

## Формування напружено-деформованого стану основи при зведенні фундаментів на різних відмітках в щільно забудованій території

*Віталій Ручківський<sup>1</sup>*

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

DOI: 10.32347/0475-1132.42.2021.64-71

**Анотація.** У даній роботі проведено дослідження впливу відновлення будівництва багатоповерхового будинку на існуючу забудову в м. Києві. Будинок було запроектовано 19-поверховим з двома підземними поверхами. Будівельний майданчик розташований у безпосередній близькості до оточуючої забудови. При спорудженні двох підземних та п'яти надземних поверхів будівництво було зупинено. В межах будинку було виявлено значні деформації. Спорудження нового будинку призвело до збільшення напружень основи фундаментів існуючої будівлі. Також під час експлуатації будівлі проводилось самовільне перепланування з добудовою нових приміщень та створенням нових перекриттів. Все це призвело до появи нерівномірних деформацій

В якості заходів усунення додаткових деформацій основа існуючої будівлі була підсилена палями, виконаними по jet-технології.

Дослідження впливу нового будівництва на існуючу забудову виконувалось на базі числового моделювання в плоскій постановці системи «утримуючі конструкції котловану – ґрунтова основа – існуючий будинок».

На основі дослідження проведено аналіз напружено-деформованого стану ґрунтової основи.

Встановлено невідповідність реальних значень вертикальних деформацій основи та деформацій виявлених за допомогою числового моделювання, що свідчить про необхідність уточнення характеристик ґрунтової основи та аналізу технології влаштування фундаментних конструкцій, а також правильність вибору рішення по підсиленню основи будинку jet-палями.



**Віталій Ручківський**  
асистент кафедри  
геотехніки

Показано вплив будівництва на багатоповерхового будинку напружено-деформований стан ґрунтового масиву та існуючої забудови.

Виявлено, що виникає суттєвий вплив нового будівництва (будівля №69) на існуючу будівлю №67. Додаткові 10 поверхів призведуть до збільшення деформацій основи будинку №67, частина якого вже знаходиться в граничному стані.

Враховуючи вплив надбудови будинку №69, необхідно розробити інженерні заходи щодо усунення цього впливу. Без додаткових заходів щодо стабілізації деформацій будівлі 67 експлуатація стає неможливою.

**Ключові слова.** Напружено-деформований стан, котлован, інженерні захисні конструкції, згинальні моменти, горизонтальні деформації, щільно забудована територія.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

На сьогодні в м. Києві та інших великих містах ведеться будівництво з освоєнням підземного простору. В зону впливу глибоких котлованів часто потрапляють будівлі, що належать до культурно-

історичної спадщини. Звідси виникає потреба забезпечення збереження існуючих будівель.

В більшості випадків у будинків історичної частини міста уже завершилися експлуатаційні терміни, на які були розраховані їх конструкції. Для даних випадків постає необхідність зменшення впливу нового будівництва за рахунок застосування технологій, що мінімізують додаткові деформації існуючих будівель.

### АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У вітчизняних та закордонних джерелах переважають дослідження деформацій існуючої забудови поблизу котлованів за двома напрямками: числові та експериментальні. В сукупності, на основі досвіду зведення в зоні впливу котловану узагальнюють ряд факторів, від яких залежать переміщення ґрунту: інженерно-геологічні умови, рівень підземних вод, технологія будівництва, відстань між котлованом та існуючою будівлею, а також різниця відміток котловану та глибини закладання фундаменту оточуючої зауди. Дослідженням напружено-деформованого стану системи «утримуючі конструкції котловану – ґрунтовий масив» в щільній забудові присвячені праці І.П. Бойка [1], Ю.Л. Винникова [2], М.Л. Зоценка [3], Addenbrooke T.I. [5], Boscardin M.D. [6].

### МЕТА РОБОТИ

На основі числового моделювання та експериментальних досліджень дослідити напружено-деформований стан ґрунтової основи при зведенні фундаментів на різних відмітках в щільно забудованій території.

### ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

У сучасному містобудуванні, в більшості випадків, при зведенні будівель і підземних споруд виникає негативний вплив нового будівництва на існуючу забудову. Як правило фундаменти нових будівель проектується із більшою глибиною закладання в

порівнянні з існуючими будівлями. В результаті робіт по екскавації котловану та подальшому влаштуванню несучих конструкцій підземних споруд існуючі будинки зазнають нерівномірних осідань. В стінах можуть з'являтися тріщини та відбувається порушення експлуатаційної придатності конструктивних елементів. Перед геотехніком виникає завдання визначення габаритів зони впливу нового будівництва, тобто ділянки, на якій можуть відбуватися негативні процеси формування напружено-деформованого стану. Для дотримання безпечної експлуатації існуючих будівель необхідний достовірний прогноз додаткових деформацій існуючих будівель і споруд.

В рамках дослідження було розглянуто вплив будівництва багатофункціонального комплексу (будинок №69) на оточуючу забудову, зокрема, на будинок №67. Будівлі знаходяться в Шевченківському районі м. Києва (рис.1.)

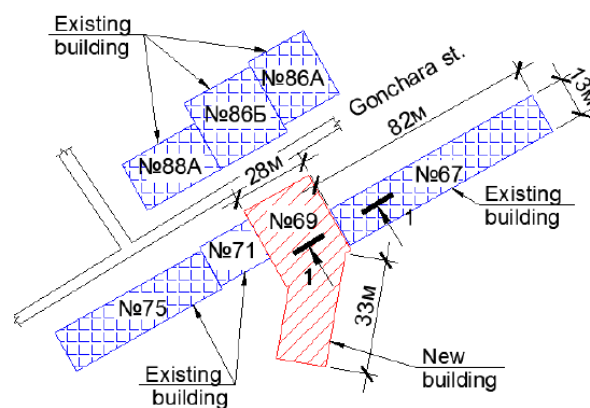


Рис.1.Схема розташування будинків.  
Fig.1.Situation scheme.

На сьогодні, в межах будівельного майданчику знаходиться монолітний каркас 19-ти поверхового блоку, добудований до 6-го поверху. Будівельні роботи призупинено.

Існуючий будинок №67 було збудовано в 1937-1939 роках. Будинок безкаркасний, п'ятиповерховий з цокольним поверхом, має чотири сходових клітини. Матеріал стін – цегла. Розміри будинку в плані 81.2x14м. Конструктивна схема – жорстка, із несучими поперечними та поздовжніми стінами. Товщина зовнішніх стін першого поверху 640мм, з 2 по 5 поверхи – 510мм.

Перекриття - дерев'яне по дерев'яних балках. Фундаменти будинку – стрічкові бутові та бутобетонні неглибокого закладання. Перекриття - дерев'яні по дерев'яних балках та монолітні залізобетонні в санвузлах. Глибина закладання фундаменту 1.55-2.26м.

