

Дослідження впливу нового будівництва на напружено-деформований стан ґрунтової основи фундаментів існуючої забудови

Віталій РУЧКІВСЬКИЙ¹

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітряних Сил, Київ, Україна, 03037
¹ruchkivsky8@ukr.net, orcid.org/ 0000-0001-8982-2884

DOI: 10.32347/0475-1132.49.2024.62-68

Анотація. Проаналізовано тенденції сучасного етапу розвитку житлового будівництва, що супроводжується збільшенням щільності забудови історично сформованих районів великих міст.

Виникають інженерні проблеми, які пов'язані із використанням підземного простору та призводять до зміни напружено-деформованого стану (НДС) існуючих будинків. Багато будівель, поряд з якими ведеться будівництво, мають фундаменти неглибокого закладання. Зведення нових фундаментів, відкопка котлованів, для влаштування підземного простору порушують рівновагу НДС ґрунтової основи і, у більшості випадків, здійснюють негативний вплив на існуючі конструкції будівель.

Дослідження, що проведені в даному напрямку свідчать про значну актуальність даної тематики. Важливу роль при цьому має комплексна система геотехнічного моніторингу за станом оточуючої забудови на різних етапах нового будівництва.

Практика будівництва в щільній забудові із наявністю спостережень за переміщеннями існуючих будівель показала можливість появи додаткових осідань та пошкоджень надземних конструкцій, що вказує на недостатню обґрунтованість прийнятих конструктивних рішень. При аналізі НДС системи «основа – фундамент – надземні конструкції» необхідно враховувати не лише фізико-механічні параметри ґрунтів, гідрогеологічні умови, навантаження, але і приділяти значну увагу технології робіт та послідовності їх виконання.

Проведено дослідження закономірностей впливу нового будівництва на напружено-деформований стан існуючої будівлі.



Віталій РУЧКІВСЬКИЙ
доцент кафедри
геотехніки

Приведено дані геотехнічного моніторингу та виконано їх порівняння із результатами числового моделювання. Числове моделювання виконано в двох варіантах: в комбінації та без захисного екрану із паль маленького діаметру. Ґрунтовий масив змодельовано із використанням моделі Hardening Soil Model.

Показана можливість стабілізації НДС ґрунтового масиву при виконанні робіт підземного циклу.

Запропоновано послідовність проектування будівель із підземним простором, що дає змогу досягти ефекту мінімізації впливу нового будівництва на додаткові осідання фундаментів сусідньої забудови.

Ключові слова. Нове будівництво, котлован, ущільнена забудова, напружено-деформований стан, осідання, деформації.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Зважаючи на прискорені темпи розвитком великих міст, для будівництва все частіше обираються ділянки, що знаходяться в межах щільної забудови. Спорудження при наявності таких умов висотних будівель із підземним простором провокує значну зміну напружено-деформованого стану ґрун-

тової основи і, як наслідок, конструкцій оточуючих споруд. В більшості випадків оточуюча забудова зазнає значних пошкоджень, які спричинені нерівномірними осіданнями, починаючи з будівельних робіт нульового циклу та продовжують розвиватись в період експлуатації (рис.1). Одним із важливих завдань, яке виникає в даному випадку, є захист існуючих будівель від додаткових осідань, спричинених будівельними роботами. Важливою ролі набуває мінімізація змін НДС основ і фундаментів існуючої забудови за рахунок обґрунтованого вибору конструкцій та технології нового будівництва.



Рис. 1. Приклад впливу нового будівництва із підземним паркінгом на сусідній будинок.

Fig. 1. Example of the impact of a new building with underground parking on a neighboring building.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідженню проблеми впливу нового будівництва на напружено-деформований стан існуючих будівель присвячено праці багатьох українських та зарубіжних науковців, таких як: Бойко І.П. [2], Винников Ю.Л. [4], Бондарева Л.О. [3], Носенко В.С. [5], Katzenbach R. [6], Bin-Chen [7] та ін..

В наукових роботах на дану тематику розглянуті важливі питання розрахунку та

влаштування конструкцій підземного простору в умовах щільної забудови [3]; [6]. Виділено значну роль використання числових методів для надійного прогнозування поведінки ґрунтових основ [2]. Також приділено значну увагу питанню геотехнічного моніторингу при наявності взаємовпливу новобудов та існуючих будівель [4].

