

Польові дослідження напруженого стану системи «грунтова основа – комбінований пальово-плитний фундамент» багатофункціонального комплексу у місті Харкові

Олександр Самородов¹, Сергій Табачников², Олексій Дитюк³, Олександр Бондар⁴

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

³oleksii.dytiuk@kname.edu.ua, orcid.org/0000-0001-8363-6132

⁴oleksandr.bondar2@kname.edu.ua

DOI: 10.32347/0475-1132.46.2023.38-48

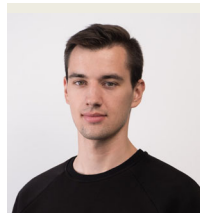
Анотація. В проектах будівель та споруд в останнє двадцятип'ятиріччя в світовій практиці все частіше застосовується так званий комбінований пальово-плитний фундамент (КППФ), для якого при проектуванні та розрахунках приймають, що розрахункове навантаження від будівлі розподіляється між палями і плитою ростверку, допускаючи до 50% включення в роботу (опір) плитного ростверку. У рамках науково-технічного супроводу [1-8] будівельного об'єкту здійснено інструментальний автоматизований моніторинг напруженого стану системи «грунтова основа – комбінований пальово-плитний фундамент» багатофункціонального комплексу по вул. Пушкінській, 2 у м. Харкові (Україна). Будівля має 7 поверхів та антресольний поверх, з них 2 поверхи підземного паркінгу, 5 поверхів торгівельно-розважальної зони. На перших 2-х поверхах розташований паркінг. Будівельна система являє собою монолітний залізобетонний каркас із безригельними плитами перекриття. Фундамент будівлі комбінований пальово-плитний із зосередженням бурових паль під несучими елементами каркасу. Грунтова основа представлена четвертинними алювіально-делювіальними відкладеннями – суглинками та пісками. У рамках реалізації проекту під час виконання будівельних робіт нульового циклу було встановлено 23 датчики двох типів: тензometri (Geosense, Англія) для визначення напружень у стволах бурових паль та у верхній і нижній сітках армування плити ростверку та датчики тиску (реакції) ґрунту (Geokon, США), які розміщувалися під подошвою плити рост-



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.



Олексій Дитюк
аспірант кафедри
геотехніки, підземних споруд та
гідротехнічного будівництва



Олександр Бондар
аспірант кафедри
геотехніки, підземних споруд та
гідротехнічного будівництва

верку. Результати моніторингу показали, що реактивний тиск ґрунтової основи під плитою ростверку не перевищує тиску від власної ваги плити ростверку ($\approx 25 \text{ kN/m}^2$), що свідчить про відсутність включення в роботу плити ростверку через незначні відносні осідання фунда-

менту. Врахування цього факту при моделюванні системи «основа – фундамент – споруда» та розрахунок у комплексі SOFiSTiK показали якісну та кількісну збіжність значень зусиль в залізобетонних конструкціях комбінованого пальово-плитного фундаменту.

Ключові слова. Комбінований пальово-плитний фундамент, ґрунтова основа, інструментальний автоматизований моніторинг, напружено-деформований стан

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В проектах будівель та споруд в останнє двадцятип'ятиріччя в світовій практиці все частіше застосовується так званий комбінований пальово-плитний фундамент (КППФ), для якого при проектуванні та розрахунках приймають, що розрахункове навантаження від будівлі розподіляється між палями і плитою ростверку, допускаючи до 50% включення в роботу (опір) плитного ростверку. Вибір ефективних рішень таких фундаментів залежить від багатьох факторів: особливостей ґрунтових умов, параметрів палей і кроку між ними, жорсткості плити, і характеру взаємодії між палями, плитою і ґрунтовою основою, а також вибором моделі ґрунтової основи та її параметрів. Відтак моделювання та розрахунок системи «основа – КППФ – споруда» можливий тільки за допомогою чисельних методів, що реалізовані в потужних розрахункових комплексах типу SOFiSTiK, ABAQUS та ін., де приймаються різні індивідуальні підходи до моделювання таких систем зі значною кількістю припущень, які, як правило, не мають обґрунтованої експериментальної бази щодо реального опору ґрунтової основи під плитою ростверку.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботах багатьох науковців [10-14, 17] висвітлюється результати досліджень напружено-деформованого стану фундаментних конструкцій та ґрунтових основ на підставі виконання інструментального моніторингу будівель та споруд.

МЕТА РОБОТИ

Основною метою даної роботи є проведення інструментальних автоматизованих спостережень за зміною напруженого стану системи «ґрунтова основа – комбінований пальово-плитний фундамент» в процесі будівництва та експлуатації об'єкту для вибору моделі ґрунтової основи та ідентифікації її параметрів при моделювання адекватної взаємодії системи «основа – фундамент - споруда».

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єкт дослідження - торгівельно-розважальний комплекс «NIKOLSKY», що розташований по вул. Пушкінській, 2 у місті Харкові (Україна). Девелопер – Budhouse Group (Київ, Україна). Проектувальник - ТОВ "Інженерне бюро професора Катценбаха та партнери-Україна" (Київ, Україна). Комплекс робіт із розробки, організації, проведення та обробки даних інструментального автоматизованого моніторингу виконані за участю та підтримкою ТОВ «Спецтехмоніторинг» (м. Київ, Україна; ген. директор Щучик Е.С.), ПП «Пайл Тест Системс» (м. Харків, Україна; керуючий співзасновник Самородов О.В.) та к.т.н. Убийвовка А.В.