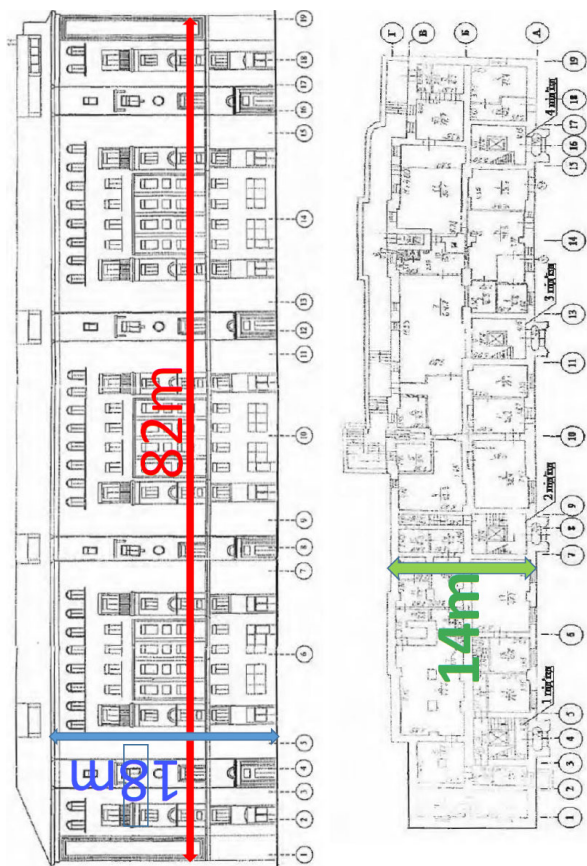


Рис.2.Будинок №67.  
Fig.2. Building №67.

Протягом експлуатації будинку відбувались роботи по самовільному переплануванню з добудовою нових приміщень, а також створенням нових перекриттів по металевим балкам. Все це призвело до появи нерівномірних деформацій основи і як наслідок появи тріщин в стінах (рис.3).

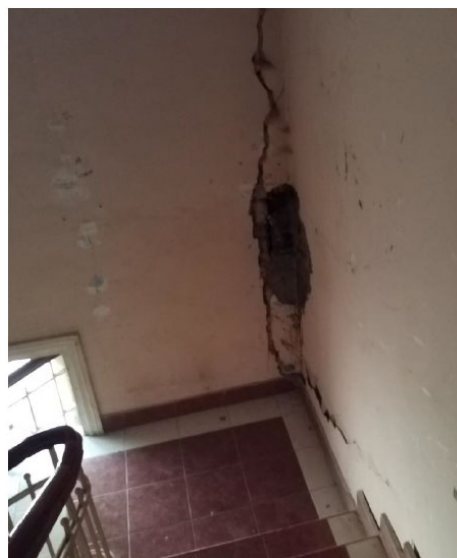


Рис.3. Тріщини в стінах будинку №67.  
Fig.3. Cracks of building №67.

Ґрунт основи фундаментів - супісок пластичний (ІГЕ-5), що характеризується значною деформативністю і може бути віднесеним до слабких ( $E=7\text{МПа}$ ;  $\phi=18\text{град}$ ;  $\gamma=19.3\text{кН/м}^3$ ) потужністю до 17м. Гідрогеологічні умови характеризуються наявністю витриманого безнапірного водоносного горизонту. Ґрунтові води зафіксовані на глибині 2.3-7.7м від рівня поверхні землі, що відповідає абсолютним позначкам 128.0-130.25м. Режим водоносного горизонту техногенно-природний, непостійний, змінюється в залежності від сезону року.

Табл. 1. Фізико-механічні характеристики будівельного майданчику  
Table. 1. Indicators of physical and mechanical properties of the soils of the building site

ПЕ	Характеристика інженерно-геологічного елемента	Вологість на границі			Число пластичності	Показник текучості	Щільність			Коеф. пористості	Ступінь водонасичення	Кут вн. тертя	Питоме зчеплення	Модуль деформації	Коефіцієнт фільтранції		
		Природна вологість	текучості				IL	частини ок. ґрунту	р, г/см <sup>3</sup>							р, г/см <sup>3</sup>	р <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>
			W	W <sub>l</sub>													
1	Насипний ґрунт - супісок твердий, із включенням будівельного сміття	0.134	0.2	0.15	0.05	-0.51	2.68	1.3	1.4	0.88	0.41						
2	Пісок пілуватий, середньої щільності, неоднорідний, малого ступеню водонасичення	0.084					2.66	1.6	1.5	0.73	0.23	28	0	15	1		
3	Супісок твердий	0.157	0.25	0.2	0.05	-0.79	2.67	1.7	1.5	0.76	0.54	24	0.01	10	0.2		
4	Пісок пілуватий, щільний та середньої щільності, неоднорідний, насичений водою	0.18					2.65	2.1	1.8	0.514	0.93	34	0.01	25	0.5		
5	Супісок пластичний, текучий	0.205	0.21	0.16	0.05	0.9	2.67	1.9	1.6	0.87	0.82	18	0.01	7	0.1		
6	Суглинок тугопластичний, м'якопластичний	0.227	0.3	0.18	0.12	0.4	2.69	2	1.6	0.65	0.94	19	0.04	14	0.05		
7	Пісок дрібний, середньої крупності, водонасичений.	0.19					2.65	2.1	1.8	0.52	0.97	36	0	35	3		
8	Суглинок напівтвердий	0.286	0.43	0.27	0.16	0.14	2.71	1.9	1.5	0.615	0.95	18	0.08	21	5E-04		
9	Глина напівтверда	0.292	0.47	0.27	0.19	0.1	2.73	1.9	1.5	0.835	0.96	19	0.12	35	5E-04		