МЕТА РОБОТИ

Основною метою даної роботи є дослідження зміни напружено-деформованого стану системи «ґрунтова основа – фундамент – надземні конструкції» будівлі, що знаходиться в зоні впливу нового будівництва та можливість стабілізації її НДС.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як експериментальний майданчик для дослідження та порівняння результатів числового моделювання з фактичними змінами НДС конструкцій існуючого будинку вибрано нове будівництво багатоповерхового житлового комплексу із підземним простором. Комплекс будується при наявності щільної забудови історичного центру м. Київ. Безпосередньо біля котловану паркінгу знаходиться чотирьохповерхова будівля адміністративного призначення. Дана будівля прямокутна в плані, має розміри 24х12м, збудована за безкаркасною схемою, поздовжні та поперечні стіни виконують функцію несучих конструкцій. Просторова жорсткість забезпечена сходовою клітиною та плитами перекриття. Фундаменти виконані у збірному варіанті. Ширина фундаменту 1,2м, із глибиною закладання 1,8м. До складу житлового комплексу, що будується входять дві секції 21 та 24 поверхів, які об'єднані підземним паркінгом. Будинки запроектовані у вигляді залізобетонного каркасу, забезпечення жорсткості відбувається за рахунок спільної роботи складових елементів каркасу.

Для виконання спостереження за переміщеннями конструкцій нового будівництва і існуючої будівлі розроблено програму геотехнічного моніторингу. Спостереження

за будівлями виконувалось у наступному порядку:

- вибір конструктивного елементу, місця розміщення та встановлення вихідних геодезичних марок висотної основи;
- виконання висотної фіксації геодезичних знаків;
- установка осадкових марок на елементах будівель, за якими ведеться спостереження;
- інструментальне вимірювання вертикального переміщення осадкових марок;
- обробка та аналіз результатів спостереження.

У вихідну висотну мережу включено 10 реперів. Дана кількість забезпечує необхідну точність визначення осідання, яка приймалась $\pm 1,0$ мм (рис.2.).

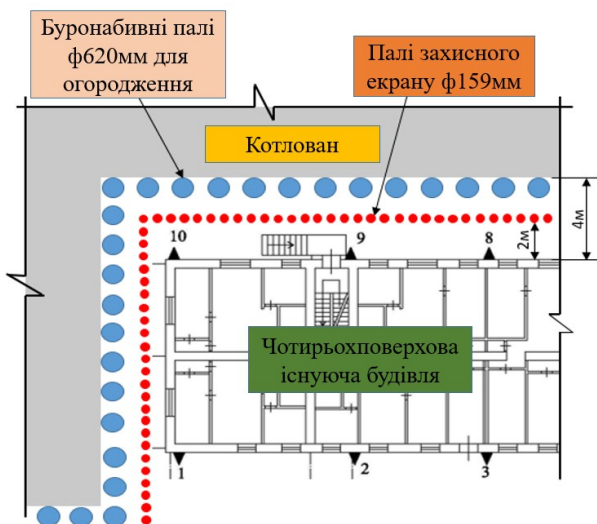


Рис. 2. Схема розміщення осадкових марок на конструкціях існуючої будівлі.

Fig.2. Layout of sedimentary marks on the structures of an existing building

Для визначення вертикального переміщення фундаментів існуючої будівлі, на них було встановлено осадкові марки.

Марки слугують, як постійні знаки для установки на них рейок під час виконання нівелювання. В даному випадку конструкція марки забезпечує можливість встановлення рейки при наступному нівелюванні для однієї і тієї ж фіксованої точки.

Для виконання спостережень за осіданнями фундаменту будівлі використовува-

лись марки кулеподібної форми та марки із арматури $\varnothing 16$ А240. Вертикальні переміщення будівлі вимірювались методом геометричного нівелювання II класу за точністю згідно вимог нормативних документів.

