і коефіцієнт Пуассона) приймаються постійними величинами (рис. 3).

Ця модель вимагає визначення всього чотирьох розрахункових параметрів ґрунту: модуля загальної деформації E , коефіцієнта Пуассона ν , зчеплення c та кута внутрішнього тертя ϕ .

І хоча у вказаній моделі, як було зазначено вище, деформаційні характеристики ґрунту не залежать від рівня напружень, однак розмір розрахункової області при чисельному моделювання рекомендується [3, 5] обмежувати глибиною стиснутої товщі за критерієм (9). Тобто, зі збільшення

рівня напружень на кожному етапі монтажу, величина σ_{zp} буде зростати, що призведе до необхідності встановлювати нову межу стиснутої товщі на кожному етапі. Враховуючи, що напруження від зовнішнього навантаження змінюються нелінійно, то модель основи, попри обрану білінійну ґрунтову модель, можна вважати нелінійною.

За аналогією з роботою [4] виконано порівняльний розрахунок трьох моделей, однак замість коефіцієнтів постелі були використані об'ємні скінченні елементи ґрунтового масиву (рис. 4):

1 - традиційний розрахунок, при якому навантаження прикладаються однооментно, з постійними розмірами скінченноелементної моделі основи по вертикалі, що відповідають глибині стиснутої товщі.

2 - з врахуванням генетичної нелінійності за допомогою системи «Монтаж» з врахуванням технології зведення монолітного залізобетонного каркасу, з постійними розмірами скінченноелементної моделі основи по вертикалі, що відповідають глибині стиснутої товщі, вирахованої для останньої стадії монтажу.

3 - з врахуванням генетичної нелінійності за допомогою системи «Монтаж» з врахуванням технології зведення монолітного залізобетонного каркасу, на кожній стадії відбувається перерахунок межі стисливої товщі ґрунтової основи, кожній стадії відбувається перерахунок межі стисливої товщі ґрунтової основи, нижче обрахованої межі жорсткість скінченних елементів масиву збільшується в 10 разів, тобто використовується модуль пружності $E_{стр}$, який приймається [6]:

$$E_{стр} = 10E_{деф}. \quad (14)$$

Горизонтальні розміри чисельної моделі ґрунтової основи підібрані ітераційно для забезпечення незалежності результатів від граничних умов.

Тип граничних умов у вузлах моделі ґрунтової основи традиційно рекомендується приймати наступними: верхня межа моделі – вільна для переміщень, накладення в'язей на горизонтальні переміщення бокових граней та горизонтальні і вертикальні для нижньої межі [5, 7].

Результати розрахунку осідань (рис. 5) показують, що у випадку врахування генетичної нелінійності без деталізації деформаційних властивостей основи, коли глибина стиснутої товщі вираховувалась для останньої стадії і використовується для всіх етапів монтажу (модель 2) призводить до завищених значень осідань навіть у порівнянні з традиційним розрахунком (модель 1). Це можна пояснити тим, що на ранніх стадіях монтажу фактично моделюється основа з завищеною деформативністю.

Уточнення деформаційних властивостей основи, шляхом зміни розмірів чисельної моделі основи по вертикалі, у поєднанні із врахуванням генетичної нелінійності розрахунку (модель 3) дають змогу виявити певні

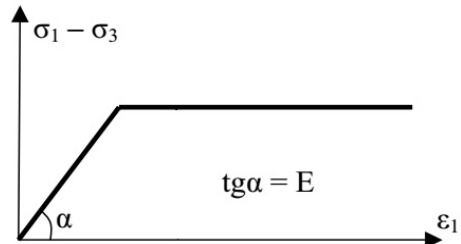


Рис. 3. Білінійна діаграма залежності деформацій та напружень в моделі Кулона-Мора

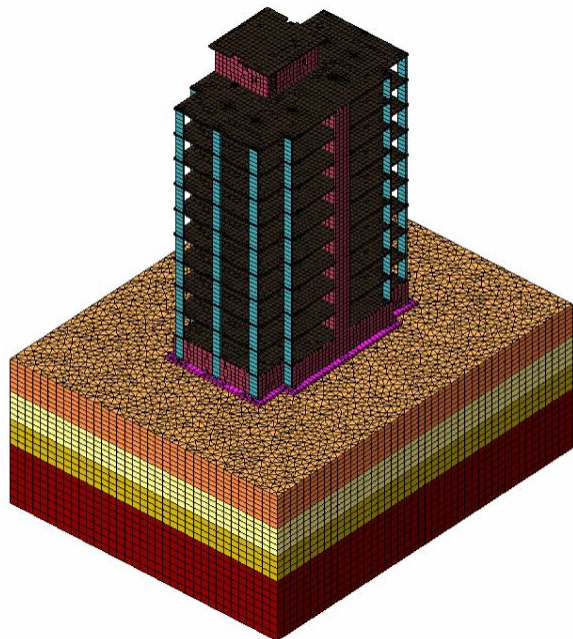


Рис. 4. Загальний вигляд чисельної моделі із використанням об'ємних скінченних елементів ґрунтового масиву

запаси в роботі несучих конструкцій будівлі. При такому розрахунку знижуються не лише величини абсолютних значень осідань, а й величини відносних деформацій фундаментної плити, що веде до зменшення напружень. Отримані результати та висновки кореспондуються з отриманими в роботі [3], в якій основа моделювалась за допомогою коефіцієнтів постелі.

