

Модель ґрунтової основи поряд розташованих різноповерхових споруд

Олександр САМОРОДОВ¹, Сергій ТАБАЧНИКОВ²

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
17, вул. Маршала Бажанова, Харків, Україна, 61002
¹osamorodov@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4395-9417
²s.v.tabachnikov@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2619-8612

DOI: 10.32347/0475-1132.48.2024.21-31

Анотація. У сучасній геотехніці, завдяки розвитку інформаційних технологій та отримання потужних комплексів для розрахунку всієї системи «основа – фундамент – споруда», одним з основним наукових напрямків є розробка, удосконалення та дослідження моделей ґрунтових основ для забезпечення адекватної взаємодії складових системи при будівництві та експлуатації будівель та споруд (далі, споруд).

У статті запропоновано удосконалену модель ґрунтової основи у вигляді суцільного шару скінченної розподільчої здатності для моделювання та розрахунку поряд розташованих різноповерхових споруд у системі «основа - фундаменти – споруди» у потужних розрахункових комплексах SOFiSTiK, ABAQUS, PLAXIS, SCAD, Ліра тощо. Удосконалена модель враховує параметри фізико-механічних характеристик ґрунтів основи, геометричний профіль з урахуванням розподільчої здатності основи та різні граничні умови, але відрізняється від існуючих моделей тим, що має ступінчастий геометричний профіль на нижній границі моделі через різні стисливі товщини під кожним фундаментом споруд. Використання цієї моделі дозволяє підвищити точність моделювання ґрунтової основи для великорозмірних фундаментів поряд розташованих споруд для отримання надійних результатів напружено-деформованого стану системи «основа – фундаменти – споруди».

На прикладі продемонстровано моделювання та розрахунок плитних фундаментів двосекційної багатоповерхової будівлі у системі «основа - фундаменти – споруди», що взаємодіє із удосконаленою моделлю ґрунтової основи (в даному випадку розглядається лінійне деформування ґрунтів під навантаженням), з урахуванням різної поверховості секцій. Результати чисельних



Олександр Самородов
завідувач кафедри
геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва
д.т.н., проф.



Сергій Табачников
доцент кафедри
геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва
к.т.н., доц.

досліджень на конкретному прикладі розрахунку показують, що врахування різних величин стисливих товщ у моделі під різнонавантаженими фундаментами призводить до збільшення моментних зусиль до 65% у порівнянні з моделюванням загальної стислої товщі, що може призводити до руйнування конструкцій великорозмірних плитних фундаментів.

Ключові слова. Плитні фундаменти, ґрунтова основа, модель, стислива товща, напружено-деформований стан.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Загальновідомо, що для отримання надійних та достовірних результатів розрахунку напружено-деформованого стану конструкцій фундаментів поряд розташованих різноповерхових споруд у системі «основа – фундаменти – споруди» («ОФС») необхідно обрати таку модель ґрунтової основи з відповідними параметрами, яка є близькою до поведінки реального ґрунтового середовища

під навантаженнями від конструкцій за двома критеріями: розподільчою здатністю та деформативністю фундаментів споруд.

Недоліком відомих моделей ґрунтових основ та класичних підходів до їх геометричної побудови у розрахункових комплексах є складність врахування різних величин стисливих товщ (активних зон деформування) під кожним фундаментом споруд при моделюванні взаємодії поряд розташованих великорозмірних фундаментів споруд. Такий недолік може призводити до суттєвих помилок у визначенні напружено-деформованому стану поряд розташованих великорозмірних фундаментів різноповерхових споруд.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Понад 200 років тому Н.І. Фуссом була запропонована перша найпростіша лінійна однопараметрова модель ґрунтової основи, які взагалі не мала розподільчої здатності. Згодом розроблялися більш досконалі багатопараметрові й комбіновані моделі, що мали здатність описувати різні властивості ґрунтових основ, які здебільшого розроблялися для інженерних розрахунків конструкцій, що взаємодіють з ґрунтовою основою. Детальний опис різних моделей ґрунтової основи наводиться в деяких роботах [10, 11], а також у дисертаційних роботах і наукових працях сучасних українських вчених І.Я. Лучковського [1, 6], Бойка І.П. [12], Ю.Л. Винникова [2] і С.Г. Кушнера [3].

Ще з минулого сторіччя при інженерних розрахунках основ та фундаментів широко застосовувалася модель ґрунтової основи у вигляді суцільного лінійно-деформованого шару, так як вона пропонувалася державними будівельними нормами [4] та вимагала завдання лише товщини шару H (стисливої товщі) та деформаційних характеристик ґрунту (модуля загальної деформації E та коефіцієнта Пуассона ν). При цьому, ця аналітична модель не мала обмежень у плані. Сьогодні, через потужний розвиток інформаційних технологій, при моделюванні та чисельних розрахунках системи «ОФС» у потужних розрахункових комплексах

SOFiSTiK, ABAQUS, Plaxis, SCAD, Ліра тощо, як правило, у просторовій постановці задачі застосовується *модель ґрунтової основи у вигляді суцільного шару скінченної розподільчої здатності* (рис. 1) [9-17] (поняття вводиться вперше), яка, крім обмеження вертикальних деформацій на деякій глибині H , також має обмеження горизонтальних деформацій на деякій відстані від навантаження у плані ($L_x \times L_y$). Такі граничні умови моделі ґрунтуються на тому, що при дії зовнішніх навантажень на ґрунтову основу утворюється просторова область деформування, за межами якої деформаціями ґрунту можна знехувати, так як додаткове навантаження на межах ґрунтового масиву не перевищує структурної міцності ґрунту [16]. При цьому для самої моделі можуть задаватися будь-які закономірності деформування ґрунтів під навантаженнями, в тому числі й у часі.