Рис.4. Існуюча на сьогодні ситуація.  
Fig.4. Existing situation today.

Будівництво будинку №69 було розпочато в 2004 році і на даний момент не є завершеним. На сьогодні збудовано 6 поверхів (2 підземних поверхи) із 19 передбачених проектом. Планується відновлення будівництва. Будівля являє собою монолітний каркас. Поздовжня та поперечна жорсткість каркасу забезпечується сумісною роботою елементів каркасу – колон. Елементів ядра жорсткості, діафрагм жорсткості, пілонів та дисків перекриття. Фундаменти – буронабивні палі діаметром 820мм, довжиною від 20м до 23м. Палі об'єднані залізобетонним ростверком товщиною 1030мм. Основою пального фундаменту є напівтверда глина ( $E=35\text{МПа}$ ;  $\phi=19\text{град}$ ;  $\gamma=19.2\text{кН/м}^3$ ) (табл.1). У межах ділянки будівництва виявлено дев'ять інженерно-геологічних елементів:

Протягом зведення фундаментів та підземної частини будинку №69 глибина котловану складала 4м. Утримуючі конструкції котловану виконані із буроін'єкційних паль діаметром 620мм та 820мм. Відмітка дна котловану – 128.1м.

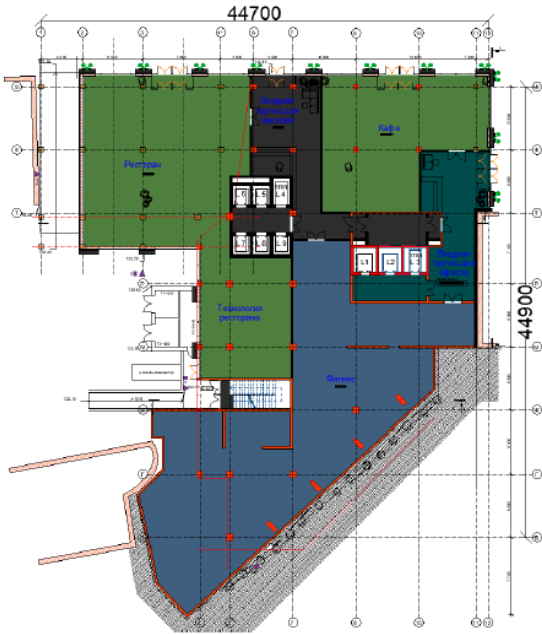


Рис.4а. План типового поверху будинку №69.  
Fig.4a. Floor plan of building №69.