Будівельний об'єкт представляє собою будівлю, що має в плані складну конфігурацію в цифрових осях 1÷22 та буквених осях А÷П з розмірами у плані 180,6×103,2м. Будівля має 7 поверхів та антресольний поверх, з них 2 поверхи підземного паркінгу, 5 поверхів торгівельно-розважальної зони. На перших 2-х поверхах розташований паркінг. Висота поверхів приміщень паркінгу – 3,3, 4,07, 6,0 м. Висота підземних поверхів – 5,7 м. Вертикальний зв'язок між поверхами здійснюється за допомогою сходів і ліфтів.

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 – колон каркасу, монолітних перекриттів, і монолітних сходових клітин, діафрагм жорсткості та ліфтових шахт.

Каркас будівлі виконується з монолітного залізобетону.

Ступінь вогнестійкості будинку – II.

Зовнішні стіни – вентиляований фасад та

скло. Зовнішнє облицювання будинку: стіни виконані фасадною системою вентиляційний фасад та вітражними системами.

Покрівля по периметру має перепади висот, на частині покрівлі влаштований скляний купол, висотою 8м.

Деякі фото загальних видів будівлі в процесі будівництва представлені на Рис. 1-2.



Рис.1. Загальні види будівельного об'єкту (2013-2015 рр.).

Fig.1. General views of the construction project (2013 to 2015).



Рис.2. Загальні види будівельного об'єкту (2020 р.).

Fig.2. General view of the construction project (2020).

Грунтова основа представлена четвертинними алювіально-делювіальними відкладеннями – суглинками та пісками.

Гідрогеологічні умови території характеризуються наявністю високого постійного водоносного горизонту. Неприятливі фізико-геологічні процеси та явища в межах території не спостерігаються.

Фундамент об'єкту – комбінований палово-плитний з концентрацією бурових

паль різних діаметрів ($d=1,0\text{м}$; $d=1,2\text{м}$ та $d=1,5\text{м}$) довжиною $l \approx 25\text{м}$ під колонами та діафрагмами жорсткості будівлі. Товщина плити складає $1,0\text{м}$. Також в роботу нового фундаменту були включені існуючі «короткі» бурові екційні палі довжиною $l \approx 15,5\text{м}$ діаметром $d=0,62\text{м}$, що були виконані для попереднього проекту будівлі.

Грунтовою основою комбінованого палово-плитного фундаменту є:

- для довгих паль довжиною $l \approx 25\text{м}$ ($d=1,0\text{м}$; $d=1,18\text{м}$ та $d=1,5\text{м}$) ґрунти ІГЕ-5а – пісок пилуватий, щільний з наступними розрахунковими фізико-механічними характеристиками:

- кут внутрішнього тертя – $\varphi_{II}=33^{\circ}$;
- питоме зчеплення – $c_{II}=0,006\text{МПа}$;
- питома вага у водонасиченому стані – $20,30\text{кН/м}^3$;
- модуль деформації у водонасиченому стані – $E=26,3\text{МПа}$.

- для «коротких» паль довжиною $l \approx 15,5\text{м}$ ($d=0,62\text{м}$) ґрунти ІГЕ-8 – глини голубовато-сірі, алевритисті, твердої консистенції з наступними розрахунковими фізико-механічними характеристиками:

- кут внутрішнього тертя – $\varphi_{II}=24^{\circ}$;
- питоме зчеплення – $c_{II}=0,045\text{МПа}$;

- питома вага у водонасиченому стані – $17,5\text{кН/м}^3$;

- модуль деформації у водонасиченому стані – $E=22\text{МПа}$.

- під плитою ростверку ґрунти ІГЕ-5 – пісок пилуватий, щільний з наступними розрахунковими фізико-механічними характеристиками:

- кут внутрішнього тертя – $\varphi_{II}=32^{\circ}$;
- питоме зчеплення – $c_{II}=0,005\text{МПа}$;
- питома вага у водонасиченому стані – $18,8\text{кН/м}^3$;
- модуль деформації у водонасиченому стані – $E=22\text{МПа}$.

Схематичне розташування комбінованого пальново-плитного фундаменту об'єкту на інженерно-геологічному розрізі наведено на Рис. 3.