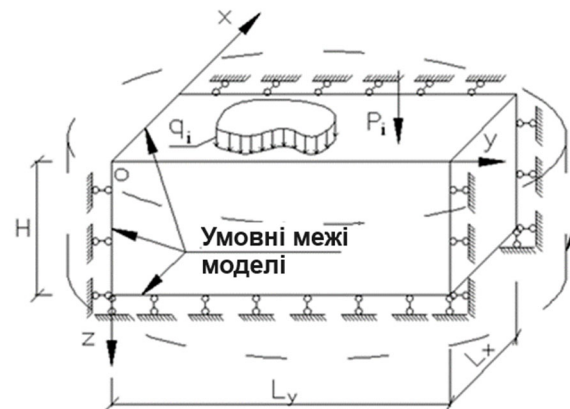


Рис.1. Модель ґрунтової основи у вигляді суцільного шару скінченної розподільчої здатності (для просторових задач)

Fig.1. Soil base model in the form of a continuous layer of finite distribution capability (for three-dimensional problems)

Для розрахунку фундаментів в умовах плоскої деформації ця модель також може бути плоскою, як окремий випадок, яка має відому назву – *модель суцільного шару скінченної ширини*. Професорами І.Я. Лучковським [1] та З.Г. Тер-Мартirosяном [5] отримані аналітичні рішення напружено-деформованого стану ґрунтової основи з навантаженнями на поверхні з використанням моделей суцільного лінійно-деформованого

(пружного) шару скінченної ширини.

У попередніх публікаціях авторів було запропоновано методику призначення параметрів лінійно-деформованого шару (наведений модуль деформації ґрунту E_0 та наведена стислива товща H_0) для адекватного моделювання взаємодії великорозмірних плитних фундаментів з ґрунтовою основою, яка дозволяє отримати адекватні осідання й знизити розподільчу здатність моделі [6].

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є удосконалення моделі ґрунтової основи поряд розташованих різнонавантажених великорозмірних фундаментів споруд та чисельні дослідження впливу моделі на напружено-деформований стан плитних фундаментів двосекційної багатоповерхової будівлі у системі «основа – фундаменти – споруди».

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Пропонується удосконалена модель ґрунтової основи у вигляді суцільного шару

скінченної розподільчої здатності (СШСРЗ), яка дає змогу адекватно враховувати взаємодію великорозмірних фундаментів поряд розташованих різноповерхових споруд [7]. Модель ґрунтової основи у вигляді СШСРЗ має параметри фізико-механічних характеристик ґрунтів основи та паль, геометричний профіль з урахуванням їх розподільчої здатності та різні граничні умови для моделювання та розрахунку системи «основа – фундаменти – споруди», але відрізняється тим, що її нижня границя має ступінчастий геометричний профіль через різні величини стисливих товщ під кожним фундаментом споруд.

На рис. 2-3 показано приклади побудови границі удосконаленої моделі ґрунтової основи у вигляді шару скінченної розподільчої здатності l , яка має параметри фізико-механічних характеристик ґрунтів основи і паль та розподільчу здатність, що враховується кутом α , та різні величини стисливих товщ (активних зон деформування) $H_{p,i}$ під кожним фундаментом споруд шириною b_i , які передають навантаження на основу p_i .

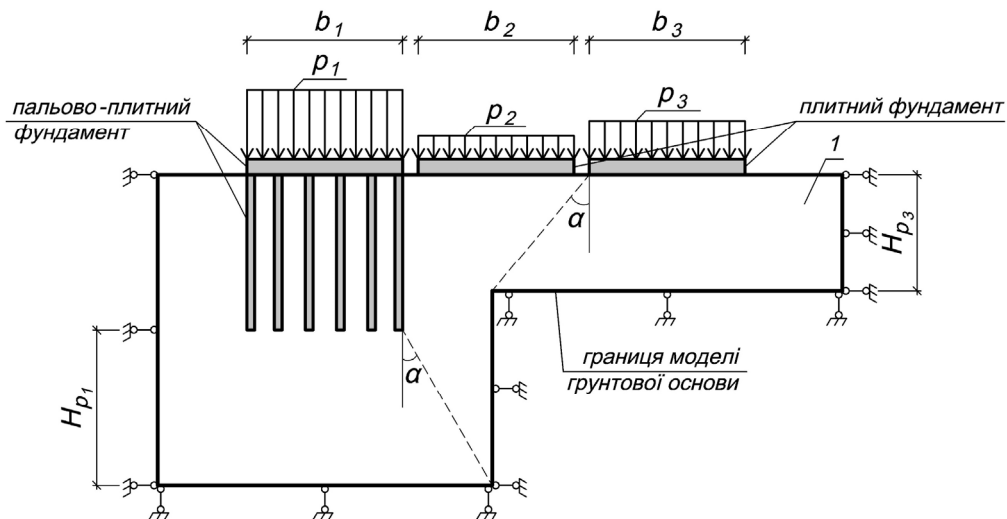


Рис. 2. Приклади побудови нижньої границі удосконаленої моделі ґрунтової основи у вигляді СШСРЗ, де навантаження $p_1 > p_2 < p_3$

Fig. 2. Examples of building the lower boundary of the improved soil base model in the form of CLFDC, where the load is $p_1 > p_2 < p_3$

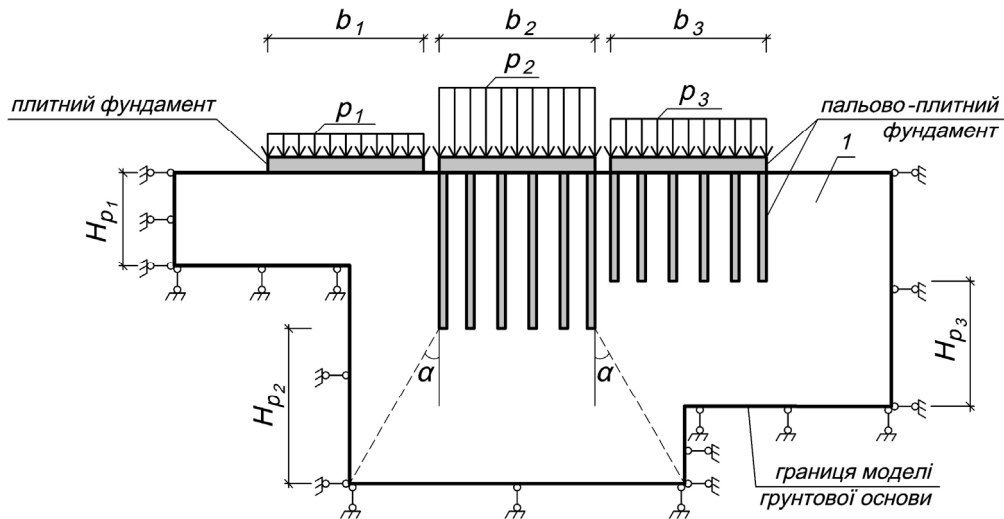


Рис. 3. Приклади побудови нижньої границі удосконаленої моделі ґрунтової основи у вигляді СШСРЗ, де навантаження $p_1 < p_2 > p_3$

