

**УДК 624.042**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОТЛОВАНУ ДОВГОБУДУ НА  
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН НЕСУЧИХ  
КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ, ЩО ЕКСПЛУАТУЄТЬСЯ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОТЛОВАНА ДОЛГОСТРОЯ НА  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕСУЩИХ  
КОНСТРУКЦИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО ЗДАНИЯ**

**RESEARCH OF INFLUENCE OF UNFINISHED CONSTRUCTION  
EXCAVATION ON STRESS-STRAIN STATE OF EXPLOITED  
BUILDING BEARING STRUCTURES**

**Банах А.В., к.т.н., доц.** (Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя)

**Банах А.В., к.т.н., доц.** (Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье)

**Banakh A.V., candidate of technical sciences, docent** (Zaporizhzhia State Engineering Academy, Zaporizhzhia)

Наведено результати розрахунку несучих конструкцій будівлі, що експлуатується тривалий час, сумісно з ґрунтовим масивом її основи з урахуванням котловану довгобуду, розташованого поряд.

Приведены результаты расчета несущих конструкций длительно эксплуатируемого здания совместно с ґрунтовым массивом его основания с учетом котлована долгостроя, расположенного рядом.

The results of computation of bearing structures of long-time exploited building together with a soil massif of its foundation base and the nearby located unfinished construction excavation are given.

**Ключові слова:**

**Будівля, конструкція, деформації, напруження, експлуатація, довгобуд, котлован.**

**Здание, конструкция, деформации, напряжения, эксплуатация, долгострой, котлован.**

**Building, structure, strains, stresses, exploitation, unfinished construction, excavation.**

**Вступ.** У зв'язку зі складною та нестабільною економічною ситуацією,

а також різким скороченням обсягів інвестицій в будівельну галузь протягом останніх 10 років, в містах України утворилася значна кількість довгобудів багатоповерхових і висотних цивільних будівель, переважно житлових. Будівництва, розпочаті в сприятливий період стрімкого розвитку галузі (навесні-влітку 2008 року), різко припинилися на стадії робіт нульового циклу, а саме – відритого котловану.

Нові житлові будівлі передбачаються багатоповерховими або висотними, що потребує організації відповідної соціальної інфраструктури у їх межах. При цьому автомобільний паркінг раціонально розміщувати на підземних поверхах. Чинні норми щодо влаштування підземних паркінгів вимагають збільшеної будівельної висоти поверху, що призводить до виїмки відповідної товщі ґрунту та значної глибини котловану. Глибина котловану також збільшується за рахунок перерізу залізобетонної фундаментної плити, що здатна сприймати величезні навантаження від конструкцій будівлі.

В більшості випадків нові будівлі проектуються серед існуючої забудови (в тому числі щільної), зведеної 40...50 і більше років тому, яка складається з об'єктів висотою 5...7 поверхів. Одним з найважливіших інженерних завдань є забезпечення належного технічного стану будівель протягом їх терміну експлуатації та життєвого циклу, а також надійності та довговічності несучих конструкцій об'єктів. Елементи несучих конструкцій будівель і споруд, що експлуатуються, одержують деформації та напруження, які з часом тільки збільшуються і значення яких залежать від певних умов експлуатації.

Найважливішими умовами майданчику забудови є інженерно-геологічні, в тому числі складні, серед яких виділяються просідаючі ґрунти. Окрім рівномірних осідань будівель, спричинених їх вагою, внаслідок замочування відбуваються нерівномірні, що призводять до надмірних кренів існуючих об'єктів забудови, значних деформацій або руйнування несучих конструкцій та погіршення технічного стану будівлі в цілому.

Одним з чинників, який сприяє замочуванню ґрунтів основ фундаментів існуючих будівель, що експлуатуються поряд з розпочатим новим будівництвом, є незакритий котлован довгобуду, в який потрапляють дощова вода, тала вода від снігу, стікають поверхневі води з прилеглої території. В результаті можливо замочування ґрунту нижче котловану, а також його стінок (відкосів). Крім того, спостерігається загальне ослаблення ґрунтового масиву прилеглої ділянки забудованої території й утворення загрози зсуву.

В контексті наведеного вище завдання важливо дослідити вплив наслідків наявності котловану довгобуду – ослаблення ґрунтового масиву в цілому та додаткове замочування відкосів котловану, що може привести до просідання ґрунту під існуючим об'єктом, – на напружено-деформований стан (НДС) несучих конструкцій будівель, що

експлуатуються поряд.