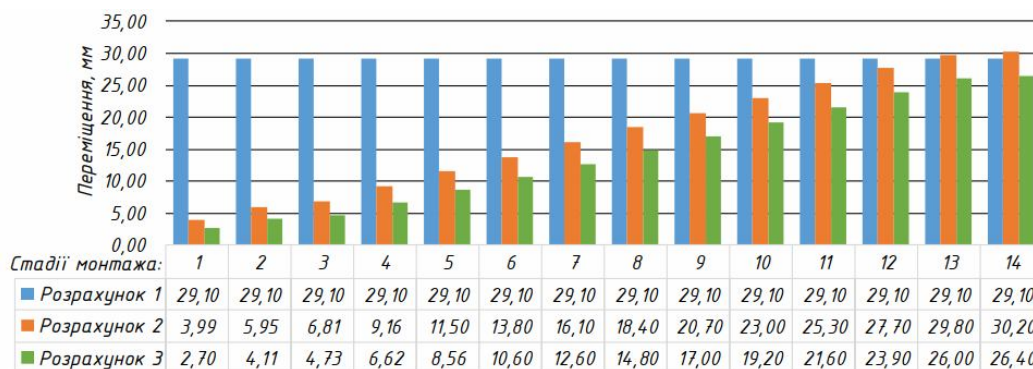


Рис. 5. Максимальні вертикальні переміщення фундаментної плити

Особливий інтерес при майбутніх дослідженнях напружено-деформованого стану системи «основа - фундамент - споруда» викликає можливість урахуванням генетичної нелінійності в поєднанні з чисельним моделюванням основи та використанням ґрунтових моделей, що враховують зміну рівня напружень, зокрема використання ґрунтової моделі Hardening Soil, моделей, що враховують збільшення модуля деформації з глибиною, а також в поєднанні з розрахунками на особливі навантаження та впливи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Комп'ютерні технології розрахунку просторових конструкцій при статичних і динамічних навантаженнях / В.А. Баженов та ін. Київ : Каравела, 2018. 312 с.
2. Перельмутер А.В. Деякі особливості нелінійних розрахунків у системі проектування споруд. Опір матеріалів і теорія споруд. 2024. № 113. С. 183–194. DOI: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.113.183-194>.
3. Solodei I., Petrenko E., Zatyliuk Gh. Nonlinear problem of structural deformation in interaction with elastoplastic medium. Опір матеріалів та теорія споруд. 2020. №105. С. 48–63. DOI: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2020.105.48-63>
4. Перельмутер А., Кабанцев О. Анализ конструкции с изменяющейся расчетной схемой : навч. вид. : СКАД СОФТ, 2015. 148 с.
5. Компьютерные модели конструкций / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. Київ : Факт, 2005. 344 с.
6. Вінніков Ю.Д. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі. Полтава : ПНТУ, 2004. 237с.
7. Möller S. Tunnel induced settlement sandstructural forces in linings : dissertation. 2006. 174 p.

REFERENCES

1. Kompiuterni tekhnolohii rozrakhunku prostorovykh konstrukttsii pry statychnykh i dynamichnykh navantazhenniakh (Computer technologies for the analysis of spatial structures under static and dynamic loads) / V.A. Bazhenov et al. Kyiv: Karavela, 2018. 312 p.
2. Perelmutter A.V. Deiaki osoblyvosti nelineynykh rozrakhunkiv u systemi proektuvannia sporud (Some features of nonlinear calculation in the building design system). Strength of Materials and Theory of Structures. 2024. No. 113. P. 183–194. DOI: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.113.183-194>
3. Solodei I., Petrenko E., Zatyliuk Gh. Nonlinear problem of structural deformation in interaction with elastoplastic medium. Strength of Materials and Theory of Structures. 2020. No. 105. P. 48–63. DOI: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2020.105.48-63>
4. Perelmutter A., Kabantsev O. Analiz konstrukttsii s izmenyayushcheysya raschetnoi skhemoi (Analysis of structures with variable design schemes). Navch. vyd. (Textbook). SKAD SOFT, 2015. 148 p.
5. Kompyuternie modeli konstrukttsii (Computer models of structures) / A.S. Gorodetskii, I.D. Evzerov. Kyiv: Fakt, 2005. 344 p.
6. Vinnikov Yu.D. Matematychnе modeliuvannia vzaemodii fundamentiv z uschilnenymy osnovamy pry yikh zvedenni ta nastupnii roboti (Mathematical modeling of the interaction of foundations with compacted bases during construction and subsequent operation). Poltava: PNTU, 2004. 237 p.
7. Möller S. Tunnel induced settlements and structural forces in linings: Dissertation. 2006. 174 p.

Солодей І.І., Затилюк Г.А., Коновал В.С.

