

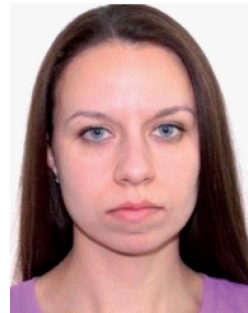


Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-16-2022-3>

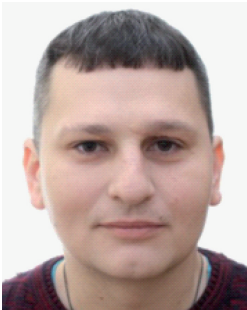
УДК 627.26:624.131



ДВОРНИК А. М.
Зав. лабораторії
ДП «Державний науково-
дослідний інститут
будівельнихконструкцій»,
м. Київ, Україна
e-mail: dvornyka@gmail.com
тел.: +38 (050) 415-36-29
ORCID: 0000-0003-0266-8429



СТЕПАНЧУК Н. В.
Молодший науковий
співробітник ДП «Державний
науково-дослідний інститут
будівельнихконструкцій»,
м. Київ, Україна
e-mail: nataskas666@gmail.com
тел. +38(044) 249-37-72
ORCID: 0000-0003-2562-7013



ШОМКА М. В.
Провідний інженер
ДП «Державний науково-
дослідний інститут
будівельнихконструкцій»,
м. Київ, Україна
e-mail: vinickolas2@gmail.com
тел. +38(044)249-37-72
ORCID: 0000-0001-5724-0716

РОЗРАХУНОК ОСІДАНЬ БАРЕТНОГО ФУНДАМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛІ ЕКВІВАЛЕНТНИХ ПАЛЬ

АНОТАЦІЯ

В статті приведено алгоритм аналітичного розрахунку баретного фундаменту висотної будівлі з використанням методики, викладеної в ДБН В.2.1-10-2009. Виконано розрахунок одиночних барет та їх груп, а також баретного фундаменту в цілому на прикладі висотної будівлі, запроєктованої в складних інженерно-геологічних умовах. Фундаменти будівлі – барети шириною 800 мм різної конфігурації в плані, довжиною 34,5 м. Голови барет об'єднані жорстким сполученням з суцільною плитою ростверку, висотою 1,2 м.

Прийнята розрахункова модель основи барет верифікована та узгоджена з результатами чисельного моделювання в Plaxis 3Dта ста-

тичних випробувань ґрунтів буровими палями. Модель барети прийнята в розрахунках як група паль, розміщених умовно в межах «тіла» барети. Діаметр паль прийнятий 0,8 м, по ширині барети. Крок умовних паль підібраний для барети кожної конфігурації індивідуально для досягнення максимальної схожимості результатів розрахунків та моделювання і становить від 700 до 750 мм. Для паль в складі кожної барети визначено корекційний коефіцієнт для приведення розрахункової залежності «навантаження-осідання» до результатів моделювання роботи відповідної барети. Для кожного типорозміру барет підібрано значення коефіцієнтів корекції залежно від діапазону навантажень.



Розрахунок системи «основа-фундамент-споруда» виконано методом змінних коефіцієнтів жорсткості основи з використанням ПК Ліра-Сапр. Для контролю результатів розрахунків паралельно виконано дублюючий розрахунок просторової системи «основа-фундамент» в ПК Plaxis 3D. Розрахункові осідання, отримані в ПК Ліра, склали $32 \div 53$ мм, в ПК Plaxis 3D — $30 \div 47$ мм. Наведено проміжні результати геодезичного моніторингу осідань будівлі при завантаженні фундаментів до 50%. Наразі моніторинг за осіданнями продовжується. За наявними даними можна зробити висновок, що фактичні осідання фундаментів можуть бути меншими за розрахункові на величину до 30%.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: барета, аналітичний розрахунок, чисельне моделювання, взаємний вплив

CALCULATION OF BARRETTE FOUNDATION SETTLEMENTS USING THE EQUIVALENT PILE MODEL

ABSTRACT

The paper presents an algorithm for analytical calculation of the barrette foundation of a high-rise building using the method described in DBN B.2.1-10-2009. The calculation of single barrettes and their groups, as well as of the entire barrette foundation is performed on an example of a high-rise building designed in complex engineering and geological conditions. The foundations of the building are the barrettes of various configurations with a width of 800 mm in the plan and a length of 34.5 m. The barrettes heads are connected by a rigid connection with a 1.2 m high grillage solid slab.

The calculation model for the barrette base is verified and agreed with the results of numerical modeling in Plaxis 3D software package and soils static tests with bored piles. The barrette model for calculations is taken as a group of piles conditionally arranged within the barrette "body". The diameter of a pile is 0.8 m according to the barrette width. The pitches of conditional piles are selected individually for the barrettes of each configuration to achieve a maximum convergence of the calculations and modeling results and are from 700 to 750 mm. For piles contained in each barrette, the correction factors are determined to bring the calculated "load-settlement" dependence to the results of modeling the corresponding barrette behavior. For each standard size of barrettes, the correction factors values are selected depending on the loads range.