При закінченні польових робіт по вимірюванню переміщень конструкції будівлі та перевірки журналів було проведено камеральна обробка отриманих результатів та їх оцінювання. Значення осідання у межах кожної деформаційної марки обраховувались, як різниця між відмітками для цієї марки, що одержана в завершальному циклі вимірювання та відміткою, яка отримана в першому циклі вимірів.

При аналізі результатів інструментального спостереження за переміщеннями існуючої будівлі, що знаходиться в зоні впливу котловану виявлено зростання осідання фундаментів, які пов'язуються з різними етапами будівництва. Основними етапами, що брались до уваги при спостереженні були:

- 1) установка палей захисного екрану;
- 2) виконання палей огороження котловану та подальша екскавація котловану із влаштуванням конструкцій підземного простору.

При першому етапі встановлення палей захисного екрану із сталевобетонних палей діаметром 159мм прослідковується поява незначних переміщень конструкцій існуючого будинку, які фіксуються в межах 3мм. Після влаштування відсічного екрану, в межах окремих захваток влаштовуються залізобетонні палі, що будуть виконувати функцію огороження котловану та в подальшому використовуватись як стінова конструкція підземного поверху 620мм (рис.2). Палі котловану встановлюються за буронабивною технологією.

В даному випадку спостерігається продовження зростання осідань до 12мм, що пов'язане із появою технологічного впливу від влаштування палей огороження котловану. Найбільше зростання переміщень конструкцій будівлі відмічається на етапі розробки котловану та виконанні конструкцій підземного поверху (рис.3).



Рис. 3. Перший етап екскавації котловану з попередньо влаштованими палями захисного екрану.

Fig.3. The first stage of excavation of the pit with pre-installed piles of the protective screen.

Котлован нової будівлі розроблявся на глибину 6м. Максимальні переміщення при розробці котловану досягнули 17.8мм. При наступних спостереженнях зростання переміщень проходило зі зниженим темпом.

Проектна частина даного будівництва при наявності щільної забудови розроблялась на основі числового моделювання напружено-деформованого стану системи «грунтова основа – фундамент – надземні конструкції» із врахуванням основних етапів будівництва. Робота залізобетонних елементів моделювалась пружною при використанні наступних параметрів: питома вага $\gamma=25\text{кН/м}^3$, модуль деформації $E=30000\text{МПа}$, коефіцієнт Пуассона $\nu=0.17$. Грунтову основу змодельовано із застосуванням моделі Hardening Soil Model.

На основі порівняння даних геотехнічного моніторингу і числового моделювання виявлено різницю переміщень фундаментних конструкцій існуючої будівлі, яка склала 24% на етапі влаштування паль котловану та 19% при екскавації котловану. Можливе пояснення такої відмінності між значеннями експерименту і моделювання полягає у невідповідності фізико-механічних параметрів ґрунтів, які закладені в розрахунку, із наявними на етапі будівництва.

Також було проведено моделювання ситуації виконання робіт по встановленню паль огороження та екскавації котловану

без задалегідь виконаного захисного екрану із сталевобетонних паль. При такому варіанті виявлено суттєвий технологічний вплив влаштування буронабивних паль по контуру котловану. Переміщення фундаментів існуючого будинку в даному випадку склали 43мм, а на стадії відкопування котловану зросли до 61,3мм. Такі значення переміщень, на практиці, призвели б до зміни технічного стану будинку та переходу його до аварійного стану.

Результати числового моделювання показують важливість влаштування конструкції захисного екрану перед початком влаштування підземного простору нової будівлі. Даний захід дає можливість стабілізувати напружено-деформований стан ґрунтової основи в межах зони впливу нового будівництва. Також з'являється можливість керувати напружено-деформованим станом існуючого будинку через зміну параметрів захисної конструкції, до яких входять: жорсткість конструкції екрану, його глибина закладання та положення між будівлею і огороженням котловану.

Порівняння експериментальних та розрахункових значень переміщень при різних стадіях робіт підземного циклу приведені в табл. 1.

Табл. 1. Порівняння експериментальних та розрахункових значень переміщень фундаментів існуючого будинку.