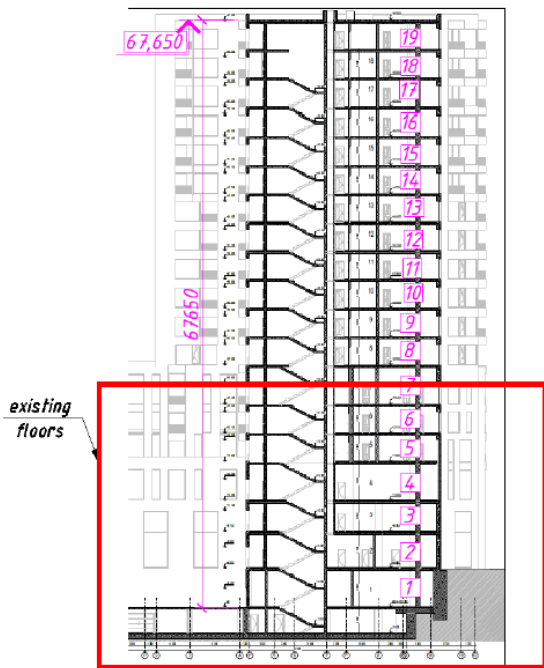


Рис.5. Розріз будинку №69.  
Fig.5. Section of building №69.

На даний момент внаслідок спорудження в безпосередній близькості будинку №69 будинок №67 знаходиться в непридатному до нормальної експлуатації стані, частина будинку – в аварійному стані.

За даними геодезичного спостереження максимальне відхилення від вертикалі грані кута будинку складає 119мм, максимальне осідання – 83мм.

В якості заходів усунення додаткових деформацій основа будівлі №67 була підсилена палями, виконаними по jet-технології.

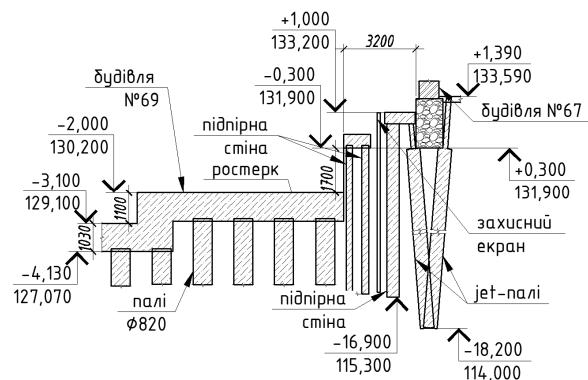


Рис.6. Розріз підсилення будинку №67.  
Fig.6. Strengthening section of building №67.

Виникнення деформацій існуючого будинку при спорудженні поруч із ними нової будівлі може бути спричинене:

- збільшенням напружень основи фундаментів існуючої будівлі, що викликане новим будівництвом;
- зміною гідрогеологічних умов, виникнення баражного ефекту при підземному будівництві;
- влаштуванням котлованів, спорудження фундаментів нової будівлі на інших відмітках по відношенню до існуючого будинку;
- технологічні впливи;

Всі ці фактори в тій чи іншій мірі були зафіксовані при даному будівництві. Однак за допомогою числового моделювання не було виявлено значних деформацій (рис.7; 8), що спостерігаються на практиці. Це свідчить про необхідність уточнення характеристик ґрунтової основи.