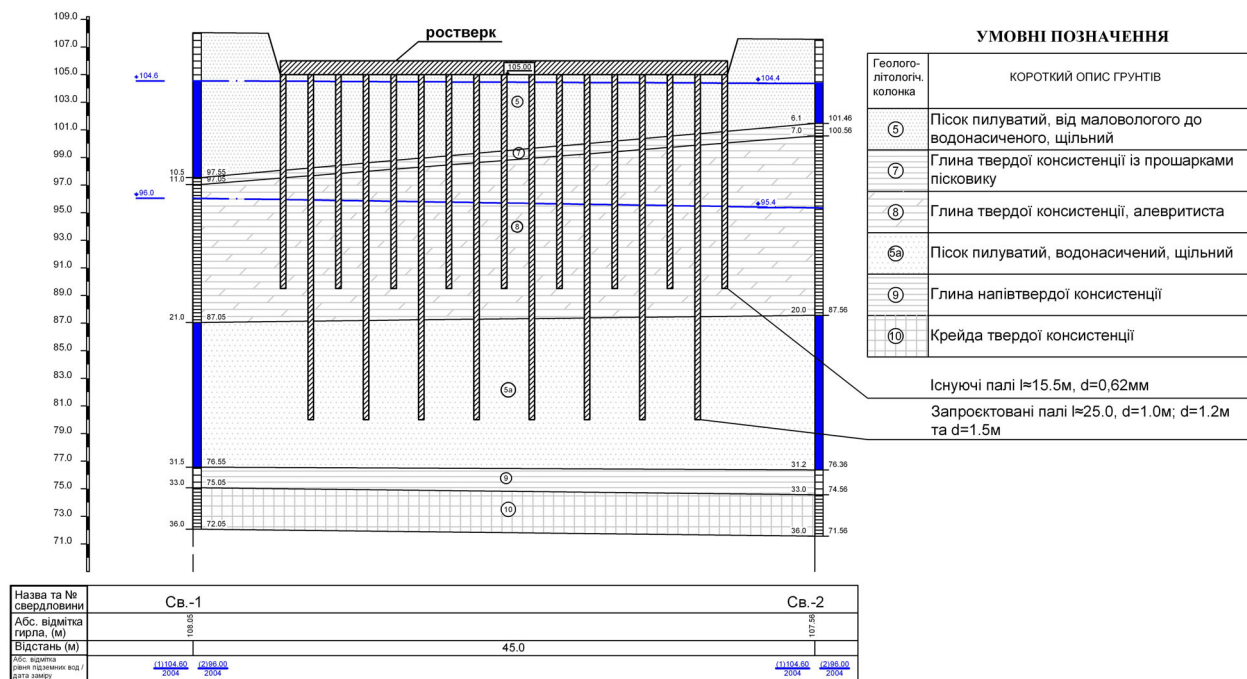


Рис.3. Схематичне розташування комбінованого пальново-плитного фундаменту об'єкту на інженерно-геологічному розрізі.

Fig.3. Schematic location of the object combined pile raft foundation on the engineering-geological section.

Аналітична модель «фундамент – споруда» у програмі Revit представлена на Рис. 4.

Моделювання та розрахунок системи «основа – фундамент - споруда» виконано в програмному комплексі SOFiSTiK. Фундаментна плита змодельована пластинчатими оболонковими елементами. Колони та палі

моделювались просторовими стрижнями. Плити перекриття, стіни, пілони та фундаментна плита – пластинчатими оболонковими елементами.

В якості розрахункової моделі ґрунтової основи вибрана модель лінійно-деформованого шару скінченої ширини [15,

16] для найбільш адекватної взаємодії основи з великорозмірним комбінованим пальово-плитним фундаментом. Граничні умови в плані для ґрунтового масиву прийняті таким чином, щоб вплив жорстких в'язевих обмежень масиву був мінімальним.

На Рис. 5 представлено деформовану схему будівлі від власної ваги у програмі SOFiSTiK.

На Рис. 6 наведено тиск під плитою ростверку, що отриманий на підставі моделювання реального тиску (реакції) згідно з результатами моніторингу, та який не перевищує тиску від власної ваги плити ростверку ($\approx 25 \text{кН/м}^2$), що вказує на відсутність включення її в роботу в процесі будівництва об'єкту.

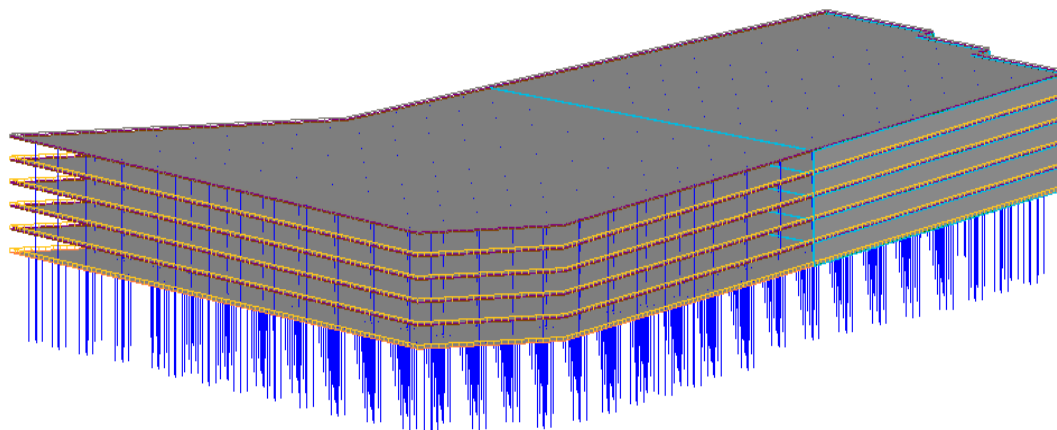


Рис.4. Візуалізація скінченно-елементної моделі «фундамент – споруда» (програма Revit)

Fig.4. Finite element visualization models «foundation – building» (Revit software)