Table 1. Comparison of experimental and calculated values of foundation displacements of an existing building

Етап	Переміщення, мм			Відхилення з екраном, %
	Числове моделювання із екраном	Експериментальні, із екраном	Числове моделювання без екрану	
Влаштування паль огороження котловану	15,1	11,5	43	24%
Відкопка котловану	21,3 (+29%)	17,8 (+34%)	61,3 (+40%)	19%

Проведене порівняння значень геотехнічного моніторингу і моделювання екскавації глибокого котловану для нового будівництва із підземним простором та наявністю сусідньої забудови дало змогу розроби-

ти алгоритм дій (рис.4), який рекомендується притримуватись в даних умовах:

1. Аналізування вихідних параметрів таких, як: ґрунтові умови, архітектурно-конструктивні рішення, технічний стан існуючих будинків, параметри котловану, відстань від котловану до оточуючої забудови.

2. Вибір початкового варіанту типу конструкцій огороження котловану, що включає технологію виконання, діаметр, крок, довжину.

3. Ідентифікація розрахункових параметрів ґрунтової основи з використанням даних польових випробувань. Моделювання натурних випробувань паль зі змінними параметрами ґрунту для досягнення задовільної збіжності між даними експерименту та моделювання.

4. З використанням числового моделювання та уточнених характеристик ґрунтів, виконується дослідження напружено-деформованого стану конструкцій існуючих будинків, що перебувають в зоні впливу нового будівництва. Моделювання проводиться поетапно. Розрахункові стадії приймаються згідно технологічної послідовності будівельних робіт.

4. Аналіз додаткових переміщень конструкцій існуючої забудови. Порівняння даних числового моделювання із додатковими переміщеннями, що допустимі для наявного типу будинку. Якщо є перевищення допустимих значень переміщень застосувати додаткове влаштування захисного екрану. При відсутності даного перевищення допустимих осідань виконується конструювання огороження котловану

5. При виникненні необхідності установити захисного екрану виконується підбір його параметрів, що дозволить вплинути на додаткові переміщення конструкцій існуючих споруд таких. До даних параметрів екрану входять: довжина екрану, його жорсткість, а також положення екрану утримуваними конструкціями і котлованом.

6. Для контролю за конструктивними елементами існуючої забудови необхідна розробка програми геотехнічного моніторингу, що буде включати весь період будів-

ництва з метою встановлення даних про фактичний напружено-деформований стан існуючих споруд.

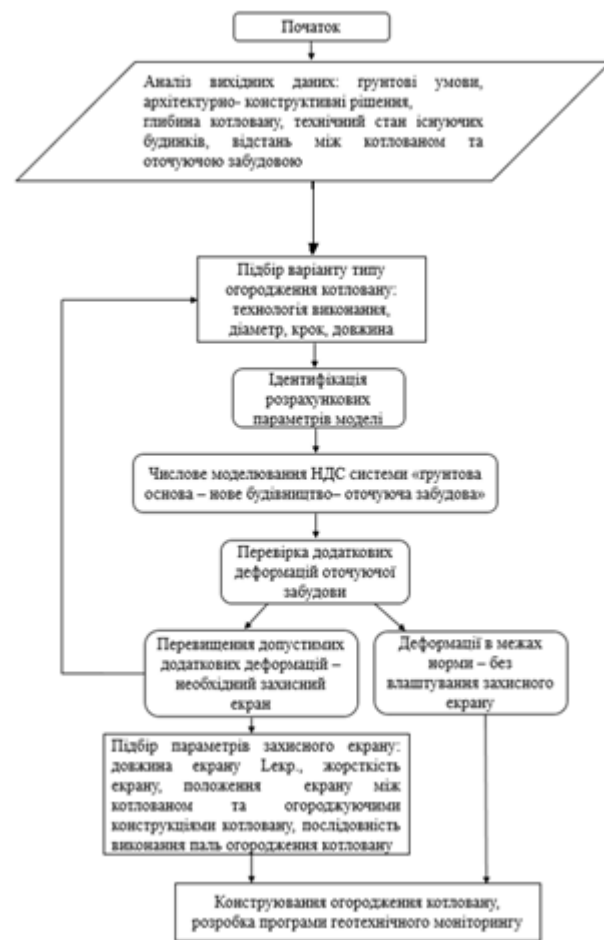


Рис. 4. Рекомендована послідовність проектування захисних конструкцій фундаменту існуючої будівлі в зоні впливу нового будівництва із підземним простором.