**Стан питання.** Актуальність проблеми зумовлена сучасними тенденціями щодо способів реконструкції житлових кварталів, серед яких неабияка увага приділяється ущільненню міської забудови [1]. При цьому суто технічні проблеми, що виникають при зведенні висотних і багатоповерхових об'єктів серед існуючих будівель часто у рази меншої поверховості, не розглядаються, проте згадуються, наприклад, у [2]. Проектувальники будівельних конструкцій, основ і фундаментів концентруються на нових об'єктах будівництва і не переймаються будівлями, що експлуатуються поряд, за відсутності відповідних детальних вказівок, наприклад, у нормативних документах [3], наукових працях [4] та ін. Комплексні заходи, спрямовані на збереження існуючого нерухомого фонду, також відсутні [5].

Проте останнім часом спостерігається підвищення інтерес до забезпечення належного технічного стану будівель, що експлуатуються, насамперед при їх реконструкції. Про необхідність урахування наявних деформацій конструкцій будівель, що експлуатуються, а також про механічні дії на існуючі об'єкти важких будівельних машин і механізмів, що застосовуються при зведенні нових будівель, йдеться у [6]. Необхідність урахування поточного технічного стану об'єктів, що експлуатуються, при їх реконструкції доведена у [7].

У [8] обґрунтовано необхідність урахування при розрахунках будівель і споруд запроектованих навантажень, тобто таких, які виникли в процесі експлуатації та не могли бути враховані при проектуванні об'єктів, однак з певного моменту експлуатації починають діяти. В якості такого запроектованого (додаткового) навантаження на будівлю, що експлуатуються, в даному дослідженні виступають переміщення елементів несучих конструкцій від нерівномірних осідань фундаментів, викликаних просіданням ґрунту основи при його неоднократному замочуванні через відкис котловану довгобуду.

Найбільш небезпечні місця розташування воронки просідання відносно осей будівлі в плані припадають на торцеві та кутові ділянки об'єкту, що визначено в праці [9]. Особливості вибору розрахункової моделі будівлі в залежності від особливостей її експлуатації наведені у [10], але за нормами [11] однозначно має застосовуватися просторова розрахункова модель будівлі сумісно з ґрунтовим масивом її основи.

**Постановка мети і завдань дослідження.** Метою дослідження є визначення впливу процесів, викликаних тривалою наявністю котловану довгобуду, на НДС несучих конструкцій будівлі, що експлуатується поряд. До згаданих процесів відносяться замочування відкосів котловану, що може привести до просідання ґрунту під існуючим об'єктом, та ослаблення ґрунтового масиву в цілому, що утворює загрозу зсуву.

Завданнями дослідження є: побудова та розрахунок просторової моделі будівлі, що експлуатується, сумісно з ґрунтовим масивом її основи з

урахуванням поточного деформованого стану, але без урахування котловану (для порівняння результатів); побудова та розрахунок просторової моделі будівлі, що експлуатується, сумісно з ґрунтовим масивом її основи з урахуванням поточного деформованого стану та з урахування котловану; порівняння результатів розрахунку двох варіантів моделей між собою (переміщень і напружень); порівняння результатів розрахунку двох варіантів моделей з результатами натурного обстеження будівлі, що експлуатується.

**Методика досліджень.** Для визначення впливу процесів, викликаних тривалою наявністю котловану довгобуду, на НДС несучих конструкцій будівлі, що експлуатується поряд, обрана ділянка території м. Запоріжжя, забудованої житловими будівлями у два етапи – 5...6-поверховими у середині 60-х рр. XX ст. і 12...14-поверховими в середині 80-х рр. Ділянка має ухил  $i = 1:23$  і представлена на рис. 1.



- 1 – котлован довгобуду (межі позначено умовно);
- 2 – 5-поверхова житлова будівля, що досліджується;
- 3 – шпунтова стінка;
- 4 – 12-поверхова існуюча житлова будівля;
- 5 – 14-поверхова існуюча житлова будівля.

Рис. 1. Ситуаційний план розташування будівлі та котловану

Основи складені просідаючими ґрунтами, потужність яких складає 24...27 м. Лише до збудованих пізніше 12...14-поверхівок застосовано весь комплекс конструктивних протипросідаючих заходів, в тому числі пальові фундаменти. В побудованих раніше 5-поверхових будівлях

вляштовано лише монолітні залізобетонні пояси жорсткості.