The calculation of the "base-foundation-structure" system is performed by the method of base stiffness variable coefficients using the Lira-Sap software package. To check the calculations results, the dubbed calculations of the "base-foundation"

spatial system in the Plaxis 3D software package are performed in parallel. The calculated settlements are $32 \div 53$ mm in the Lira software and $30 \div 47$ mm in the Plaxis 3D software. The intermediate results of building settlements geodetic monitoring are given for the foundation loading up to 50%. The settlements monitoring is currently ongoing. Based on the available data, it is possible to conclude that the actual foundations settlements values can be less than the calculated ones up to 30%.

KEY WORDS: barrette, analytical calculation, numerical modeling, mutual influence

ВСТУП

Барети являють собою опори глибокого закладання, що виконуються за технологією «стіна в ґрунті». Застосовуються при навантаженнях $>0,8$ МПа (переважно для висотних будівель), як альтернатива буронабивним палям великого діаметра. Форма барет в плані може бути прямокутна, або різні комбінації прямокутників, що підбирається при проектуванні виходячи з принципу співвісної передачі навантаження від вертикальних конструкцій каркасу.

Важливою є достовірна оцінка несучої здатності та прогнозованих осідань баретного фундаменту. На стадії проектування це дозволяє розв'язати дві основні задачі: по-перше, мінімізувати вплив деформацій на надфундаментні конструкції за рахунок оптимізації розміщення та геометричних параметрів барет; по-друге, оцінити вплив на оточуючу забудову від осідань запроектованої будівлі.

Для підвищення ефективності використання баретних фундаментів, особливо складних геологічних умовах, необхідно удосконалювати методи їх розрахунків.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДЖЕРЕЛ І ПУБЛІКАЦІЙ

За останні кілька років тема розрахунку барет підіймалась в наукових статтях зарубіжних вчених та інженерів-геотехніків. Питання взаємодії одиночних барет та їх груп з ґрунтовою основою розглядаються в роботах D. Vasu (США) [1], Тер-Мартirosян З.Г. (РФ) [2], Шулятьев О.М. (РФ) [3] та ін [4-6]. Спосіб використання еквівалентних круглих палей для розрахунку прямокутних барет розглянуто в роботі H.G. Poulos та H.S.W. Chow, Австралія, 2019 [7]. Дослідження спрямовані переважно на пошук аналітичної, або чисельно-аналітичної методики розрахунку, що дозволяла б отримувати достовірний НДС системи «основа-барета» при порівняно невеликих затратах трудових та фінансових ресурсів. В основі методикою чи іншою мірою лежить верифікація результатів аналітичних розрахунків з чисельним моделюванням або експериментальними



даними.

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ ПИТАНЬ ПРОБЛЕМИ, ЩО РОЗГЛЯДАЄТЬСЯ

Серед основних проблем, з якими може зіткнутись проєктувальник при розрахунку баретного фундаменту вважаємо за необхідне виділити наступні: значна трудомісткість чисельних методів розрахунку, відсутність регламентованих національними стандартами моделей і методик розрахунку, складність виконання натурних випробувань ґрунтів баретами.

Дослідження поведінки одиночної барети в масиві ґрунту успішно виконується з використанням чисельних методів розрахунку в спеціалізованих програмних комплексах, таких як Plaxis 3D, Midas GTS NX тощо. Вирішення питання взаємодії барет в групі дещо ускладнює задачу, а моделювання повноціннobarетного фундаменту(та його подальше коригування в рамках варіантного проєктування) в цих ПК призводить до суттєвих трудовитрат. Крім того, згідно з вимогами ДБН В.2.1-10:2018 «Основи та фундаменти будівель і споруд» [8] розрахункова схема споруд класу наслідків СС3 повинна враховувати просторову роботу каркасу при визначенні навантажень на фундамент. Ця проблема може бути вирішена шляхом використання аналітичного методу розрахунку, суть якого викладено нижче.

На даний час нормативні документи та стандартистосовно проєктування основ та фундаментівне містять методик розрахунку барет за несучою здатністю та деформаціями. Згідно з вимогами[8] розрахункові моделі та методики, що не регламентовані національними стандартами, слід верифікувати шляхом перевірки відповідності результатів розрахунку натурним дослідженням (випробуванням, спостережен-

ням) чи тестовим прикладам, для яких відомі аналітичні розв'язки.

Випробування ґрунтів баретами на майданчику пов'язано з труднощами підбору необхідного обладнання (домкрати, противага, анкерні палі) для передачі навантажень в межах 3000÷5000 т.

В статті приведено алгоритм розрахунку барет з використанням результатів випробувань ґрунтів палями Ø820 мм та розв'язання задачі про переміщення стрижня в пружному півпросторі згідноз додатком П [9].

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Дослідження виконано на прикладі 33-хповерхової будівлі в м. Києві. Будівництво розпочато у 2019 році, станом на початок 2022 року зведено 24 поверхи, будівництво продовжується. Фундаменти будівлі – барети шириною 800 мм різної конфігурації в плані, довжиною 34,5 м. Голови барет об'єднані жорстким сполученням з суцільною плитою ростверку, висотою 1,2 м.