Fig.4. Recommended sequence for designing protective structures for the foundation of an existing building in the zone of influence of a new building with an underground space.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Розроблено рекомендований алгоритм проектування захисних конструкцій фундаменту існуючого будинку при наявності впливу нового будівництва із підземним простором.

2. Приведено переваги застосування числового моделювання системи «ґрунтова основа - захисні конструкції – існуюча будівля» для прогнозування технологічного

впливу виконання паль огороження котловану та екскавації котловану.

3. Виконано порівняння результатів числового моделювання НДС «грунтовий масив - захисні конструкції – існуюча будівля» та результатами натурних спостережень за деформаціями існуючого будинку в зоні розробки котловану із застосуванням розробленого алгоритму розрахунку.

4. Виявлено, що дослідження НДС системи «грунтовий масив - захисні конструкції – існуюча будівля» за запропонованою послідовністю дає змогу спрогнозувати вплив нового будівництва на додаткові переміщення сусідньої забудови та дозволяє провести стабілізацію НДС ґрунтового масиву при виконанні робіт по влаштуванню підземного простору.

ЛІТЕРАТУРА

1. Будівництво в умовах ущільненої забудови ДБН В 1.2-12-2008. – К.: Мінрегіонбуд, 2008-43с.
2. Бойко І.П. Напружено-деформований стан ґрунтового масиву при побудові нових фундаментів поблизу існуючих будинків / І.П. Бойко, В.О. Сахаров // *Основи і фундаменти: міжвідомчий науково-технічний збірник.*–К: КНУБА, 2004 – Вип. 28 –С. 3-10.
3. Бондарева Л. Оцінка впливу процесу влаштування огорожувальних конструкцій котловану на оточуючу забудову / Л. Бондарева, М. Хоронжевський, // *Основи і фундаменти: міжвідомчий науково-технічний збірник.*–К: КНУБА, 2022 – Вип. 45 – С.22-32 <https://doi.org/10.32347/0475-1132.45.2022.22-32>
4. Винников Ю.Л. Геотехнічний моніторинг влаштування котловану новобудови поруч з існуючими будівлями / Ю.Л. Винников, М.О. Харченко, Д.А. Єрмолаєнко, М.К. Акопян // *Збірник наук. праць Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика – 2022* – Вип. 22 – С.12-25
5. Носенко В. Оцінка впливу висотної будівлі на напружено-деформований стан фундаменту та конструкцій існуючих будівель щільної забудови / В. Носенко, Л. Бондарева., М. Хоронжевський, О. Кашоїда // *Основи і фундаменти: міжвідомчий науково-технічний збірник.*–К: КНУБА, 2023 – Вип. 47 – С. 49-60,

<https://doi.org/10.32347/0475-1132.47.2023.49-605>.

6. Katzenbach R., Bachman G., Gutberlet C. Pile-Soil-Wall-Interaction during the construction process of deep excavation pits. / R. Katzenbach, G. Bachman, C. Gutberlet // *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering [ISBN 978-1-61499-9 (online)]*. – Rotterdam, Millpress Skience Publishers/IOS Press, 2005. – Vol. 1–4. – P.1501–1504. DOI: 10.3233/978-1-61499-656-9-1501.
7. Bin-Chen B.H. The use of piling and propping for the protection of buildings beside deep excavations: case studies from Taipei, Taiwan / B.H. Bin-Chen, F.T. David, C. Chun-Hung, N.H. Richard, Hwang // *Proc. The 3rd Int. Symp.* – IS-Toulouse, 2002.
8. Turcek P. Using the observation method for foundations of high-rise buildings / P. Turcek, M. Sul’ovska // *Geotechnical Engineering in Urban Environments* – Rotterdam, 2007 – P.419-422.