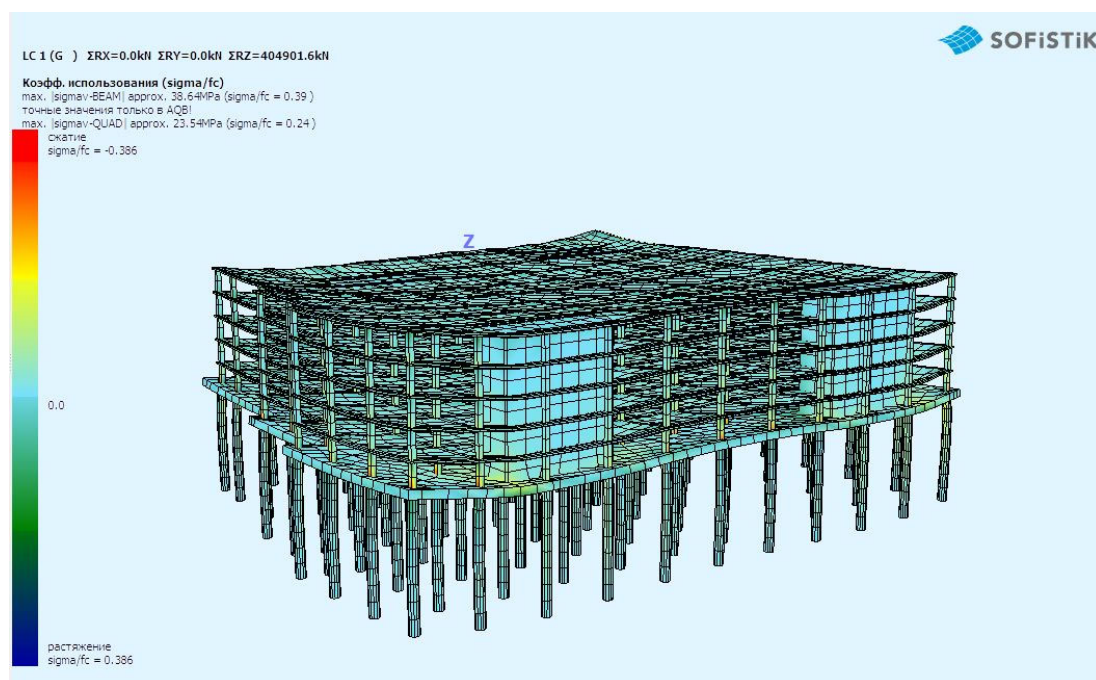


Рис.5. Деформована схема скінченно-елементної моделі (в осях 14-21, В-Л) від власної ваги (програма SOFiSTiK).

Fig.5. Deformed scheme of the finite-element model (in axes 14-21, В-Л) from its own weight (SOFiSTiK software)

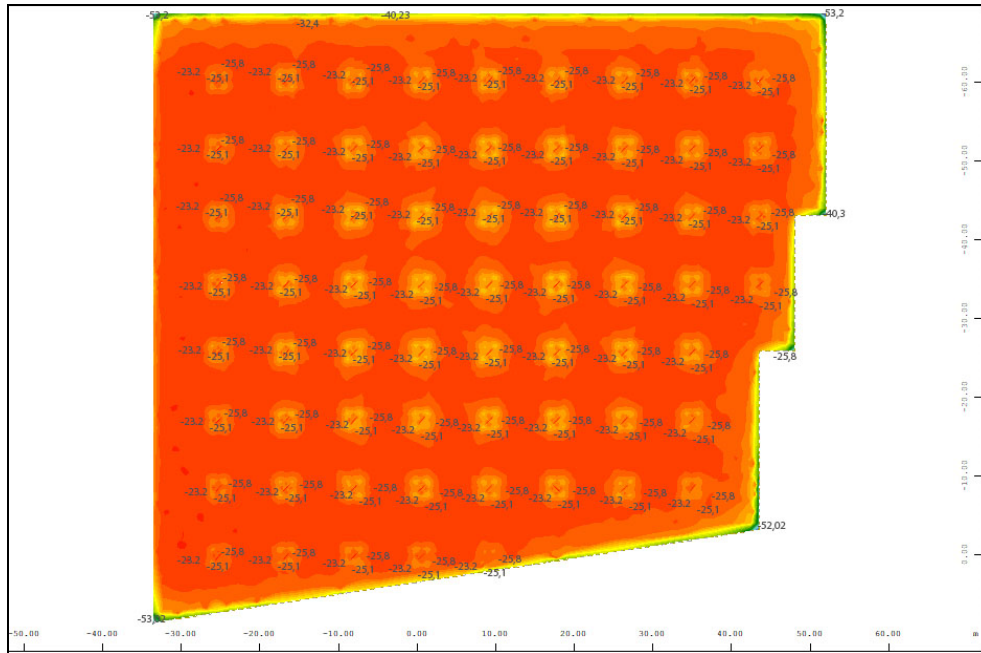


Рис.6. Епюра тиску під подошвою фундаменту $\approx 25\text{kN/m}^2$ (в осях 14-21, В-Л) від власної ваги будівлі (програма SOFiSTiK).

Fig.6. Pressure diagram under the sole of the foundation $\approx 25\text{kN/m}^2$ (in axes 14-21, В-Л) from the building's own weight (SOFiSTiK software)

На об'єкті будівництва при виконанні робіт нульового циклу було встановлено двадцять три датчики двох типів: тензодатчики (Strain meter: Strain meter VWS 4000, Rebar Strain meter VWS 4000) – для визначення напружень у стволах бурових паль та у верхній і нижній сітках армування плити ростверку, а також датчики тиску ґрунту (Pressure Cell: Pressure Cell VWTPC-4000, Pressure Transducers 4800-1-350), що були

розміщені під подошвою плити.