Fig. 3. Examples of building the lower boundary of the improved soil base model in the form of CLFDC, where the load is $p_1 < p_2 > p_3$

Нами у роботі [8] досліджено вплив кута розподілу α на розподільчу здатність та деформативність моделі від навантаженого фундаменту на поверхні, де на підставі аналізу результатів чисельних розрахунків для плоскої задачі (плоска деформація) обґрунтована ширина моделі лінійно-деформованого шару скінченної ширини, що враховує розподіл стискаючих напружень по глибині під кутом $\alpha \approx 20 \div 25^\circ$ до вертикалі від країв навантаженого фундаменту (див. рис. 2-3). При цьому ширина моделі згідно з кутом

розподілу $\alpha \approx 20 \div 25^\circ$ практично не впливає на середні осідання та максимальні моментні зусилля фундаменту у порівнянні зі збільшенням розмірів моделі по ширині.

Для дослідження впливу удосконаленої моделі ґрунтової основи за допомогою комплексу PLAXIS 3D створено скінченно-елементну модель системи «основа – фундаменти – споруди», яка складається з ґрунтової основи та двосекційної 21-поверхової споруди на плитних фундаментах (рис. 4, 5).

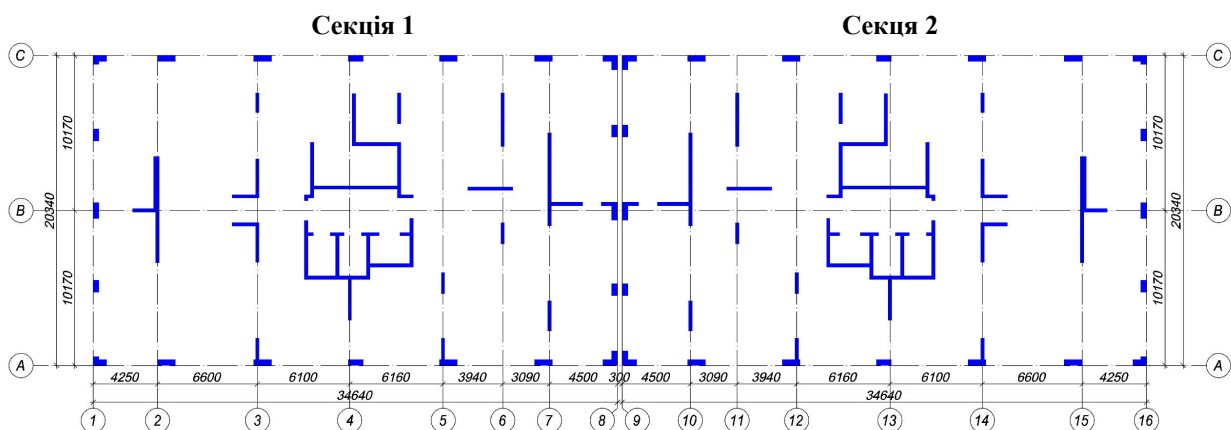


Рис. 4. Загальні вигляди послідовного створення досліджуваної системи «основа – фундаменти – споруди»: план розташування елементів каркасу

Fig. 4. General views of the stepwise building of the studied base - foundations - structures system: layout of the frame elements

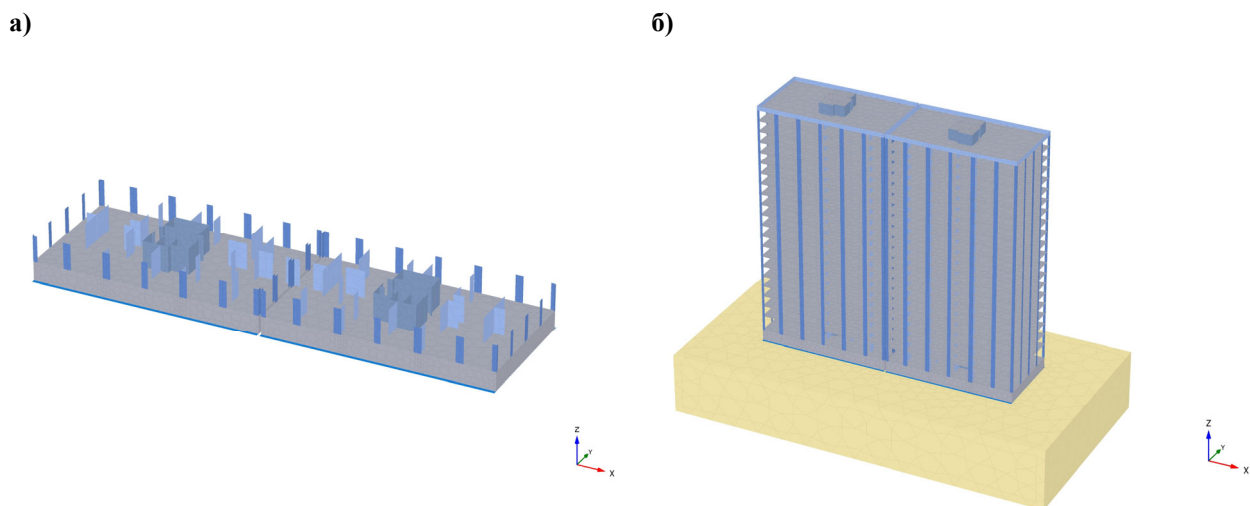


Рис. 5. Загальні вигляди послідовного створення досліджуваної системи «основа – фундаменти – споруди»: а) схема з'єднання елементів каркасу з плитними фундаментами; б) система «основа – фундаменти – споруди»

Fig. 5. General views of the stepwise building of the studied base - foundations - structures system: a) connection layout between the frame elements and the raft foundations; б) base - foundations - structures system

Конструктивна система будівлі комбінована – каркасно-діафрагмова. Конструктивна схема перекриття – монолітне безригельне. Будівельна система – каркасна, з залізобетонними монолітними перекриттями. Просторова жорсткість будинку забезпечується за рахунок роботи горизонтальних і вертикальних несучих конструкцій будинку – пілонів каркасу, монолітних перекриттів, і монолітних сходових клітин, діафрагм жорсткості та ліфтових шахт (рис. 4).