Під подошвою барет залягають піски щільні пилуваті. По бічній поверхні барет у верхній частині розрізу залягають насипні ґрунти неоднорідного складу і потужності, що підстеляються мергельними твердими глинами. Під подошвою ростверку залягають насипні ґрунти з низькими фізико-механічними характеристиками. У зв'язку з цим реакціоґрунту по подошві ростверку не враховано.

На майданчику будівництва були проведені випробування ґрунтів буронабивними палями Ø820 мм статичним вдавлюючим навантаженням (5 паль). Результати випробувань використані надалі для верифікації розрахункової моделі системи «основа-барета».

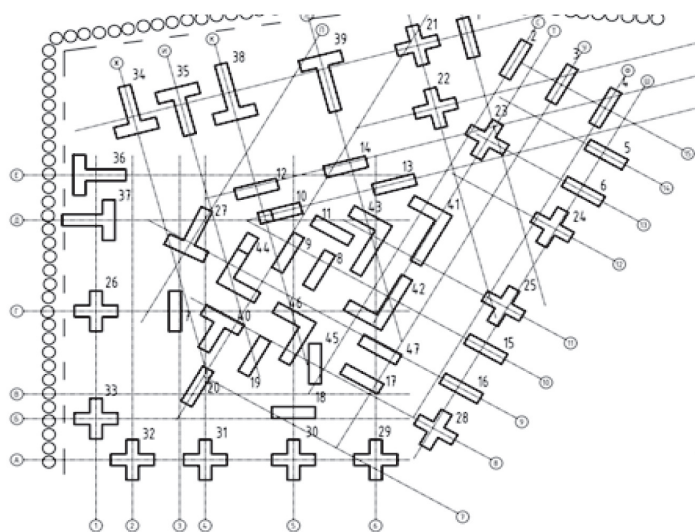
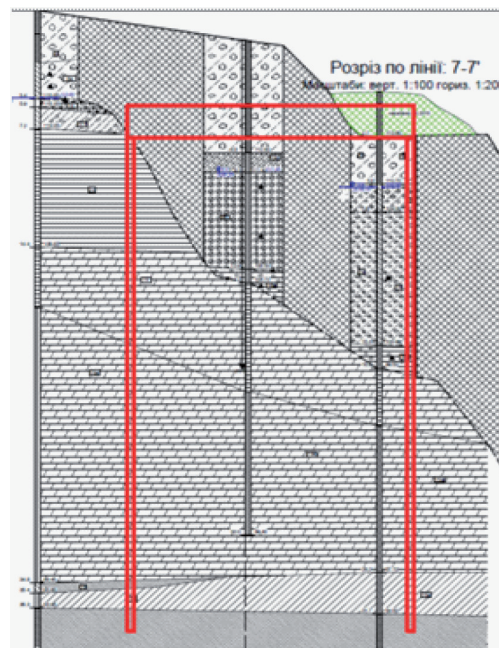


Рисунок 1 – Схема розташування барет в плані та з посадкою на інженерно-геологічний розріз





ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ

Нижче наведено алгоритм розрахунку системи «основа-барети-споруда»:

1. Визначення теоретичної несучої здатності F_d палі, що підлягала випробуванням. Розрахунки виконано відповідно до додатка Н.2 [9]. Надалі для спрощення подачі матеріалу розглядається лише одна паля і відповідна їй будова ґрунтової основи. На практиці ж відповідно до мінливості інженерно-геологічних умов майданчик розділяється на відповідні розрахункові ділянки.
2. Будується теоретична залежність «навантаження-осідання» для випробуваної палі за результатом аналітичного розрахунку згідно додатка П [9] за формулою:

$$s_1 = \frac{s_e P}{P_u - P} \quad (1)$$

де s_e – пружна складова осідання палі, щовизначається за формулою П.1.2 [9], при навантаженні на палю P_e ;

P_e – навантаження, кН, що обмежує лінійну ділянку спільного осідання (від стиснення стовбура та осідання ґрунтової основи) голови палі (межа пропорційності);

за відсутності результатів натурних випробувань палі приймаємо $P_e = 0,5P_u$;

P_u – величина граничного опору палі – навантаження, за якого вичерпується несуча здатність основи F_d .

Прийнято $P_u = 1,25F_d$ відповідно до рекомендацій [9].

3. Будується теоретична залежність «навантаження-осідання» для випробуваної одиночної палі за результатом чисельного моделювання роботи просторової системи «ґрунт-паля» методом скінченних елементів (Plaxis 3D, модель ґрунту “Hardening soil”).
4. Верифікація моделі «основа-паля» шля-

хом порівняння графіків залежності «навантаження-осідання», що отримані за результатами натурних випробувань, чисельного моделювання та аналітичних розрахунків (рис. 2). Для досягнення прийнятної збіжності натурних та розрахункових осідань варіювались наступні параметри:

- в «Plaxis 3D» міцність інтерфейсів на контакті поверхонь палі та ґрунту;
 - при розрахунку за додатком П [9] -- k_f – коефіцієнт умов роботи ґрунту вздовж бічної поверхні палі, прийнято $k_f = 1,3$ та P_e – навантаження, що обмежує лінійну ділянку осідання голови палі, прийнято $P_e = 0,4F_d$. Решта розрахункових параметрів ґрунтів прийнята відповідно до даних інженерно-геологічних вишукувань.
5. Після узгодження результатів статичних випробувань, чисельного моделювання та аналітичних розрахунків було підібрано параметри розрахункової моделі барети для розрахунків за додатком П [9]. Модель барети прийнята в розрахунках як група паль, розміщених умовно в межах «тіла» барети. Діаметр паль прийнятий 0,8 м, по ширині барети. Крок паль підібраний для барети кожної конфігурації індивідуально для досягнення максимальної сходимості результатів розрахунків та моделювання і становить від 700 до 750 мм. Для паль в складі кожної барети визначено корекційний коефіцієнт до граничного опору основи P_u (див. п.2) для приведення розрахункової залежності «навантаження-осідання» до результатів моделювання роботи відповідної барети.
 6. Будується теоретична залежність «навантаження-осідання» для одиночних барет за результатом чисельного моделювання роботи просторової системи «ґрунт-барета» методом скінченних елементів (Plaxis 3D, модель ґрунту “Hardening soil”).

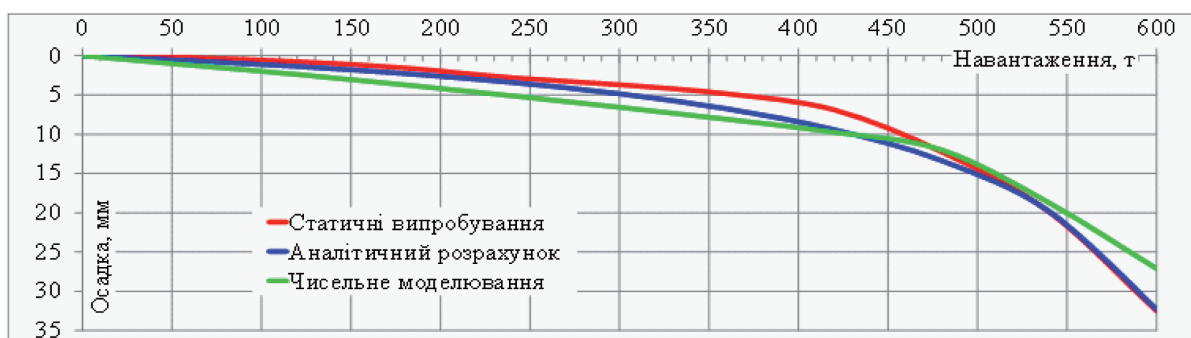


Рисунок 2 – Графік залежності «навантаження-осідання» для палі Ø820 мм



Розрахункові параметри чисельної моделі паль, отримані за результатами верифікації, застосовуються до моделі барет без змін.

7. Верифікація моделі «основа-барета» шляхом порівняння графіків залежності «навантаження-осідання», що отримані за результатами чисельного моделювання та аналітичних розрахунків (рис. 3). Для досягнення прийнятної збіжності чисельних та аналітичних рішень варіювався один параметр – відношення P_u/F_d (див. п. 2), яке за замовчуванням для одиночних паль становить $P_u/F_d=1,25$. Для барети, змодельованої палями, значення P_u/F_d є змінним і залежить від навантаження. Для кожного типорозміру барет підібрано значення коефіцієнтів корекції залежно від діапазону навантажень (рис. 3).
8. Визначаються параметри взаємодії барет у групі за результатом чисельно-

го моделювання в Plaxis 3D. Барети окремих типорозмірів розміщуються з певним кроком, що є характерним для їх розміщення в запроектованому фундаменті. Визначаються додаткові осідання барет при навантаженні однієї барети з групи, а також осідання при навантаженні всіх барет у групі.

9. Верифікація моделі «основа - група барет». В аналітичній розрахунковій схемі основи барети прийнято відповідні поправки для узгодження з результатами моделювання (рис. 4). Осідання s_i барети у фундаменті визначено з урахуванням взаємного впливу барет у фундаменті за формулою для розрахунку паль:

$$s_i = s_1 + \sum_{j=1}^n P_j s_{ij}, \quad (2)$$

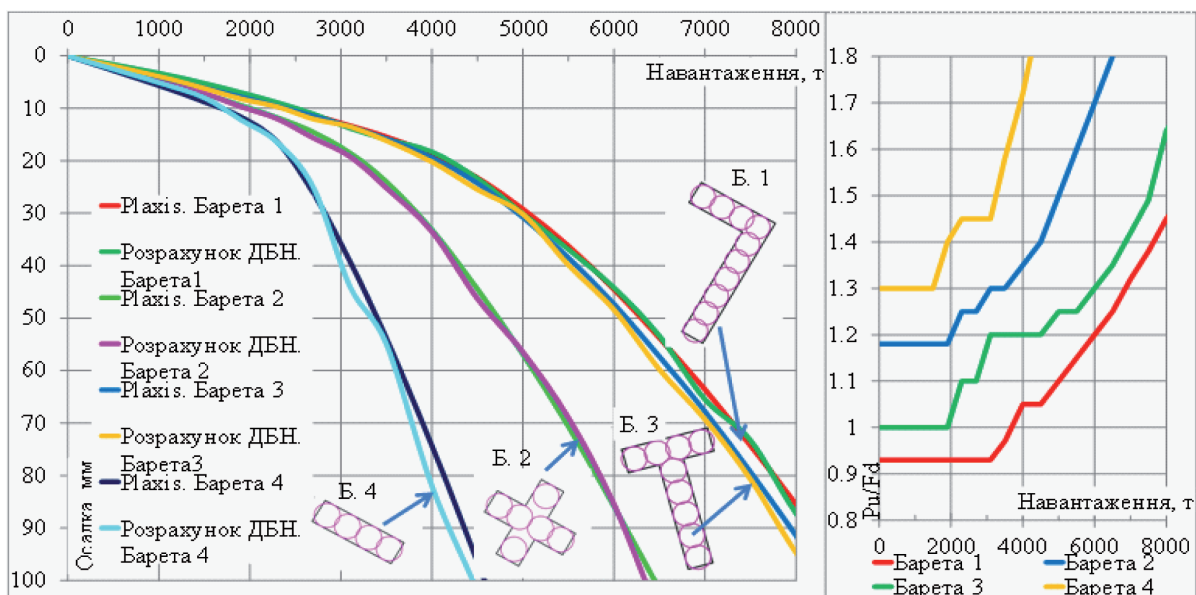


Рисунок 3 – Графік залежності «навантаження-осідання» для барет та значення параметру P_u/F_d залежно від навантаження.

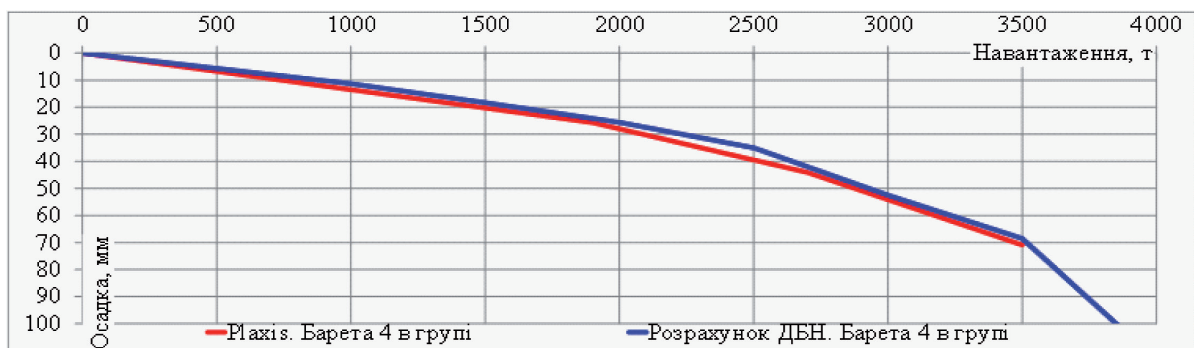


Рисунок 4 – Графік залежності «навантаження-осідання» для групи барет типу 4. Всі барети в групі навантаженні однаково, на графіку показано осідання середньої барети



де s_j – власні осідання одиночної палі від навантаження P , визначаються за (1);

P_j – навантаження на j -ту палю у фундаменті;

s_{ij} – осідання i -ої палі під дією одиночного навантаження на j -ту палю у фундаменті, визначається за формулою:

$$s_{ij} = 2(1+\nu) \frac{w_j k_b}{El} \quad (3)$$

Модуль деформації ґрунту при розрахунках впливу палей прийнято $E_{(e,i)} = 6E_s$, відстань від барети, на якій розраховується вплив на інші барети становить $14,5 \div 17,5$ м.

10. Включення розрахункової моделі основи барет у чисельну просто-

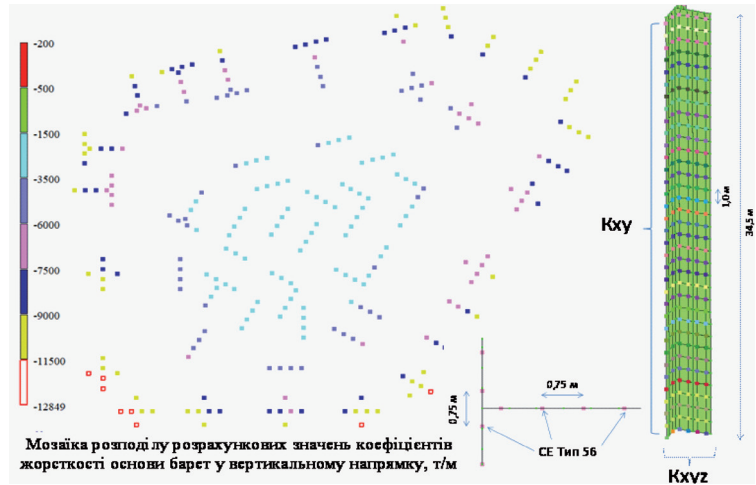


Рисунок 5 – Розрахункова модель баретив ПК Ліра-Сапр. Мозаїка розподілу значень коефіцієнтів жорсткості основи барет у вертикальному напрямку, т/м