На фото Рис. 7 показано деякі загальні види встановлення датчиків та знімання початкових показань.

Загалом система інструментального автоматизованого моніторингу має класичну багаторівневу структуру:

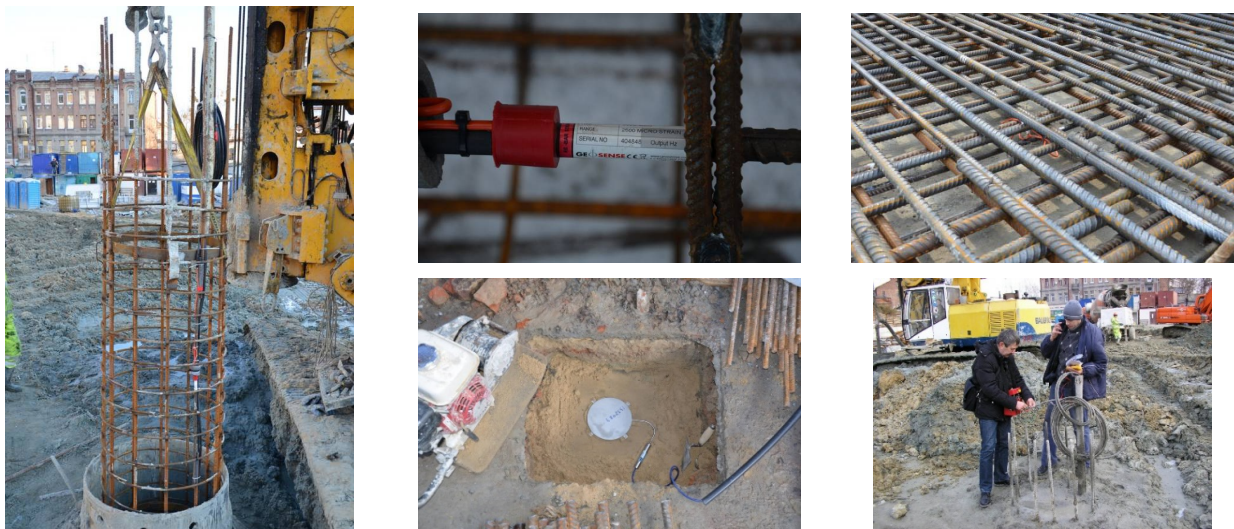


Рис.7. Процес встановлення датчиків різних типів та знімання початкових показань.

Fig.7. Installing different types of transducers and taking initial readings.

- Перший рівень – 23 датчики (тензодатчики Strain meter та датчики тиску ґрунту Pressure Cell). Забезпечує отримання інформації про стан об'єкта у вигляді аналогових сигналів.
- Другий рівень – два мультиплексори (тип ВКС MUX 01.16.04). Забезпечує мультиплексування аналогових сигналів контрольно-вимірювального обладнання на локальний концентратор даних.
- Третій рівень – один локальний концентратор даних (тип ВКС LOCON RS/CL-01.008.02). Забезпечує збереження показань контрольно-вимірювального обладнання в пам'яті локальних концентраторів даних з на-

ступною їх передачею на центральний вузол обробки даних;

- Четвертий рівень – один центральний вузол обробки даних (тип ноутбук). Забезпечує збір і збереження даних від локального концентратора з їх наступною обробкою у програмі «Титан». Технічний засіб четвертого рівня є сервером збору даних.

На Рис. 8 надано фотофіксацію окремих частин системи автоматизованого моніторингу та процесу збору даних на центральний вузол їх обробки.



Рис.8. Окремі частини системи автоматизованого моніторингу та процес збору даних.
Fig.8. Some components of the automated monitoring system and the process of data collection.

Аналіз даних виконувався із використанням програми «Титан» за допомогою перехідних формул. Перерахунок даних з датчиків виконувався із використанням лінійних та поліноміальних формул, що надані виробниками датчиків. При розрахунку використовувались поправочні коефіцієнти з калібрувальних сертифікатів та дані сертифікатів встановлення датчиків.

Функції спеціального програмного забезпечення «Титан», що встановлена у центральному вузлі обробки даних:

- перерахунок показників датчиків у фізичні величини, порівняння з гранично допустимими показниками, автоматична сигналізація про перевищення;
- контроль вчасності та повноти виконан-

ня регламенту натурних спостережень;

- діагностика стану вимірювального обладнання;
- формування повідомлень про стан контрольно-вимірювального обладнання;
- експорт даних для наступної обробки та створення звітів.

В якості бази даних використовується СУБД Oracle Database 11g. СУБД Oracle забезпечує роботу із більшою кількістю об'єму даних та можливість швидкої обробки інформації для здійснення її перегляду та аналізу. Дані, які зібрані за допомогою ПЗ «Титан» зберігаються в основній базі даних. Створення бази даних здійснюється на етапі інсталяції, та програмна генерація

структури БД виконується на основі об'єктної моделі, яка закладена в системі.

На підставі останнього знімання сигналів (березень, 2021 р.) та їх обробки системою моніторингу за допомогою програмного забезпечення «Титан» виконано порівняння розрахункових та фактичних величин зусиль в елементах пальово-плитного фундаменту та його ґрунтової основи.