Грунтова основа змодельована у вигляді СШСРЗ об'ємними скінченними елементами з постійними фізико-механічними характеристиками: питома вага $\gamma=18,0$ кН/м³; модуль Юнга (модуль пружності) $E=30000,0$ кН/м² та коефіцієнт Пуассону $\nu=0,3$ од.

Елементи конструкції будівлі, а саме плитні фундаменти, стіни, пілони, перекриття та покриття, змодельовано пластинчатими скінченними елементами із використанням пружної моделі матеріалу з наступними параметрами: питома вага $\gamma=25,0$ кН/м³; модуль пружності $E=30,0 \cdot 10^6$ кН/м²; коефіцієнт Пуассона $\nu=0,2$ од.

В якості навантажень враховано власну вагу несучих та огорожуючих конструкцій.

На першому етапі методом скінченних елементів проведено чисельні розрахунки

напружено-деформованого стану системи «основа – фундаменти – споруди» з однаковою максимальною стисливою товщею моделі ґрунтової основи у вигляді СШСРЗ, як показано на рис. 1.

Вертикальні (по глибині) та горизонтальні (у плані) границі було обмежено на відстані, яка дорівнювала величині стислої товщі H при повному навантаженні. Тобто розподіл стискаючих напружень по глибині прийнято під кутом $\alpha=45^\circ$ до вертикалі від країв навантажених фундаментів [9].

Згідно з розрахунками за ДБН [4] стислива товща основи прийнята $H=17,1$ м при середньому тиску під подошвою фундаментної плити багатоповерхових секцій $p_{\text{ср.}}=273,53$ кПа, що відповідає сумарному навантаженню $N_{21}=206787,5$ кН при поверховості $n=21$, яка відповідає 21 зведеному поверху.

Дослідження напружено-деформованого стану системи виконані для різних співвідношень навантажень N_n/N_{21} по кожній із секцій при однаковій максимальній стисливій товщі $H_{\text{const}}=17,1$ м, де N_n – навантаження при поверховості n , яка відповідає 1, 6, 11 та 16 зведеним поверхам. Співвідношення навантажень досягалося за рахунок зміни поверховості секції 2 (рис. 6).

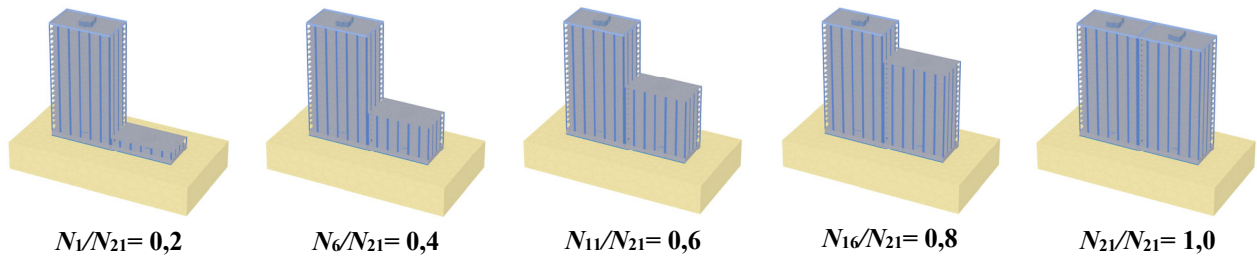


Рис. 6. Розрахункові схеми моделі на 1 етапі досліджень для співвідношення навантажень N_n/N_{21}
 Fig. 6. Calculation patterns for the model at Stage 1 of research for load ratios N_n/N_{21}

На другому етапі методом скінченних елементів проведено чисельні розрахунки напружено-деформованого стану системи «основа – фундаменти – споруди» зі ступінчастою стисливою товщею моделі ґрунтової основи у вигляді СШСРЗ, яка враховує кут α та різні величини стисливих товщ під кожним фундаментом споруд в залежності від навантаження, як показано на рис. 2-3.

Вертикальні (по глибині) границі було обмежено на глибині, яка дорівнювала величині стисливої товщі H_i для кожного окремого фундаменту, враховуючи різні величини навантажень. Для формування активної зони – стисливої товщі під кожною секцією будівлі при різних навантаженнях розподіл стискаючих напружень по глибині прийнято під кутом $\alpha \approx 25^\circ$ до вертикалі від внутрішнього краю більш навантаженого

фундаменту [8]. Горизонтальні (у плані) границі, як і для першого етапу досліджень, було обмежено на відстані, яка дорівнювала величині стисливої товщі $H=17,1$ м при максимальному навантаженні.

При побудові ступінчастого нижнього профілю моделі ґрунтової основи з урахуванням різних стисливих товщ застосовано простий підхід з моделювання, де прийнято практично недеформований жорсткий матеріал із значним модулем пружності $E=100,0 \cdot 10^9$ кН/м². Співвідношення навантажень досягалося аналогічно як і у першому етапі досліджень: за рахунок зміни поверховості n секції 2 (рис. 7), тобто враховувалася жорсткість надфундаментної споруди.