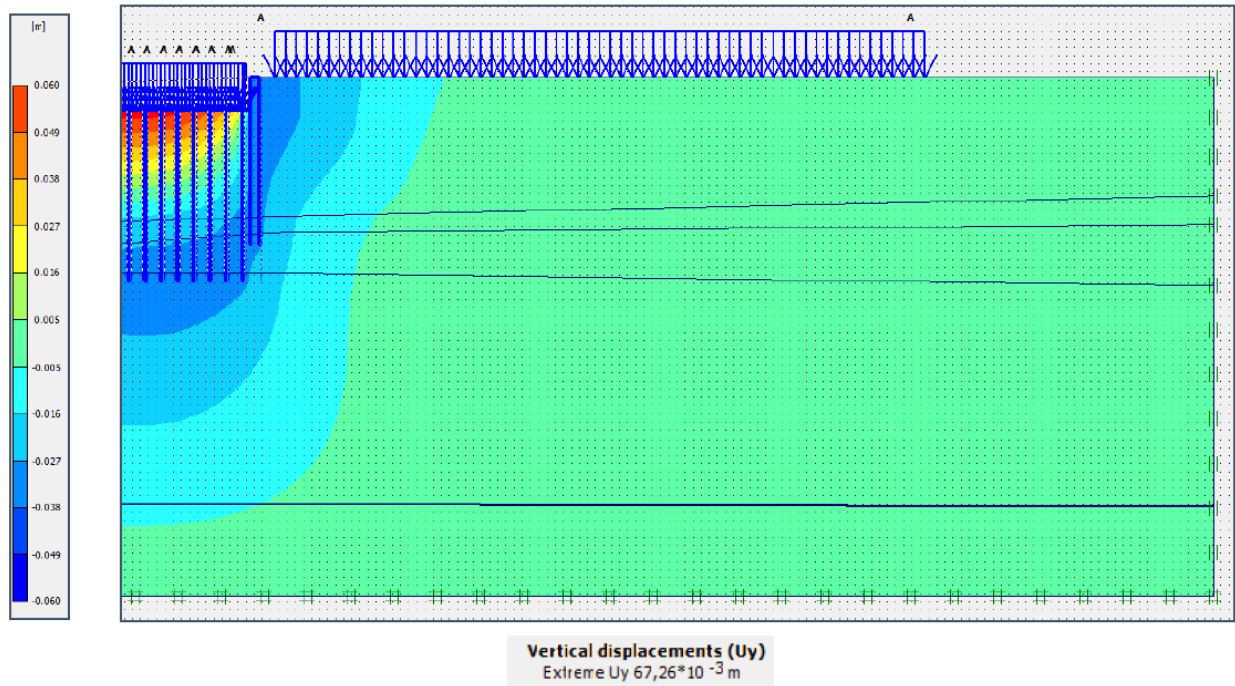


Рис.7. Вертикальні переміщення  $U_y$  при збудованих 7 поверхах.  
 Fig.7. Vertical displacements  $U_x$ , with built 7 floors.