REFERENCES

1. .Budivnytstvo v umovakh ushchilnenoї zabudovy: DBN V 1.2-12-2008. (2008). Kyiv: Minrehionbud, 43 (in Ukrainian).
1. 2. Boiko I.P., Sakharov V.O. (2004) Napruzhenno-deformovanyi stan hruntovoho masyvu pry pobudovi novykh fundamentiv poblyzu isnuichykh budynkiv [Stress-strain state of the soil massif during the construction of new foundations near existing buildings]. *Osnovu i fundamentey: Mizhvidomchyj naukovotekhnichnyj zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 28, 3-10 (in Ukrainian).
2. 3. Bondareva, L., Khoronzhevskiy, M. (2022) Otsinka vplyvu protsesu vlashtuvannia ohorodzhu-valnykh konstruktzii kotlovanu na oto-chuiuchu zabudovu. *Osnovu i fundamentey: Mizhvidomchyj naukovotekhnichnyj zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 45, 22-32 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32347/0475-1132.45.2022.22-32>
4. Vynnykov Yu.L., M.O. Kharchenko, D.A. Yermolaenko, M.K. (2022) Akopian Heotekhnichniy monitorynh ulashtuvannia kotlovanu novobudovy poruch z isnuichyamy budivliamy.[Geotechnical monitoring of the construction of a new building foundation pit next to existing buildings] *Zbirnyk nauk. prats*

Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka, 22, 12-25. (in Ukrainian)

5. Nosenko V., Bondareva L., Khoronzhevskyi M., Kashoida O. (2023) Otsinka vplyvu vysotnoi budivli na napruzhenno-deformovanyi stan fundamentu ta konstruktsii isnuuiu-chykh budivel shchilnoi zabudovy [Assessment of the impact of a high-rise building on the stress-straine of the foundation and structures of exiting buildings in dense development]. *Osnovy i fundamenty: mizhvidomchyi naukovotekhnichnyi zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 2023, 47, 49-60. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.47.2023.49-605>
6. Katzenbach R., Bachman G., Gutberlet C. (2005) Pile-Soil-Wall-Interaction during the construction process of deep excavation pits. *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering [ISBN 978-1-61499-9 (online)]*. Rotterdam, Millpress Skience Publishers/IOS Press., 1-4, 1501-1504. DOI: 10.3233/978-1-61499-656-9-1501.
7. Bin-Chen B.H. David F., Chun-Hung C., Richard N.H. (2002) The use of piling and propping for the protection of buildings beside deep excavations: case studies from Taipei. *Proc. The 3rd Int. Symp.*
8. Turcek P., Sul'ovska M. (2007) Using the observation method for foundations of high-rise buildings. *Geotechnical Engineering in Urban Environments*. Rotterdam, 419-422.

Research on the impact of new construction on the stress-strain state of the soil base foundations of existing buildings

Vitalii RUCHKIVSKYI

Summary. The trends of the modern stage of housing development, which is accompanied by an increase in the density of development of historically formed areas of large cities, are analyzed.

Engineering problems arise that are associated with the use of underground space and lead to a change in the stress-strain state of existing buildings. Many buildings, next to which construction is underway, have shallow foundations. The construction of new foundations, excavation of pits for the arrangement of underground space disrupt the balance of the stress-strain state of the soil base and, in most cases, have a negative impact on ex-

isting building structures.

Research conducted in this area indicates the significant relevance of this topic. An important role in this is played by a comprehensive system of geotechnical monitoring of the state of the surrounding development at different stages of new construction.

The practice of construction in dense development with the presence of observations of the movements of existing buildings has shown the possibility of additional settlements and damage to above-ground structures, which indicates the lack of justification for the adopted design decisions. When analyzing the stress-strain state of the “base - foundation - above-ground structures” system, it is necessary to take into account not only the physical and mechanical parameters of the soils, hydrogeological conditions, loads, but also to pay significant attention to the technology of work and the sequence of their execution.

A study of the patterns of the influence of new construction on the stress-strain state of the existing building has been conducted.

Geotechnical monitoring data are presented and compared with the results of numerical modeling. Numerical modeling was performed in two versions: in combination and without a protective screen of small-diameter piles. The soil mass was modeled using the Hardening Soil Model.

The possibility of stabilizing the stress-strain state of the soil mass during the performance of underground cycle works has been shown.

A sequence of designing buildings with underground space is proposed, which allows achieving the effect of minimizing the impact of new construction on additional subsidence of the foundations of neighboring buildings.

Key words. New construction, excavation, compacted development, stress-strain state, settlement, deformation.