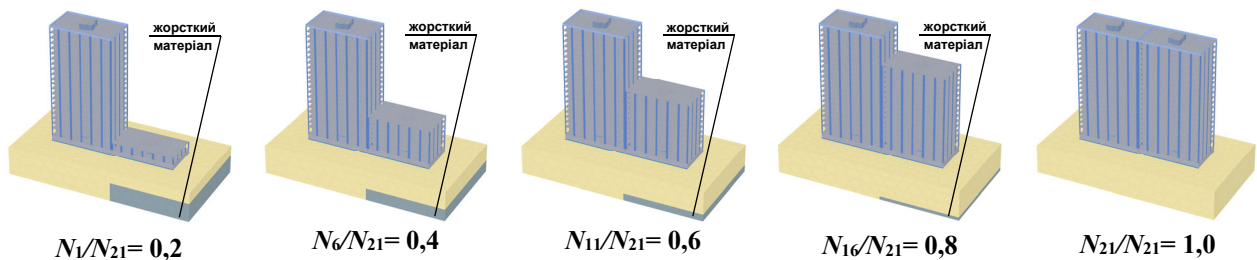


Рис. 7. Розрахункові схеми моделі на 2 етапі досліджень для співвідношення навантажень N_n/N_{21}
 Fig. 7. Calculation patterns for the model at Stage 2 of research for load ratios N_n/N_{21}

Напружено-деформований стан плитних фундаментів отримано для пружно-миттєвого рішення задачі та отримано абсолютні значення величин.

Нижче на рисунку 8 наведено порівняння розподілення осідань та повздовжніх згинальних моментів у плитних фундаментах двох секцій для моделі ґрунтової основи у

вигляді суцільного лінійно-деформованого шару скінченної розподільчої здатності з однаковою та ступінчастою стисливими товщами під фундаментами секцій для найбільш наочного прикладу із співвідношенням навантажень $N_1/N_{21}=0,2$.

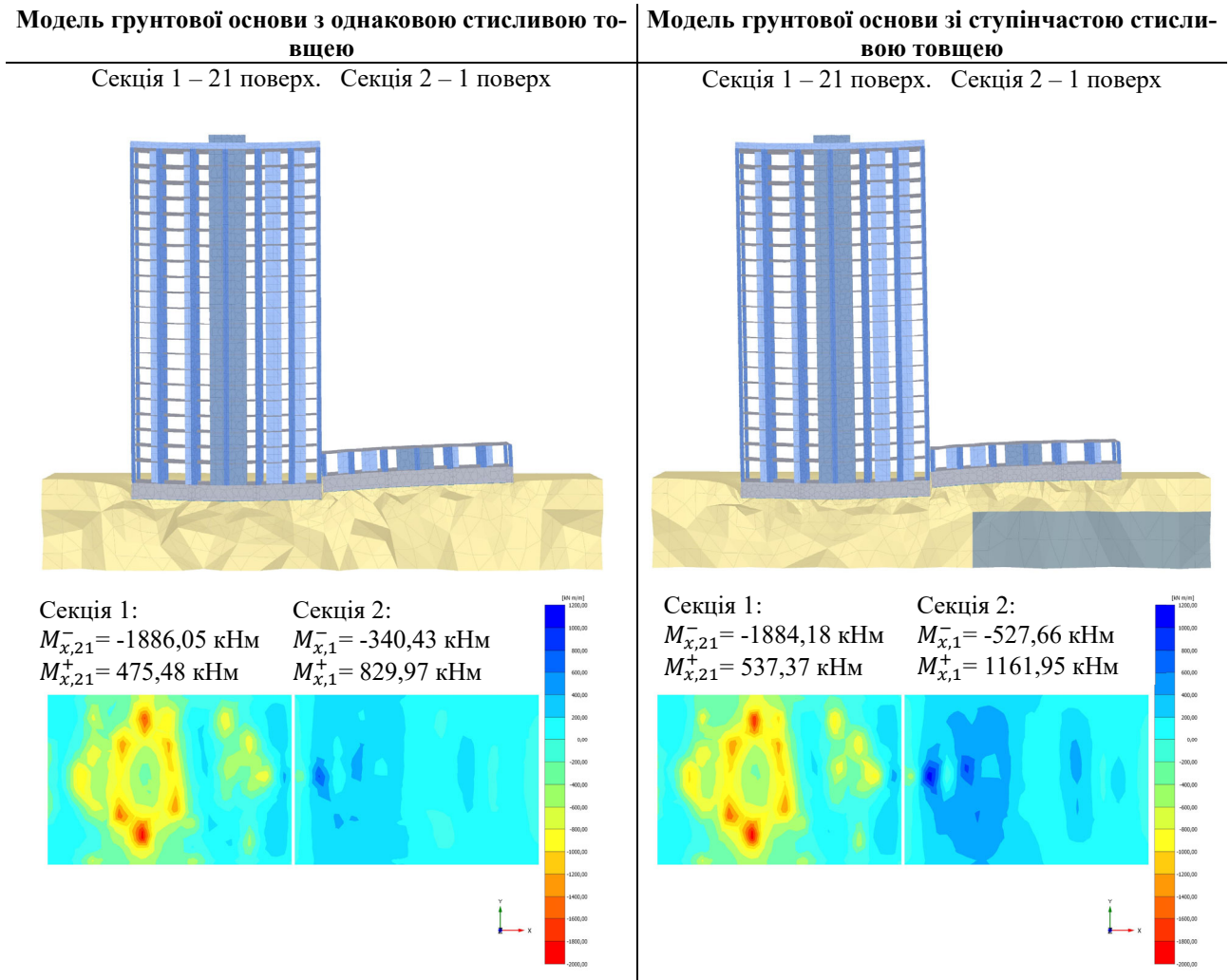


Рис. 8. Порівняння результатів розрахунків при різних стисливих товщах для співвідношення навантажень $N_1/N_{21}=0,2$

Fig. 8. Comparing the calculation results at different compressible layer depths for the load ratio of $N_1/N_{21}=0,2$

У якості критерію оцінки впливу моделі прийнято наступні співвідношення:

– відносний повздовжній *позитивний* згинальний момент $M_{x,відн.}^+$, од.:

$$M_{x,відн.}^+ = \frac{M_{x,n}^+}{M_{x,21}^+}, \quad (1)$$

де, $M_{x,n}^+$ – значення екстремуму повздовжнього *позитивного* згинального моменту при навантаженні у n поверхів при застосуванні моделі ґрунтової основи зі ступінчастою стисливою товщею, кН·м;