Рис. 2. Загальний вигляд існуючої будівлі, що досліджується

Будівля, що розглядається, безкаркасна цегляна 5-поверхова з цокольним поверхом. Загальний вигляд показано на рис. 2. Нереалізований проект є житловим комплексом, що складається з п'яти секцій – 24, 24, 20, 16 і 9 поверхів. Загальний вигляд представлений на рис. 3.



Рис. 3. Проект житлового комплексу довгобуду

Перші два поверхи незбудованого житлового комплексу відведені під об'єкти обслуговування мешканців мікрорайону. Автомобільний паркінг

передбачений на двох підземних поверхах під усім комплексом. Конструктивна схема секцій комплексу каркасна, зведення передбачалося з монолітного залізобетону. Житловий комплекс і, відповідно, котлован мають в плані складну форму. Глибина котловану складає 10,5 м. Було передбачено пальовий фундамент з палями-стойками.

Будівництво об'єкту розпочалося навесні та припинилося у вересні 2008 року. За проектом було передбачено одну шпунтову стінку 3 (див. рис. 1), яка б зміцнювала відкіс з боку 12-поверхової будівлі, відстань до якої менша за відстань до існуючої 5-поверхівки і складає близько 15 м.



Рис. 4. Вигляд котловану довгобуду станом на січень 2018 року

Найменша відстань від існуючої 5-поверхівки до краю відкосу складає 20 м. Вигляд котловану станом на січень 2018 року показано на рис. 4.

Деформації 5-поверхової житлової будівлі зареєстровані у 2010 році під час обстеження спеціалістами Запорізького відділення Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» після чисельних звернень мешканців. Напрямок деформацій показано на рис. 1. В результаті влаштовано додаткову шпунтову стінку (рис. 5), яка підсилює відкіс з боку 5-поверхівки, а також виконано роботи зі зміцнення ґрунтів основ методом глибинного змішування способом цементації. Подальші деформації не виявлялися.



Рис. 5. Додаткова шпунтова стінка (вигляд станом на січень 2018 року)

Обчислювальний експеримент проводився із застосуванням програмного комплексу «Ліра» версії 9.6 R8 (ПК), що реалізує метод

скінчених елементів, за просторовими розрахунковими моделями, які включають, окрім існуючої будівлі, що розглядається: модель 1 – масив ґрунту основи; модель 2 – масив ґрунту основи з урахуванням котловану довгобуду й замочування стінок і днища котловану. Модель 1 показана на рис. 6, модель 2 – на рис. 7.

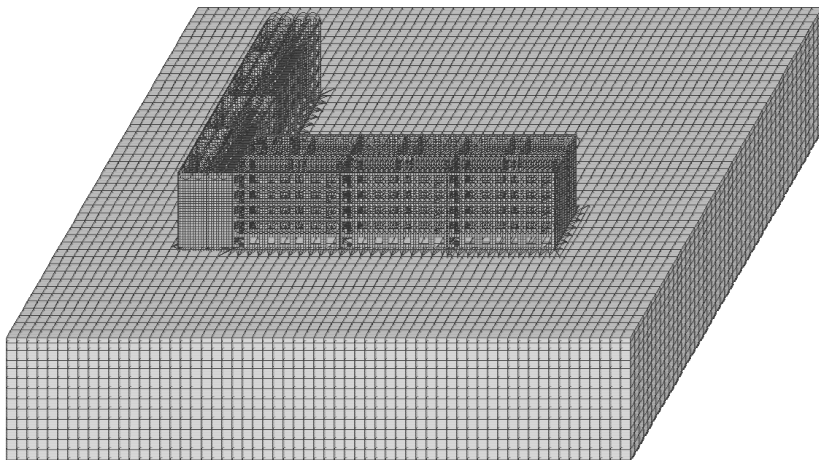


Рис. 6. Розрахункова модель 1 будівлі (без урахування котловану)