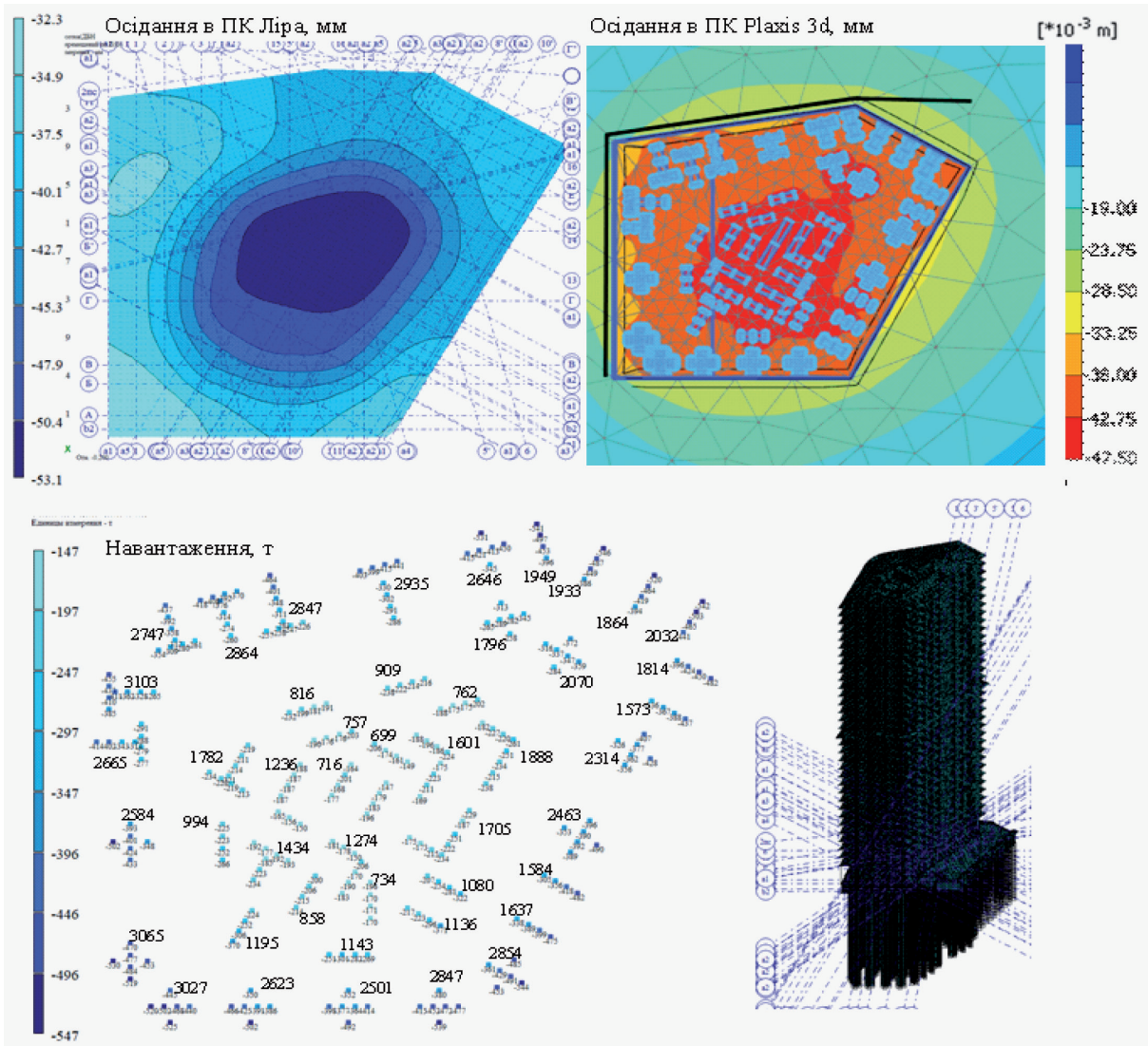


Рисунок 6 – Розрахункові осідання фундаменту та навантаження на барети



рову модель каркасу для виконання розрахунків системи «основа-фундамент-споруда». Розрахункова модель барети (рис. 5) представлено приведеною жорсткістю у вертикальному напрямку KZ та горизонтальному напрямку KXY для одновузлових елементів Типу 56, що моделюють ґрунтову основу барет.

Розрахунки з визначення коефіцієнтів жорсткості паль виконані ітераційним способом з послідовним уточненням коефіцієнтів KZ на кожній ітерації методом змінних коефіцієнтів жорсткості [10]. Ітерації виконуються до тих пір, поки не буде отримано «урівноважене» значення коефіцієнтів жорсткості основи на останній та попередній ітерації (рис. 5). Методика розрахунку фундаментів передбачає контроль несучої здатності ґрунтової основи в ході ітераційного процесу шляхом використання нелінійних залежностей «навантаження-осідання» для кожної розрахункової барети.

Коефіцієнти жорсткості основи паль в горизонтальному напрямі KX та KY визначено відповідно до додатка Н [9]. Для визначення початкових значень коефіцієнтів жорсткості виконувався одностадійний розрахунок паль, що приймається в умовах можливого розвитку тільки першої стадії НДС системи «паль-ґрунт». В процесі ітераційного розрахунку коригувались значення коефіцієнтів з умови забезпечення несучої здатності ґрунту по бічній поверхні барети [11,12].

11. Виконується аналіз НДС системи «основа-фундамент-споруда». Отримано розподіл навантажень на барети, їх осідання з урахуванням просторової жорсткості каркасу, взаємного впливу барет та мінливості геологічних умов майданчику (рис. 6).