$M_{x,21}^+$ – значення екстремуму повздовжнього *позитивного* згинального моменту при повному навантаженні у 21 поверх при застосуванні моделі ґрунтової основи з

однаковою стисливою товщею, кН·м;

– відносний повздовжній *негативний* згинальний момент $M_{x,відн.}^-$, од.:

$$M_{x,відн.}^- = \frac{M_{x,n}^-}{M_{x,21}^-}, \quad (2)$$

де, $M_{x,n}^-$ – значення екстремуму повздовжнього *негативного* згинального моменту при навантаженні у n поверхів при застосуванні моделі ґрунтової основи зі ступінчастою стисливою товщею, кН·м;

$M_{x,21}^-$ – значення екстремуму повздовжнього *негативного* згинального моменту при повному навантаженні у 21 поверх при застосуванні моделі ґрунтової основи з однаковою стисливою товщею, кН·м;

На рис. 9-10 графічно показано результати розрахунків $M_{x,відн.}^+$ та $M_{x,відн.}^-$ у плитних фундаментах двох секцій для моделі ґрунтової основи у вигляді суцільного лінійно-деформованого шару скінченної розподільчої

здатності з однаковою та ступінчастою стисливими товщами під фундаментами секцій при різних співвідношеннях навантажень N_n/N_{21} .

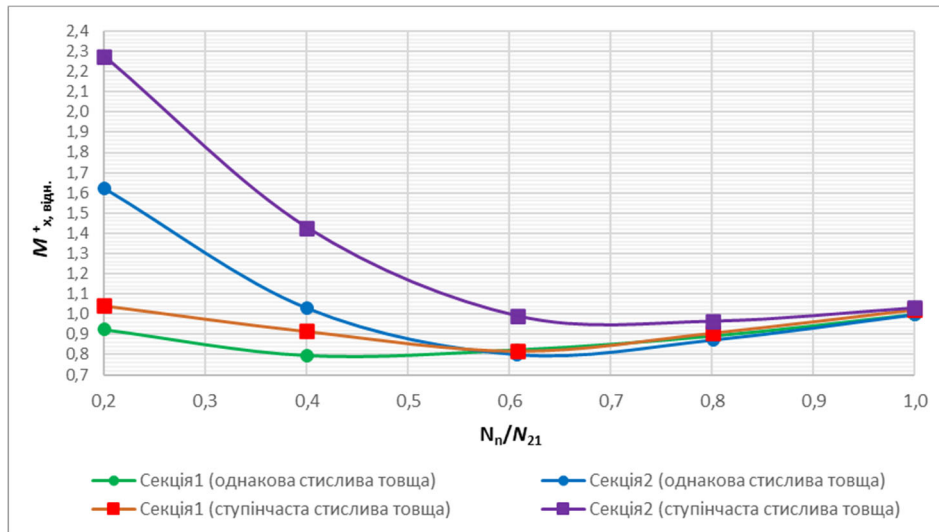


Рис. 9. Відносний повздовжній *позитивний* згинальний момент $M_{x,відн.}^+$.
 Fig. 9. Relative longitudinal *positive* bending moment $M_{x,relative}^+$

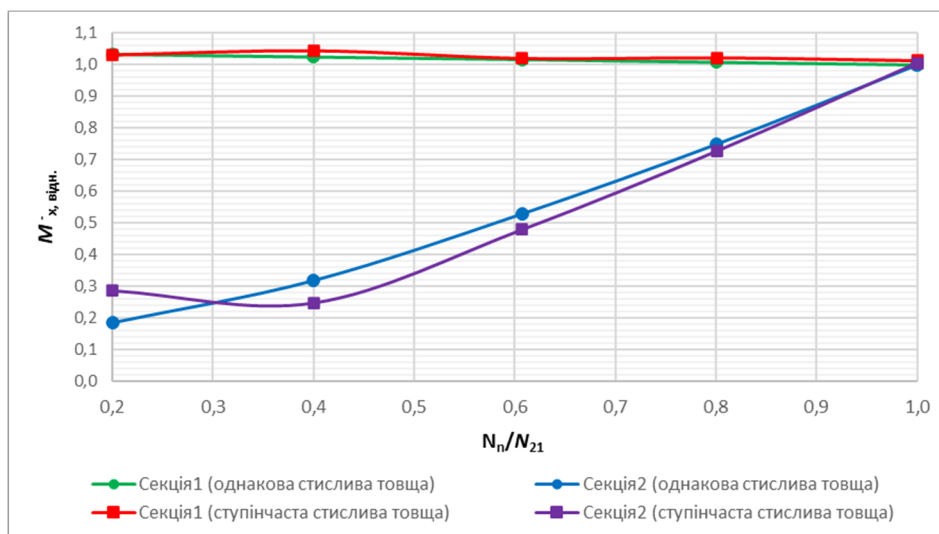


Рис. 10. Відносний повздовжній *негативний* згинальний момент $M_{x,відн.}^-$.
 Fig. 10. Relative longitudinal *negative* bending moment $M_{x,relative}^-$

Аналіз результатів розрахунку (рис. 9-10) показує, що для двосекційної будівлі на плитних фундаментах використання моделі ґрунтової основи із однаковою стисловою товщею, прийнятою по максимальному навантаженню при будь-якому його співвідношенні, у порівнянні із удосконаленою моделлю ґрунтової основи із ступінчастою стисловою товщею суттєво не впливає на абсолютні значення повздовжніх згинальних

моментів у фундаментній плиті максимально навантаженої секції 1. Різниця визначених значень знаходиться у межах 0-13% як у бік завищення, так і заниження для повздовжніх згинальних моментів на всьому інтервалі співвідношень навантажень.