У Табл. 1 та на Рис. 9 наведені фактичні величини зусиль у конструкціях фундамен-

ту та тисків на ґрунтову основу та порівнянні з розрахунковими. При цьому розрахункові величини, що отримані за допомогою програми SOFiSTiK, представлені для фактичного періоду будівництва об'єкту (березень 2021 року), тобто при завантаженні ґрунтової основи тільки повною власною вагою будівлі (миттєво-пружне рішення) без врахування корисного та інших навантажень та їх розрахункових сполучень.

Табл. 1. Порівняльний аналіз зусиль у конструкціях фундаменту
Table 1. Comparative analysis of forces in the foundation structures

Конструкція	Розташування	Участок вимірювання	Зусилля в конструкції згідно з даними системи моніторинга		Зусилля в конструкції згідно з даними розрахунку у SOFiSTiK	
			N, кН	M, кНм/м	N, кН	M, кНм/м
паля d=1000мм	в осях "14-Ж"	нижня частина	-78		-85	
		середня частина	-705		-723	
		верхня частина	-1676		-1701	
паля d=620мм	в осях "Ж", "17-18"	верхня частина	-525		-539,6	
ростверк	в осях "15-16", "Ж-И"			65,1		67,5
	в осях "16-17", "Ж-И"			127,8		133,3
	у осі "17" в осях "Ж-И"			-209,7		-216,9
	у осі "Ж" в осях "17-18"			-304,3		-337,7
	в осях "17-18", "И-К"			37,3		40,3
	в осях "15-Ж"			239,4		245,7
	в осях "16-Ж"			277,7		283,6

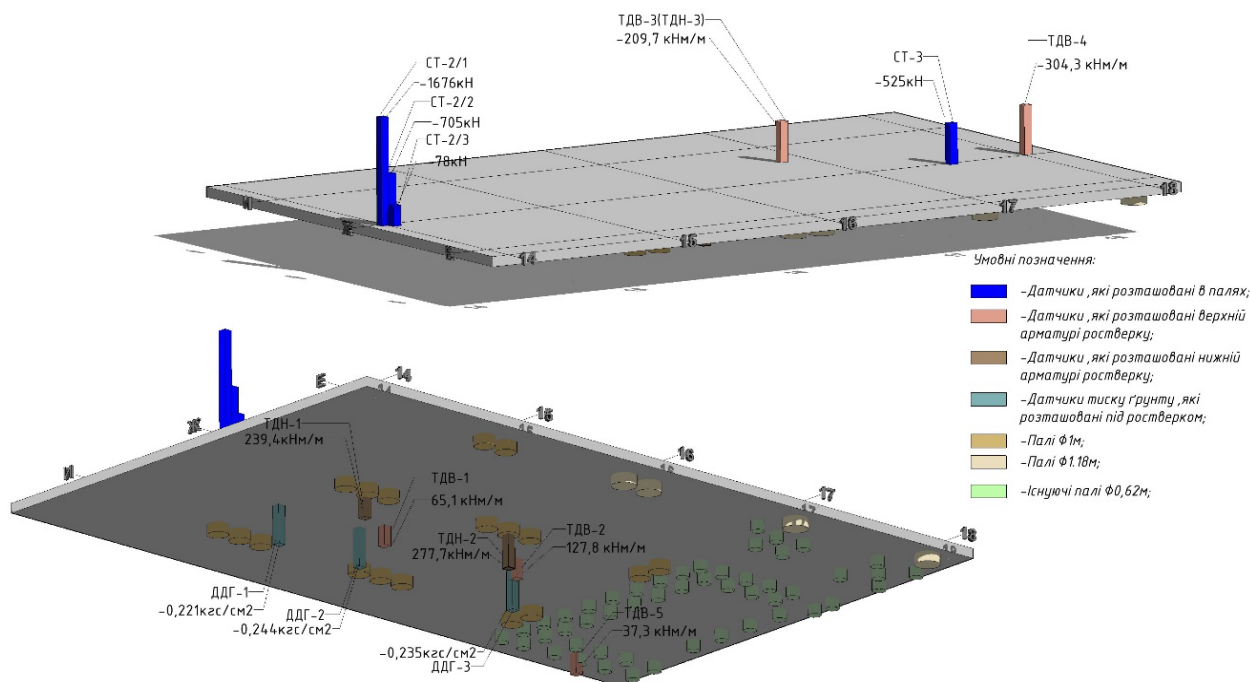


Рис.9. Фактичні величини зусиль у конструкціях фундаменту та тисків на ґрунтову основу.

Fig.9. Actual stress values in the foundation structures and pressures on the soil base.

З Табл. 1 та Рис. 9 видно, що найбільші відносні розбіжності зусиль становлять: 9,9% – для моментних зусиль у ростверку та 9% – для поздовжніх зусиль у палях.