Для контролю результатів розрахунків паралельно виконано дублюючий розрахунок просторової системи «основа-барети» в ПК Plaxis 3D. Модель включає всі барети фундаменту, навантаження визначені з розрахунку в ПК Ліра на попередньому етапі. Розрахункові осідання, отримані в ПК Ліра (32÷53 мм) та ПК Plaxis 3D (30÷47 мм) є співставними (рис. 6). На час підготовки цього матеріалу каркас будівлі зведено до 24-го поверху, частково завантажено огорожуючими конструкціями. Поточні навантаження складають близько 48 % від розра-

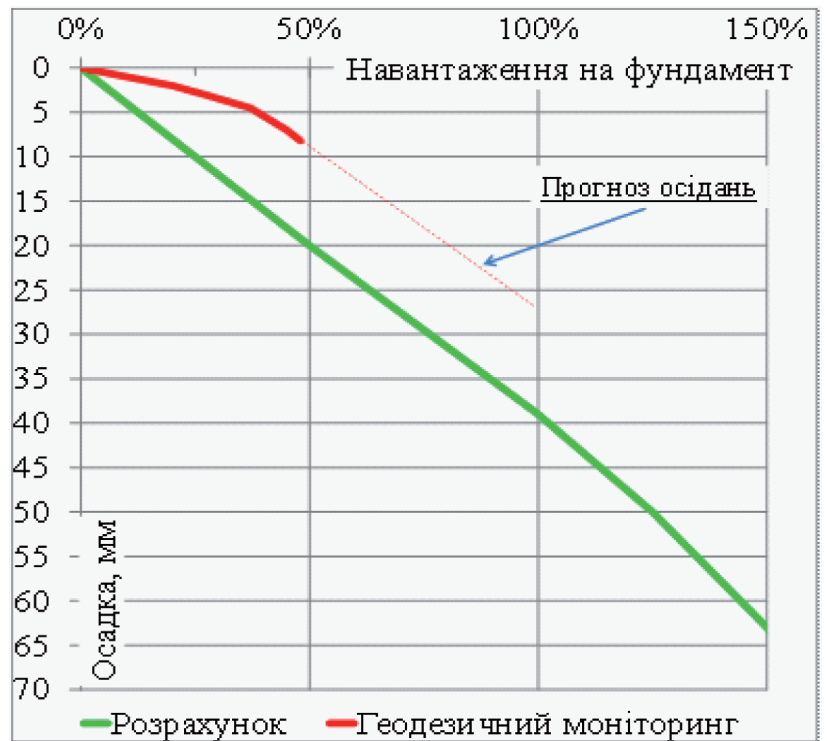


Рисунок 7 – Розрахункові осідання фундаменту та навантаження на барети

хункових. Відповідно до даних геодезичного моніторингу осідання мали лінійний характер до рівня навантажень 35%, що відповідає фазі нормального ущільнення ґрунту, значення осідань при цьому склали 5 мм проти розрахункових 15 мм. В межах навантажень 35-48% крива осідань змінює напрям, що відповідає початку фази зсувів (рис. 7). Наразі моніторинг за осіданнями продовжується, після завантаження будівлі та затухання деформацій можна бути зробити висновки про співставність результатів розрахунків з фактичними даними.

ВИСНОВКИ

Запропонований алгоритм аналітичного розрахунку баретного фундаменту дозволяє досягти прийняттого наближення до результатів чисельного моделювання. При цьому використовуються результати випробувань ґрунтів пальями та методики розрахунку палевих фундаментів. Верифікація розрахункової моделі основи барети виконується на етапах дослідження залежності «навантаження-осідання» для одиночної барети, групи барет та баретного фундаменту в цілому. Цей підхід дає можливість виконувати розрахунок сумісної роботи основи фундаменту та каркасу в єдиній системі, як того вимагають державні будівельні норми.



БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Basu D., Prezzi M., Salgado R., Chakraborty T. Settlement analysis of piles with rectangular cross sections in multi-layered soils. *Computers and Geotechnics journal*. 2008. V.35, No. 4. P. 563–575. URL: https://www.researchgate.net/publication/228534595_Settlement_analysis_of_piles_with_rectangular_cross_sections_in_multi-layered_soils.
2. Сидоров В.В., Степанищев К.Ю. Исследование взаимодействия баррет с основанием с учетом их размера и формы. *Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура*. 2017. Т.8, №3. С. 78-88. URL: <https://ered.pstu.ru/index.php/CG>.
3. Shulyatiev O., Dzagov A., Bokov I. and Shuliatev S. Correction of soil design parameters for the calculation of the foundation based on the results of barrettes static load test. *Proceedings for 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotech. Paris, 2013*. P.615-618. URL: <https://www.cfms-sols.org/sites/default/files/Actes/615-618.pdf>.
4. Plumbridge G.D., Sze J.W.C. and Tham T.T.F. Full scale lateral load tests on bored piles and a barrette. *Proceedings of 19th Annual Seminar of the Geotech. Division, Hong Kong Institution of Engineers, Causeway Bay, Hong Kong, 2000*. P. 211–220.
5. Jitesh T. Chavda, Dodagoudar G. R. Evaluation of Ultimate Capacity of a Single Barrette using Finite Element Analysis. Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai. *Indian Geotechnical Conference GeoNest 14-16 December, 2017. IIT Guwahati, India*. URL: http://www.igs.org.in:8080/portal/igc-proceedings/igc-2017-guwahati-proceedings/Theme16/Th16_314.pdf.
6. Lei G., Hong X., Approximate three-dimensional analysis of rectangular barrette-soil-cap interaction. *Canadian Geotechnical Journal*. 2007. Vol. 44, No. 7. P. 781-796.
7. Poulos H. G., Chow H. S. W. and Small J. C. The Use of Equivalent Circular Piles to Model the Behaviour of Rectangular Barrette Foundations. *Geotechnical engineering of the SEAGS and AGSSEA*. 2019. Vol 50, No. 3. P. 106-109. URL: https://www.researchgate.net/publication/335260089_The_Use_of_Equivalent_Circular_Piles_to_Model_the_Behaviour_of_Rectangular_Barrette_Foundations.
8. ДБН В.2.1-10-2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2019. 36 с.
9. ДБН В.2.1-10-2009. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Зміна 1. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 57 с.
10. Червинский Я. И. Совместный расчет системы «сооружение-основание» с применением метода переменных коэффициентов жесткости основания. *Зб. наукових праць Серія «галузеве машинобудування, буд-во»*. 2010. Вип. 3 (28). С. 278-285.
11. Дворник А.М., С.П. Безсалова (2018) Чисельне моделювання споруд огороження котлованів. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, вип. 36. – С. 228-239. : http://nbuv.gov.ua/UJRN/gmkbs_2018_36_31.
12. Домбровский Я. И. Особенности работы свайных фундаментов в грунтах основания при действии горизонтальных нагрузок. *Збірник наукових праць Серія «галузеве машинобудування, будівництво»*. 2012. Т. 2, вип. 4 (34). С. 72-84.

REFERENCES

1. Basu, D., Prezzi, M., Salgado, R., & Chakraborty, T. (2008). Settlement analysis of piles with rectangular cross sections in multi-layered soils. *Computers and Geotechnics journal*, 35, 4, 563–575. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/228534595_Settlement_analysis_of_piles_with_rectangular_cross_sections_in_multi-layered_soils.
2. Sidorov, V.V., & Stepanishchev, K.Yu. (2017). Study of interaction between barrettes and soil base considering their sizes and shapes. *Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture*, 8, 3, 78-88. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.09
3. Shulyatiev, O., Dzagov, A., Bokov, I., & Shuliatev, S. (2013). Correction of soil design parameters for the calculation of the foundation based on the results of barrettes static load test. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, pp. 615-618. Paris. Retrieved from: <https://www.cfms-sols.org/sites/default/files/Actes/615-618.pdf>.
4. Plumbridge, G.D., Sze, J.W.C., & Tham, T.T.F. (2000). Full scale lateral load tests on bored piles and a barrette. In: *Proceedings of the 19th Annual Seminar of the Geotechnical Division, Hong Kong Institution of Engineers*, pp. 211–220.
5. Chavda, J. T., & Dodagoudar, G. R. (2017). Evaluation of Ultimate Capacity of a Single Barrette using Finite Element Analysis. In: *Extended abstracts of Indian Geotechnical*



- Conference 2017 GeoNEst, IIT Guwahati. Retrieved from: http://www.igs.org.in:8080/portal/igc-proceedings/igc-2017-guwahati-proceedings/Theme16/Th16_314.pdf.
6. Lei, G., & Hong, X. (2007). Approximate three-dimensional analysis of rectangular barrette-soil-cap interaction. *Canadian Geotechnical Journal*, 44, 7, 781-796.
 7. Poulos, H. G., Chow, H. S. W., & Small, J. C. (2019). The Use of Equivalent Circular Piles to Model the Behaviour of Rectangular Barrette Foundations. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS and AGSSEA*, 50, 3, 106-109. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/335260089_The_Use_of_Equivalent_Circular_Piles_to_Model_the_Behaviour_of_Rectangular_Barrette_Foundations.
 8. Bases and foundations of buildings and structures. Main principles: DBN V. 2.1-10:2018. (2019).
 9. Bases and foundations of structures. Main provisions of design: DBN V. 2.1-10:2009. Amendment No. 1. (2011).
 10. Chervinskii, Ya. I. (2010). Joint calculation of the "structure-foundation" system using the method of variable coefficients of foundation stiffness. *Academic Journal "Industrial Machine Building, Civil Engineering"*, 3 (28). 278-285.
 11. Dvornik, A. M., & Bezsalova, S. P. (2018). Numerical modeling of pit fencing structures. *Collection of scientific works "Resource-saving materials, constructions, buildings and structures"*, 36, 228-239. Rivne: NUWEE. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2018_36_31.
 12. Dombrovskii, Ya. I. (2012). Pile foundations behavior in the base soils under the horizontal loads action. *Academic Journal "Industrial Machine Building, Civil Engineering"*, 2, 4(34), 72-84.

Стаття надійшла до редакції 04.01.2022 року