Для фундаментної плити змінно навантаженої секції 2, відносно максимально навантаженої секції 1, різниця визначених значень повздовжніх негативних згинальних

моментів знаходиться у межах 1-10% як у бік завищення, так і заниження. Проте різниця визначених значень повздовжніх позитивних згинальних моментів знаходиться у межах 3-65% у бік заниження для моделі ґрунтової основи із однаковою стисливою товщею, що є принциповим недобрахуванням.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

На підставі результатів проведеного дослідження можна зробити наступні висновки та рекомендації:

1. Запропоновано удосконалену модель ґрунтової основи у вигляді суцільного шару скінченої розподільчої здатності, яка має параметри фізико-механічних характеристик ґрунтів основи, геометричний профіль з урахуванням їх розподільчої здатності та різні граничні умови, для моделювання та розрахунку системи «основа – фундаменти – споруди», яка відрізняється тим, що її нижня границя має ступінчастий геометричний профіль через різні величини стисливих товщ під кожним фундаментом споруд.

2. Проведено чисельні дослідження напружено-деформованого стану системи «основа – фундаменти – споруди» з метою виявлення впливу удосконаленої моделі ґрунтової основи на розподіл повздовжніх згинальних моментів великорозмірних поряд розташованих фундаментів різноповерхових споруд. За результатами аналізу розрахунків виявлено принципове заниження значень повздовжніх позитивних згинальних моментів у менш навантаженій фундаментній плиті до 65% у інтервалі співвідношень навантажень $N_n/N_{21}=0,2\div 1,0$ при використанні моделі ґрунтової основи із однаковою стисливою товщею у порівнянні із запропонованою удосконаленою моделлю ґрунтової основи зі ступінчастою стисливою товщею.

3. Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що за умови одночасного зведення секцій будівель та споруд з метою зниження абсолютних значень повздовжніх позитивних згинальних моментів слід дотримуватись інтервалу співвідношення навантажень не менше $N_n/N_{21}=0,8$, що

дозволить скоротити витрати для армування верхньої зони фундаментної плити менш навантаженої секції до 55-65%. Або, як загальновідомо, слід повністю зводити більш навантажену секцію зі стабілізацією деформацій основи, а після чого – зводити менш навантажену секцію.

4. Рекомендується використання удосконаленої моделі ґрунтової основи для підвищення точності моделювання ґрунтової основи великорозмірних поряд розташованих фундаментів різноповерхових споруд для отримання надійних та достовірних результатів напружено-деформованого стану системи «основа – фундаменти – споруди».

ЛІТЕРАТУРА

1. Лучковский И.Я. Взаимодействие конструкций с основанием / И.Я. Лучковский. – Харків: ХДАГХ (Бібліотека журналу ІТЕ), 2000. – Том 3. – 264 с.
2. Винников Ю.Л. Моделирование процессов усадки грунта при висесимметричному напружено-деформованому стані основ: дис. ... докт. техн. наук : спец. 05.23.02 / Ю.Л. Винников. – Київ, 2005. – 468 с.
3. Кушнер С.Г. Расчет деформаций оснований зданий и сооружений / С.Г. Кушнер. – Запорожье, 2008. – 496 с.
4. Основи та фундаменти будівель і споруд ДБН В.2.1.-10:2018 – [Чинний від 2019-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2018. – 36с.
5. Тер-Мартirosян З.Г. Механика ґрунтов / З.Г. Тер-Мартirosян. – М.: АСВ, 2009. – 309 с.
6. Lutchkovsky, I.J. Definition of the parameters of an elastic finite layer / I.J. Lutchkovsky, O.V. Samorodov // *Proceedings of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development*. Edinburgh, Scotland: 2015. – P. 3711-3715.
7. Заява на патент на винахід № а202301804, Україна МПК Е02D 27/12. МОДЕЛЬ ГРУНТОВОЇ ОСНОВИ (Самородов О.В., Табачников С.В.). Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекедова. – Заявл. 25.04.2023.
8. Самородов О.В. Вплив граничних умов на розподільчу здатність та деформативність моделі ґрунтової основи у вигляді лінійно-деформованого шару скінченної ширини /