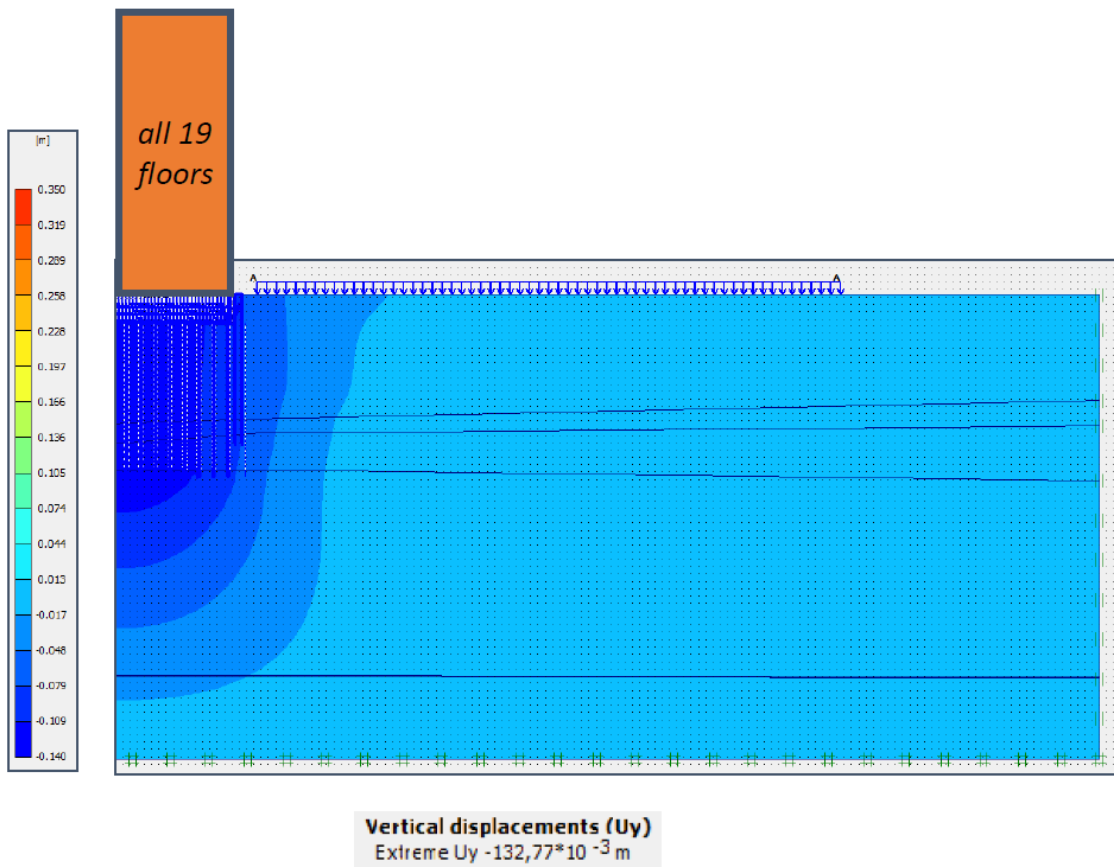


Рис.8. Вертикальні переміщення  $U_x$ , варіант №1 – фундаментна плита.  
 Fig.8. Vertical displacements  $U_x$ , with designed 19 floors

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Встановлено невідповідність значень ре-  
альних вертикальних деформацій основи та  
деформацій виявлених за допомогою чис-  
лового моделювання. Це свідчить про не-  
обхідність уточнення характеристик грун-  
тової основи, також дуже важлива техноло-  
гія влаштування фундаментних конструк-  
цій.

Показано, що виникає суттєвий вплив  
нового будинку №69 на будівлю №67. До-  
даткові 10 поверхів призведуть до збіль-  
шення деформацій основи будинку №67,  
частина якого вже знаходиться в гранично-  
му стані.

Враховуючи вплив надбудови будинку  
№69, необхідно розробити інженерні захо-  
ди щодо усунення цього впливу. Без додат-  
кових заходів щодо стабілізації деформацій  
будівлі 67 експлуатація стає неможливою.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко І.П. Особливості взаємодії пальових фундаментів під висотними будинками з їх основою. / І.П.Бойко // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. – 2006. – Вип. 30. – С. 3-8.
2. Винников Ю.Л. Модельные исследования эффективности грунтоцементных разделительных экранов для защиты от влияния нового строительства / Ю.Л. Винников, А.В. Веденисов // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Серия: Строительство и архитектура*. – Пермь 2015 – С.51-63 - DOI: 10.15593/2224-9826/2015.1.04.
3. Зоценко М.Л. Моделювання напружено-деформованого стану ґрунтового масиву зсувного схилу / М.Л.Зоценко, Ю.Л. Винников, М.О. Харченко, А.М. Виноградова, О.В. Костенко // *Зб. наук. праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. –Вип. 3(38). – Т. 1. – С. 160-169.
4. Turcek P., Sul'ovska M. Using the observation method for foundations of high-rise buildings / *Geotechnical Engineering in Urban Environments* – Rotterdam, 2007 – pp.419-422.
5. Addenbrooke T.I. Flexibility number for displacement controlled design of multi propped

- retaining walls. // *Ground Eng.* – 1994. - №27(7): pp. 41-45.
6. Boscardin. M.D. Building response to excavation induced settlement.// *Proc. ASCE, Journal of Geotechnical Engineering*. – 1989. – vol. 115, №1 pp. 1-21.
7. Chandrakant S. Desai, Numerical methods in geotechnical engineering / Chandrakant S.Desai, John T.Christian // New York – McGraw-Hill, 1977. – 783p. – ISBN 0-07-016542-4.
8. Chris R.I. Clayton, Earth pressure and earth-retaining structures / Chris R.I. Clayton, Rich I. Woods, A.J.Bond, J.Milititsky – New York, , Taylor & Francis, 2006. p.559.