На наш погляд, найбільш ймовірними причинами розбіжностей є:

- з боку системи моніторингу – особливості включення в роботу датчиків, що обумовлені послідовністю зведення конструкцій та роботою конструкції в реальних умовах;

- з боку моделювання у програмному комплексі SOFiSTiK – наближене описання конструкцій та їх взаємодії із основою.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

На основі результатів проведеного інструментального автоматизованого моніторингу напруженого стану системи «грунтова основа – комбінований пальово-плитний фундамент» будівельного об'єкта та їх порівняльного аналізу з даними чисельних розрахунків у програмі SOFiSTiK, можна зробити наступні висновки та рекомендації:

1. Фактичний тиск під підошвою ростверку не перевищує тиску від власної ваги плити ростверку ($\approx 25 \text{ кН/м}^2$), що свідчить про відсутність включення в роботу плити ростверку через незначні відносні осідання комбінованого пальово-плитного фундаменту.

2. Вибір моделі ґрунтової основи у вигляді лінійно-деформованого шару скінченної ширини з врахуванням опору під плитою ростверку ($\approx 25 \text{ кН/м}^2$) та розрахунок системи «основа – фундамент – споруда» у комплексі SOFiSTiK показало якісну та кількісну збіжність значень зусиль в залізобетонних конструкціях комбінованого пальово-плитного фундаменту, що свідчить про адекватну взаємодію системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд». Київ: Мінрегіон України, ДП «Укрархбудінформ», 2018. – 36 с.

2. ДБН В.1.2-5:2007 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. Київ: Мінрегіонбуд України, НДІБВ, 2007. – 18 с.
3. ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Київ: Мінрегіон України, ДП «Укрархбудінформ», 2018. – 36 с.
4. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд. Київ: Мінрегіон України, ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 47 с.
5. ДСТУ-Н Б В.2.5-37:2008 «Настанова з проектування, монтування та експлуатації автоматизованих систем моніторингу та управління будівлями і спорудами». Київ: Мінрегіон України, ДП «Укрархбудінформ», 2008. – 47 с.
6. ДСТУ Б В.2.6-25-2003 «Конструкції будинків і споруд. Автоматизовані системи технічного діагностування будівельних конструкцій. Загальні технічні вимоги». Київ: ДКБА України, ДНДІБК, 2003. – 25 с.
7. ДСТУ Б В.2.6-27:2006 «Конструкції будинків і споруд. Автоматизовані системи технічного діагностування будівельних конструкцій. Види випробувань». Київ: Мінбуд України, ДНДІБК, 2006. – 20 с.
8. Моніторинг напруженого стану системи «грунтова основа – пальово-плитний фундамент» будівельного об'єкта «Багатофункціональний комплекс по вул. Пушкінська, 2 у м. Харкові» у рамках науково-технічного супроводу: Звіт про науково-дослідну роботу / ХНУБА: керівник д.т.н. О.В. Самородов. – Харків: 2021. – 78 с.
9. Dally, J. W., & Riley, W. F. (1991). *Instrumentation for Engineering Measurements*. John Wiley & Sons. (464 pages)
10. Gómez-Millán, A., et al. (2019). "Long-Term Instrumental Monitoring of the Stress State in Piled Raft Foundations." *Geotechnical Testing Journal*, pp. 1-10.
11. Hendrik Louw., et al. (2022) "Instrumentation and monitoring of an onshore wind turbine piled-raft foundation." *Proceedings of the 11th International Symposium on Field Monitoring in Geomechanics*, pp. 1-9.
12. Katzenbach, R., et al. (2009). "Instrumentation and Monitoring of a Piled Raft Foundation on Soft Soil." *Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, pp. 1850-1853.

13. Middendorp, P., et al. (2015). "Instrumentation and Monitoring of the Stress State in Piled Raft Foundations." Geotechnical Special Publication, pp. 134-143.
14. Poulos, H., & Adams, W. M. (1999). Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. John Wiley & Sons. (488 pages)
15. Samorodov A.V. Procedure for Assigning a Soil Deformation Modulus of Large-Sized Slab and Slab-Pile Foundations Bases / A.V. Samorodov, V.L. Sedin, O.V. Krotov, S.V. Tabachnikov / Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 2019. – Vol. 56, Issue 5. – pp. 340–345.
16. Samorodov, O.V. Definition of the parameters of an elastic finite layer: [text] / I.J. Lutckovsky, 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.
17. Wang, Y., et al. (2016). "Experimental Study on the Stress State of Piled Raft Foundations under Different Loading Conditions." Journal of Zhejiang University-Science A (Applied Physics & Engineering), pp. 1345-1356.
5. State Standards of Ukraine DSTU-N B V.2.5-37:2008 Guidelines for the design, installation and operation of automated systems for monitoring and controlling buildings and structures (in Ukrainian DSTU-N B V.2.5-37:2008 «Nastanova z proektuvannia, montuvannia ta ekspluatatsii avto-matyzovalnykh system monitorynhu ta uprav-linnia budivliamy i sporudamy»).
6. State Standards of Ukraine DSTU B V.2.6-25-2003 Construction of buildings and structures. Automated systems of technical diagnostics of building structures. General technical requirements (in Ukrainian DSTU B V.2.6-25-2003 «Konstruktsii budyn-kiv i sporud. Avtomatyzovalni systemy tekhnichnoro diahnostuvannia budivelnnykh konstruktsii. Zahalni tekhnichni vymohy»).
7. State Standards of Ukraine DSTU B V.2.6-27:2006 Construction of buildings and structures. Automated systems for technical diagnostics of building structures. Types of tests (in Ukrainian DSTU B V.2.6-27:2006 «Konstruktsii budynkiv i sporud. Avtomatyzovalni systemy tekhnichnoro diahnostuvannia budivelnnykh konstruktsii. Vydy vyprobuvan»).
8. Monitoring of the stressed state of the system «soil base – pile raft foundation» of the building object "Multifunctional complex on the Pushkinska str., 2 in Kharkiv" within the framework of scientific and technical support: Report on scientific and research work / KhNUBA: Supervisor Dr.Sc. O.V. Samorodov. – Kharkiv: 2021. – 78 p. (in Ukrainian Monitorynh napruzhenoho stanu systemy «hruntova osnova – palovo-plytnyi fundament» budivelnoho obiekta «Bahatofunktsionalnyi kompleks po vul. Pushkinska, 2 u m. Kharkovi» u ramkakh naukovo-tekhnichnoho suprovodu: Zvit pro naukovo-doslidnu robotu)
9. Dally, J. W., & Riley, W. F. (1991). Instrumentation for Engineering Measurements. *John Wiley & Sons*, 464 pages.
10. Gómez-Millán, A., et al. (2019). Long-Term Instrumental Monitoring of the Stress State in Piled Raft Foundations. *Geotechnical Testing Journal*, 1-10.
11. Hendrik Louw., et al. (2022). Instrumentation and monitoring of an onshore wind turbine piled-raft foundation. *Proceedings of the 11th*