- О.В. Самородов, В.А. Александрович, С.В. Табачников, О.В. Гаврилюк // *Наука та будівництво*. – №2 (36)'. – Київ: ДП «ДНДІБК», 2023. – С. 12-19.
9. Empfehlungen des Arbeitskreises «Numerik in der Geotechnik» – EANG. *Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (ed.)*, 2014. – 196 pp.
 10. Kh Mohd Najmu Saquib Wani, Rakshanda Showkat. «Soil Constitutive Models and Their Application in Geotechnical Engineering: A Review», *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 7 Issue 04, pp. 137-145, 2018.
 11. Jean-Louis Briaud. «Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils», *John Wiley & Sons, Inc.*, Hoboken, New Jersey, US, 2013.
 12. Бойко І. П. Вплив послідовності зведення суміжних секцій висотного будинку на перерозподіл зусиль у пальових фундаментах / І.П. Бойко, В.С. Носенко // *Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка*. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво. - 2012. - Вип. 4(1). - С. 54–60.
 13. 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. – 240с.
 14. Носенко В.С. Вплив жорсткості несучих конструкцій будинку зі збірного залізобетону на напружено-деформований стан фундаментів із буроін'єкційних паль / В.С. Носенко, О.А. Кривенко // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. – 2020. – Вип. 40. – С. 48-57.
 15. Сковчок Л.О. Вплив послідовності зведення будинків на формування напружено-деформованого стану системи «основа-фундамент-надземні конструкції» / Л.О. Сковчок, А.М. Шабалтун // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. – 2020. – Вип. 41. – С. 32-44.
 16. Ter-Martirosyan Z. G. Soil beds of high-rise buildings / Z.G. Ter-Martirosyan, A.Z. Ter-Martirosyan // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, – 2019. – 46(5), – 165-179.
 17. Braja M.D. Shallow foundations. Bearing capacity and settlements / M.D. Braja // CRC Press. Taylor & Francis Group. – 2017.
- REFERENCES
1. Luchkovsky, I.Ya. (2000). Vzaimodeystviye konstruktsey s osnovaniyem [Interaction of structures with the base]. Kharkiv: KHDACH (Library of the ITA journal), Volume 3, 264 p. (in Russian)
 2. Vynnykov, Yu.L. (2005). Modelyuvannya protsesiv ushchilnennya hruntu pry visesymetrychnomu napruzhenno-deformovanomu stani osnov [Modeling soil compaction processes in the axisymmetric stress-strain state of bases]. (Doctoral dissertation, specialization 05.23.02). Kyiv, 468 p. (in Ukrainian)
 3. Kushner, S.G. (2008). Raschet deformatsiy osnovaniy zdaniy i sooruzheniy [Calculation of deformations of the foundations of buildings and structures]. Zaporizhzhia: 496 p. (in Russian)
 4. Osnovy ta fundamenti budivel' i sporud: DBN V.2.1.-10:2018. (2018) - [Chynnyy vid 2019-01-01]. - Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 36 (in Ukrainian).
 5. Ter-Martirosyan, Z.G. (2009). Mekhanika gruntov [Soil mechanics]. M: ASV, 309 p. (in Russian)
 6. Luchkovsky, I.J., & Samorodov, O.V. (2015). Definition of the parameters of an elastic finite layer. *Proceedings of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development*. 3711-3715.
 7. Patent application No. a202301804, Ukraine IPC E02D 27/12. MODEL HRUNTOVOYI OSNOVY [A SOIL BASE MODEL] (Samorodov, O.V., Tabachnykov, S.V.). Kharkiv National University of Urban Economy named after O.M. Beketov. Filed 25.04.2023.
 8. Samorodov, O.V., Alexandrovich, V.A., Tabachnykov, S.V., & Havryliuk, O.V. (2023). Vplyv hranychnykh umov na rozpodilchu zdatnist ta deformatyvnysh modely gruntovoyi osnovy u vyhlyadi liniyno-deformovanoho sharu skinchennoyi shyryny [The influence of boundary conditions on the distribution capability and deformability of the model of the soil base in the form of a linearly deformed layer of finite width]. *Science and construction*, 2 (36), 12-19.
 9. Empfehlungen des Arbeitskreises Numerik in der Geotechnik" – EANG. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (Ed.). (2014). 196 p
 10. Kh Mohd Najmu Saquib Wani, Rakshanda Showkat. (2018). Soil Constitutive Models and

Their Application in Geotechnical Engineering: A Review. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 7(04), 137-145.

11. Briaud, J.-L. (2013). *Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
12. Boyko, I.P., Nosenko, V.S. (2012). Vplyv poslidovnosti zvedennya sumizhnykh sektiys vysothnoho budynku na pererozpodil zusyly u palovykh fundamentakh [The influence of the sequence of construction of adjacent sections of a high-rise building on the redistribution of forces in pile foundations]. *Zbirnyk naukovykh prats. Seriya: Haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo. Poltava: PoltNTU*, (1), 54-60. (in Ukrainian).
13. Nosenko, V.S. (2012). Napruzhenodeformovany stan paljovo-plytynykh fundamentiv sekcijnykh vysotnykh budynkiv [Stress-strain state of plate-pile foundations of sectional high-rise buildings]. (Doctoral dissertation, specialization 05.23.02). Kyiv: KNUBA, 240 p. (in Ukrainian).
14. Nosenko, V.S., Krivenko, O.A. (2020). Vplyv zhorstkosti nesuchykh konstruktsiy budynku zi zbirnogo zalizobetonu na napruzhenodeformovany stan fundamentiv iz buroinyektsiynykh pal [The influence of the stiffness of the bearing structures of a precast concrete building on the stress-strain state of foundations made of augercast piles]. *Osnovu i fundamenty: Mizhvidomchyj naukovotekhnichnyj zbirnyk*, 40, 48-57 (in Ukrainian).
15. Skochko, L., Shabaltun, A. (2020). Vplyv poslidovnosti zvedennya budynkiv na formuvannya napruzhenodeformovanoho stanu systemy «osnova-fundament-nadzemni konstruktsiyi [The influence of the sequence of building construction on the formation of the stress-strain state of the base-foundation-superstructures system]. *Osnovu i fundamenty: Mizhvidomchyj naukovotekhnichnyj zbirnyk*, (41), 32-44 (in Ukrainian).
16. Ter-Martirosyan, Z.G., Ter-Martirosyan, A.Z. (2009). Soil beds of high-rise buildings. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 46(5), 165-179.
17. Braja M.D. (2017). *Shallow foundations. Bearing capacity and settlements*. CRC Press. Taylor & Francis Group.

A soil base model of adjacent various story structures

Oleksandr SAMORODOV,
Sergii TABACHNIKOV,

Summary. In modern geotechnical engineering, owing to the development of information technology and availability of powerful packages for the calculation of the entire base - foundation - structure system, one of the main research areas is to develop, improve and investigate soil base models to ensure the adequate interaction between the components of the system during the construction and operation of buildings and structures (hereinafter referred to as the “structures”).

The paper proposes an improved soil base model in the form of a continuous layer of finite distribution capability to simulate and calculate adjacent multistory structures in the base - foundations - structures system using powerful calculation packages such as SOFiSTiK, ABAQUS, PLAXIS, SCAD, Lira and others. The improved model considers the parameters of the stress-strain properties of the soils of the bases, the geometric profile taking account of the distribution capability of the base and different boundary conditions, but differs from the existing models in that it has a stepped geometric profile at the lower boundary of the model because of different compressible layer depths under each foundation of the structures. The use of this model improves the accuracy of simulating a soil base for large-sized foundations of adjacent structures to obtain reliable results of the stress-strain state of the base - foundations - structures system.

An example demonstrates how to simulate and calculate raft foundations of a two-section multistory building in the base - foundations - structures system that interacts with an improved soil base model (linear strains of soils under loads are considered here) with reference to different numbers of stories of the sections. The numerical study results show on a specific calculation example that considering different compressible layers depths in the model under differently loaded foundations results in an increase in moment forces of up to 65% as compared with simulating the whole compressible layer, which may lead to the disruption of large-sized raft foundations.

Key words. Raft foundations, Soil base, Model, Compressible layer, Stress-strain state