## REFERENCES

1. Boyko I.P. (2006). Osoblyvosti vzaiemodii palovykh fundamentiv pid vysotnymy budynkamy z yikh osnovoiu [Features of the interaction of pile foundations under high-rise buildings with their foundation]. *Osnovu i fundamentey: Mizhvidomchyj naukovotekhnichnyj zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 30, 3-8 (in Ukrainian).
2. Vynnykov Yu.L., Vedenysov A.V. (2015). Modelnye yssledovaniya efektyvnosti hruntotsementnykh razdelytelnykh ekranov dlia zashchyty ot vlyaniya novoho stroytelstva [Model studies of the effectiveness of soil-cement dividing screens for protection against the influence of new construction]. *Vestnyk Permskoho natsyonalnoho yssledovatel'skoho polytekhnicheskoho unyversyteta. Seriya: Stroytelstvo y arkhytektura*. Perm, 51-63. DOI: 10.15593/2224-9826/2015.1.04. (in Russian).
3. Zocenko M.L., Vynnykov Yu.L., Kharchenko M.O., Vynohradova A.M., Kostenko O.V. (2013). Modeliuvannia napruzhenodeformovanoho stanu ґрунтового масиву зсувного схилу [Modeling of stress-strain state of landslide slope massif]. *Zb. nauk. prats. Seriya: Haluzeve mashynobuduвання, budivnytstvo*. Poltava: PoltNTU, 3(38), T.1, 160-169 (in Ukrainian).
4. Turcek P., Sul'ovska M. (2007). Using the observation method for foundations of high-rise buildings. *Geotechnical Engineering in Urban Environments*. Rotterdam, 419-422.
5. Addenbrooke T.I. (1994). Flexibility number for displacement controlled design of multi propped retaining walls. *Ground Eng.* 27(7), 41-45.

6. Boscardin. M.D. (1989). Building response to excavation induced settlement. *Proc. ASCE, Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 115, №1, 1-21.
7. Chandrakant S.Desai, John T.Christian. (1977). Numerical methods in geotechnical engineering. New York – McGraw-Hill, 783p. ISBN 0-07-016542-4.
8. Chris R.I.Clayton, Rich I.Woods, A.J.Bond, J.Milititsky. (2006). Earth pressure and earth-retaining structures. New York, Taylor & Francis, 559.

**Formation of the stress-strain state of the base  
during construction  
foundations at different marks in a densely  
built-up territory**

*Vitalii Ruchkivskiy*

**Summary.** In this paper studied the impact of the resumption of multi-storey construction on existing buildings in Kyiv. The building was designed 19-storey with two underground floors. The construction site is located in close proximity to the surrounding buildings. Construction was built on two underground and five above-ground floors. Significant deformations were found in the adjacent buildings. The construction of a new building has led to increased stresses in the foundations of the existing building. Also during the erection of the building, unauthorized re-planning was carried out with the addition of new premises and the creation of new floors. All this led to the appearance of uneven deformations

As measures to eliminate additional deformations, the foundation of the existing building was reinforced with piles made of jet technology.

The research was performed on the basis of numerical modeling in a plane formulation of the system "retaining structures of the pit - soil base - existing building". An analysis of the stress-strain state of the soil base was performed.

The discrepancy between the real values of vertical deformations of the base and deformations detected by numerical modeling, which indicates the need to clarify the characteristics of the soil base and analysis of the technology of installation of foundation structures, and also the correctness of the choice of the decision on under-strengthening of the basis of the building by jet-piles.

The influence of construction on the multi-storey building of the stress-strain state of the soil massif and the existing buildings is shown.

It is shown that there is a significant impact of new construction (building №69) on the existing building №67. An additional 10 floors will increase the deformation of the foundation of the house №67, part of which is already in the limit state.

Given the impact of the addition of the building №69, it is necessary to develop engineering measures to eliminate this impact. Without additional measures to stabilize the deformations of the building 67, operation becomes impossible.

**Key words.** Stress-strain state, engineering protective structures, foundation pit, bending moments, horizontal displacements, densely built-up territory.