REFERENCES

1. Ukrainian National Building Code DBN V.1.2-14:2018 System to ensure the reliability and safety of construction sites. General principles for ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures (in Ukrainian DBN V.1.2-14:2018 «Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnnykh obiektiv. Zahalni pryntsyipy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud»).
2. Ukrainian National Building Code DBN V.1.2-5:2007 System to ensure the reliability and safety of construction sites. Scientific and technical support of construction sites (in Ukrainian DBN V.1.2-5:2007 Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnnykh obiektiv. Naukovo-tekhnichniy suprovid budivelnnykh obiektiv).
3. Ukrainian National Building Code DBN V.2.1-10:2018 Bases and foundations of buildings and structures. Main provisions (in Ukrainian DBN V.2.1-10:2018 Osnovy i fundamenti budivel ta sporud. Osnovni polozhennia).
4. State Standards of Ukraine DSTU-N B V.1.2-17:2016 Guidelines for scientific and technical

- International Symposium on Field Monitoring in Geomechanics*, 1-9.
12. Katzenbach, R., et al. (2009). Instrumentation and Monitoring of a Piled Raft Foundation on Soft Soil. *Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 1850-1853.
 13. Middendorp, P., et al. (2015). Instrumentation and Monitoring of the Stress State in Piled Raft Foundations. *Geotechnical Special Publication*, 134-143.
 14. Poulos, H., & Adams, W. M. (1999). Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. *John Wiley & Sons*, 488 pages.
 15. Samorodov, A.V., et al. (2019). Procedure for Assigning a Soil Deformation Modulus of Large-Sized Slab and Slab-Pile Foundations Bases. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 56 (5), 340-345.
 16. Samorodov, O.V. & Lutchkovsky I.J. (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.
 17. Wang, Y., et al. (2016). "Experimental Study on the Stress State of Piled Raft Foundations under Different Loading Conditions." *Journal of Zhejiang University-Science A (Applied Physics & Engineering)*, 1345-1356.

Field Studies of the Stressed State of the «soil base – combined pile raft foundation» System of the Multifunctional Complex in Kharkiv City

*Oleksandr Samorodov,
Sergii Tabachnikov,
Oleksii Dytiuk,
Oleksandr Bondar*

Summary. In the projects of buildings and structures, in the last two to twenty-five years, in world practice, the so-called combined pile raft foundation (CPRF) is increasingly used, for which, in the design and calculations, it is assumed that the calculated load from the building is distributed between the piles and the raft, allowing up to 50% inclusion in the work (resistance) of the raft. As part of the scientific and technical support [1-8] of the construction object, instrumental automated monitoring of the stress state of the «soil foundation - combined pile raft foundation» system of the

multifunctional complex on St. Pushkinska, 2 in Kharkiv (Ukraine) is carried out. The building has 7 floors and a mezzanine floor, including 2 floors of underground parking, 5 floors of shopping and entertainment area. There is a parking lot on the first 2 floors. The building system is a monolithic reinforced concrete frame with beamless floor slabs. The foundation of the building is a combined pile raft foundation with the centering of bored piles under the load-bearing elements of the frame. The soil base is represented by Quaternary alluvial-deluvial sediments – loams, sands and clays. As part of the implementation of the project, 23 sensors of two types were installed during the zero-cycle construction works: strain gauges (Geosense, England) to determine the stresses in the shafts of bored piles and in the upper and lower grids of the raft reinforcement and soil pressure sensors (Geokon, USA), which were placed under the sole of the raft. The results of the monitoring showed that the actual pressure under the raft does not exceed the pressure from its own weight of the raft ($\approx 25 \text{ kN/m}^2$), which indicates the absence of inclusion in the work of the raft due to insignificant relative settlements of the combined pile raft foundation. Taking this fact into account when modeling the "base - foundation - structure" system and calculation in the SOFiSTiK showed a qualitative and quantitative convergence of effort values in reinforced concrete structures of a combined pile raft foundation.

Key words. Combined Piled Raft Foundation, Soil Base, Instrumental Automated Monitoring, Stress Strain State