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СИСТЕМИ «ОСНОВА - ФУНДАМЕНТ - СПОРУДА» З УРАХУВАННЯМ ГЕНЕТИЧНОЇ НЕЛІНІЙНОСТІ

У роботі розглянуто особливості моделювання системи «основа – фундамент – споруда» з урахуванням генетичної нелінійності, яка відображає послідовні зміни розрахункової схеми під час зведення будівлі. Особливу увагу приділено чисельному моделюванню ґрунтової основи, зокрема уточненню її деформаційних характеристик у процесі зміни розрахункової моделі.

Для дослідження обрано три розрахункові моделі: традиційна схема з «одномоментним» прикладанням навантажень, схема з урахуванням генетичної нелінійності, але із фіксованими розмірами моделі основи по вертикалі, схема з урахуванням генетичної нелінійності та уточненням деформаційних характеристик основи через зміну меж стисливої товщі на кожному етапі монтажу.

Результати розрахунків показали, що модель 2 призводить до завищених значень осідань на початкових стадіях, що формує консервативний результат. Найбільш реалістичні дані отримано за моделлю 3, яка враховує зміну меж стисливої товщі на кожному етапі. Такий підхід дозволяє знизити не лише абсолютні значення осідань, а й відносні деформації фундаментної плити, що веде до зменшення напружень у конструкціях підземної частини споруди та виявляє певні резерви їхньої роботи.

Ключові слова: генетична нелінійність, монтаж, метод скінченних елементів, глибина стиснутої зони, ґрунтова основа, осідання.

Solodei I.I., Zatyliuk Gh.A., Konoval V.S.

STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE «SOIL – FOUNDATION – STRUCTURE» SYSTEM WITH CONSIDERATION OF GENETIC NONLINEARITY

The study examines the features of modeling the stress-strain state of the “soil–foundation–structure” system with consideration of genetic nonlinearity, which reflects the sequential changes of the calculation scheme during the construction of a building. It is shown that traditional linear calculations do not fully represent the actual processes of interaction between structures and the soil foundation. Three calculation models were considered for the analysis: a traditional scheme with “instantaneous” load application; a scheme with genetic nonlinearity but fixed vertical dimensions of the foundation model; and a scheme with genetic nonlinearity combined with refinement of the deformation properties of the foundation by adjusting the compressible layer thickness at each stage of construction.

The results demonstrated that Model 2 leads to overestimated settlement values at the initial stages, resulting in a conservative outcome. The most realistic results were obtained with Model 3, which accounts for changes in the compressible layer thickness at each construction stage. This approach makes it possible to reduce not only the absolute settlement values but also the relative deformations of the foundation slab, thereby decreasing stress levels in the underground structural elements of the building and revealing certain reserves in their performance.

Keywords: genetic nonlinearity, ‘montage’ mode, finite element method, depth of the compressed zone, soil foundation, settlement.

УДК 539.3

Солодей І.І., Затилюк Г.А., Коновал В.С. Дослідження напружено-деформованого стану системи «основа - фундамент - споруда» з урахуванням генетичної нелінійності // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2025. – Вип. 115. – С. 135-142.

У роботі розглянуто особливості моделювання системи «основа – фундамент – споруда» з урахуванням генетичної нелінійності, яка відображає послідовні зміни розрахункової схеми під час зведення будівлі. Особливу увагу приділено чисельному моделюванню ґрунтової основи, зокрема уточненню її деформаційних характеристик у процесі зміни розрахункової моделі. Показано, що традиційні розрахунки в лінійній постановці не забезпечують адекватного відображення реальних процесів взаємодії конструкцій і ґрунтової основи.

Іл. 5. Бібліогр. 7 назв.

UDC 539.3

Solodei I.I., Zatyliuk Gh.A., Konoval V.S. Study of the stress-strain state of the «Soil – Foundation -Structure» system with consideration of genetic nonlinearity // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv:KNUCA, 2025. – Issue 115.– P. 135-142.

The study addresses the specific features of modeling the “soil–foundation–structure” system with consideration of genetic nonlinearity, which reflects the sequential changes of the calculation scheme during the construction of a building. Particular attention is given to the numerical modeling of the soil foundation, in particular to the refinement of its deformation characteristics during the modification of the calculation model. It is shown that traditional linear calculations do not provide an adequate representation of the actual processes of interaction between structures and the soil foundation.

Fig. 5. Ref. 7.

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури СОЛОДЕЙ Іван Іванович

Адреса: 03680 Україна, м. Київ, пр. Повітряних Сил, 31, КНУБА

Тел.: +38 (044) 241-55-55

E-mail: solodei.ii@knuba.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7638-3085>

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): доктор філософії в прикладній механіці, доцент кафедри будівельної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури ЗАТИЛЮК Герман Анатолійович

Адреса: 03680 Україна, м. Київ, проспект Повітряних Сил, 31, КНУБА

E-mail: zatyliuk.ha@knuba.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0392-2214>

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): добувач другого (магістерського) рівня вищої освіти Київського національного університету будівництва і архітектури КОНОВАЛІ Віталій Сергійович

Адреса: 03680 Україна, м. Київ, проспект Повітряних Сил, 31, КНУБА

E-mail: konoval_vs@knuba.edu.ua