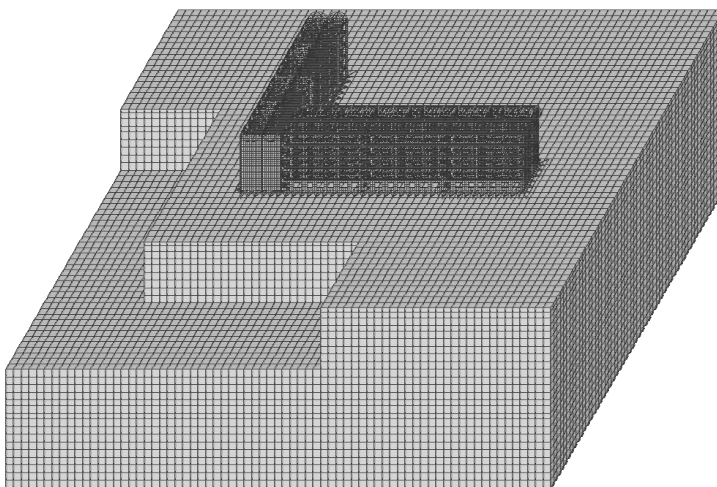


Рис. 7. Розрахункова модель 2 будівлі (з урахуванням котловану)

Елементи ґрунту моделювалися об'ємними скінченими елементами

(СЕ), елементи несучих стін будівлі та її фундаментів – плоскими СЕ, поясів жорсткості та перекриття – стержневими СЕ. Задані в ПК параметри жорсткості СЕ відповідають реальним фізико-механічним характеристикам матеріалу конструктивних елементів, включаючи ґрунти основ. Замочування ґрунту моделювалося виключенням з роботи відповідної сукупності об'ємних СЕ (суттєвим зниженням механічних характеристик).

В розрахунковій моделі враховувалися постійне, корисне, снігове та вітрове навантаження за окремими завантаженнями. Значення навантажень взяті за чинними нормами [12], що також негативно вплинуло на НДС. Навантаження від вітру прикладене з найбільш несприятливого боку будівлі.

В результаті розрахунків одержано значення переміщень вузлів моделей та еквівалентних напружень в елементах за окремими завантаженнями.

**Результати досліджень.** Сумарні переміщення в найбільш небезпечних ділянках розрахункових моделей визначалися додаванням переміщень відповідних вузлів за окремими завантаженнями. Сумарні еквівалентні напруження в найбільш небезпечних елементах розрахункових моделей визначалися додаванням напружень у відповідних елементах за окремими завантаженнями. Результати розрахунку за моделями 1 і 2, а також відхилення розрахункових параметрів між моделями наведені у табл. 1.

Таблиця 1  
Результати розрахунку за моделями 1 і 2 та відхилення розрахункових параметрів

Варіант моделі	Переміщення, мм				Напруження, т/м <sup>2</sup>	
	Вісь X		Вісь Y	Вісь Z	N <sub>S</sub>	N <sub>E</sub>
	max	min	min	min		
1	4,57	-20,24	-21,38	-88,51	-159,681	73,110
2	5,32	-27,78	-30,76	-90,85	-172,348	78,546
Відхилення, %	14,04	27,15	30,49	2,57	7,35	6,92

Максимальне відхилення, одержане для горизонтальних переміщень в напрямку меншої жорсткості будівлі, складає 30,49 % (за окремими завантаженнями горизонтальні переміщення можуть бути більше у декілька разів). Значення переміщень більші за варіантом розрахункової моделі 2 – з урахуванням котловану. Варто зазначити, що значення вертикальних переміщень включають рівномірні осідання будівлі.

Максимальне відхилення еквівалентних напружень складає 7,35 %, причому їх значення також більші за варіантом розрахункової моделі 2 – з урахуванням котловану (за окремими завантаженнями еквівалентні напруження більші на 22,26 %).



Таким чином, при наявності котловану довгобуду з'являються додаткові переміщення та напруження, які погіршують НДС несучих конструкцій та технічний стан будівлі в цілому. У розглянутому випадку ні переміщення, ані напруження не досягли небезпечних величин, але за певних обставин можуть привести до втрати несучої здатності. Треба звернути увагу на те, що відхилення деяких переміщень значні й не могли виникнути лише за рахунок збільшення характеристичних значень навантажень за нормами [12].

Відхилення розрахункових параметрів за варіантом розрахункової моделі 2 – з урахуванням котловану довгобуду – від фактично визначених значень у ході натурного обстеження 2010 року знаходяться в межах 5 % і більші за результатами розрахунку, отже модель, що використовується, можна вважати адекватною реальному НДС несучих конструкцій будівель і споруд.

### **Висновки.**

Одним з чинників, який сприяє замочуванню ґрунтів основ фундаментів існуючих будівель, що експлуатуються поряд з розпочатим новим будівництвом, є незакритий котлован довгобуду, в який потрапляють дощова вода, тала вода від снігу, стікають поверхневі води з прилеглої території. В результаті можливо замочування ґрунту нижче котловану, а також його стінок (відкосів). Крім того, спостерігається загальне ослаблення ґрунтового масиву прилеглої ділянки забудованої території й утворення загрози зсуву. Це призводить до погіршення НДС конструкцій і технічного стану будівель.

В чинній законодавчій та нормативній базі будівництва відсутні детальні вказівки щодо забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, що експлуатуються поряд з новим будівництвом, враховуючи їх фактичний деформований стан і технічний стан в цілому. Розробка таких вимог сприяла б збереженню існуючого житлового фонду.

Результати досліджень останніх років демонструють необхідність урахування при розрахунках конструкцій будівель і споруд поточного технічного стану об'єкту, деформованої схеми, одержаної за результатами натурного обстеження, запроектованих навантажень, що виникають протягом терміну експлуатації будівлі, та не могли бути враховані при проектуванні.

При наявності котловану довгобуду з'являються додаткові переміщення та напруження, які погіршують НДС несучих конструкцій та в цілому технічний стан будівлі, що експлуатується. Значення переміщень і напружень більші за варіантом розрахункової моделі 2 – з урахуванням котловану. Максимальне відхилення еквівалентних напружень складає 30,49 %. Максимальне відхилення еквівалентних напружень складає 7,35 %. Сумарні переміщення та напруження можуть не досягати небезпечних величин, але за певних обставин можуть привести до втрати несучої здатності.

Окрім наявності котловану, при визначенні НДС несучих конструкцій

існуючих будівель в розрахунковій моделі необхідно враховувати інші зовнішні фактори, що виникають в процесі експлуатації об'єкту, зокрема наявність поряд інших будівель і споруд, вплив транспортних потоків, використання важких будівельних машин і механізмів тощо.

Також подальші дослідження можуть проводитись у напрямку визначення залежності НДС конструкцій оточуючих будівель від глибини котловану, куту його відкосів, фізико-механічних характеристик ґрунтів, ухилу поверхні забудованої території, кількості опадів, що потрапляють у котлован на рік, наявності шпунтових стінок та їх стану, розмірів і поверховості будівель, а особливо – від відстані між будівлею, що експлуатується, та межею котловану, що особливо актуально для щільної міської забудови історичних центрів значних і значніших міст.

1. Синий С. В., Линник И. Э., Тихоненко Ю. В. Методы реконструкции жилых кварталов // Комунальне господарство міст : науково-технічний збірник. Харків, 2012. С. 268-272.
2. Осітнянко А. П. Планування розвитку міста. Київ, 2005. 386 с.
3. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій і основ. Київ, 2009. 41 с.
4. Єсипенко А. Д. Наукові основи забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель та споруд : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08. Київ, 2007. 386 с.
5. Улицкий В. М., Шашкин А. Г., Шашкин К. Г. Геотехническое сопровождение развития городов: практическое пособие проектировщика. Санкт-Петербург, 2010. 551 с.
6. Safety Assessment of Existing Buildings and Structures: monography / Eremin K. I. and others. Stockholm, 2016. 268 p.
7. Федченко А. И., Банах В. А., Банах А. В. Обеспечение надежной эксплуатации жилых зданий массовой застройки в условиях ограниченной информации // Строительство. Материаловедение. Машиностроение : сб. науч. трудов. – Днепропетровск, 2015. Вып. 82. С. 6-13.
8. Ромашкіна М. А. Вплив запроектних навантажень на напружено-деформований стан конструкцій будівель та споруд : дис. ... к-та техн. наук : 05.23.01. Київ, 2016. 152 с.
9. Шкода В. В., Сьомчина М. В., Шкода А. В. Вплив місця розташування джерела замочування просідаючих ґрунтів основи на зміни напружено-деформованого стану несучих стін будівель // Містобудування та територіальне планування : науково-технічний збірник. Київ, 2017. Вип. 63. С. 509-514.
10. Федченко А. И., Банах В. А., Самойленко Л. Е. Анализ зависимости проверочных расчетов крупнопанельного здания при реконструкции от особенностей его эксплуатации // Мир науки и инноваций : сб. науч. трудов. Иваново, 2015. Вып. 2. Том 3. С. 74-83.
11. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. Київ, 2009. 104 с.
12. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. Киев, 2006. 78 с.