

Д.Е. Прусов, канд. техн. наук,

В.М. Бадах, канд. техн. наук.

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

АНАЛІЗ ВПЛИВУ НОВОГО БУДІВНИЦТВА НА ІСНУЮЧУ ПРИЛЕГЛУ ЗАБУДОВУ З УРАХУВАННЯМ ГІДРОСТАТИЧНОГО ТИСКУ

Рассматривается методология анализа влияния нового строительства на существующую окружающую застройку с учетом гидростатического давления для моделирования и определения устойчивости грунтовых оснований во взаимодействии с ограждающими и заглубленными конструкциями при проведении реконструкции городских территорий в сложных инженерно-геологических условиях с целью прогнозирования возможных последствий.

The methodology of the impact analysis of new construction on the existing surrounding buildings has been considered with the hydrostatic pressure to simulate and determine the stability of the soil bases due to interaction with the enclosing and recessed structures during reconstruction of urban areas in the difficult engineering-geological conditions with a view to predict the possible consequences.

Вступ

Реконструкція міської території є однією з фундаментальних проблем містобудування, що пов'язана з вирішенням цілої низки окремих вузькогалузевих питань з дослідження інженерно-технічних, соціально-економічних та екологічних проблем формування життєвого середовища. Це включає конструювання систем населених місць, їх планування й забудови, які на сьогодні мають значну розгалуженість теоретичних розробок, а зважаючи на величезний досвід містобудівної науки, мають бути взаємопов'язані між собою та повинні вирішуватись у комплексі вивчення фундаментальних проблем містобудування, визначення станів складного комбінованого середовища. Воно включає систему ґрунтових основ, фундаментів та конструкцій будівель і споруд, аналізу стійкості ділянок міської території протягом її реконструкції, та особливо у напрямі збереження існуючої забудови, прогнозування наслідків та захисту територій.

Реконструкцію об'єктів міського господарства пов'язано з максимальним використанням наземного і підземного простору в межах районів, на території яких необхідно будувати сучасні будівлі і споруди, об'єкти транспортної інфраструктури та інші інженерні споруди.

У процесі реконструкції районів за умов щільної міської забудови виникають певні труднощі, пов'язані зі збереженням незмінності існуючого напружено-деформованого стану (НДС) основ під ними, особливо в зонах складних геологічних умов.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз свідчить, що будівництво в умовах щільної забудови створює в кожному випадку сукупність додаткових ризиків, які необхідно брати до уваги при плануванні реконструкції міської території, розробці проект-

ної і проектно-технологічної документації, організації нового будівництва, подальшої безпечної експлуатації нових об'єктів та оточуючої забудови.

Для прилеглих об'єктів існуючої забудови будівництво може створити ризик ушкоджень, порушення нормальної експлуатації, деформації конструкцій, а іноді і аварій у результаті порушення ґрунтових основ при виконанні поблизу земляних робіт по розробці глибоких котлованів; ущільнення і переміщення ґрунту в активній зоні у результаті додаткових навантажень від нової будови, динамічних навантажень на основи від зведення огорожувальних конструкцій із застосуванням шпунта, паль і анкерів; деструктивних процесів — ерозії, зсувів, карсто-суффозійних явищ, промерзання, опадів поверхні, зміни усталених умов гідрогеології, і пов'язаних з цим підтоплень або осушення забудованих територій; вібраційних чи динамічних впливів від роботи будівельної техніки; та, крім цього, порушення нормальних умов інсоляції, вентиляції, інженерного забезпечення, благоустрою об'єктів існуючої забудови [2, 3].

Аналіз факторів впливу нового будівництва на проектні рішення з реконструкції районів з щільною міською забудовою, коли необхідно застосовувати різні спеціальні заходи зі зміцнення та захисту територій, можна проводити лише засобами чисельного моделювання, які потребують вирішення відповідних проблемних завдань з використанням обґрунтованої фізико-математичної моделі, яка найбільш коректно описує нелінійні процеси деформування матеріалу середовища, в тому числі матеріалу ґрунту, а також у виборі розрахункових схем і реалізації спеціальних алгоритмів розрахунку, які забезпечують достовірність результатів розрахунку. Ситуація ускладнюється ще й тим, що на сьогодні відсутні універсальні методи і моделі, які можна застосовувати до будь-якого матеріалу і середовища.

Мета роботи і постановка задачі

При будівництві в умовах щільної забудови населених місць одним з основних питань є забезпечення збереження існуючих прилеглих будівель, які розташовані в зоні впливу нового будівництва або реконструкції. Одним з найважливіших факторів, які визначають якісний стан об'єктів промислового, цивільного і транспортного будівництва, є міцність і відсутність тріщин і місцевих руйнувань в конструкціях будівель і споруд у весь період експлуатації.

При цьому нове будівництво в межах забудованих територій впливає на стійкість прилеглих територій, змінює їх режим і викликає значні зміни в напружено деформований стан будівель і споруд прилеглої забудови.

Теоретичними основами запропонованої методології досліджень стійкості ґрунтової основи ділянки міської території є співвідношення нелінійної теорії пружності, що передбачає визначення величини другого критичного навантаження, при якому у ґрунтовому півпросторі виникають суцільні ділянки граничного напруженого стану. Для описування процесу розвитку зсувних деформацій ґрунту використовується розширений критерій пластичної течії Мізеса для незв'язаних ґрунтів, або критерій Друкера–Прагера для зв'язаних ґрунтів плоскодеформованого півпростору. Критерій стійкості або текучості ґрунтового півпростору для окремої локальної однорідної ізотропної області пропонується у найбільш точній та універсальній формі на основі розширеного критерія Мізеса за рахунок включення в його загальну квадратичну форму залежностей від шарового тензора функції загальних напружень — внутрішнього гідростатичного тиску.

З фізичної точки зору, критерій текучості не залежить від орієнтації обраної матеріальної системи координат і тому може бути функцією від трьох інваріантів тензору напружень, але враховуючи, що перший інваріант тензор-девіатора напружень дорівнює нулю, то критерій текучості є функцією від двох інваріантів тензора-девіатора напружень. Представимо тензор напружень у відліковій конфігурації сумою двох складових: шарового тензора і тензор-девіатора:

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{3} I_1(\hat{\sigma}) \hat{G} + dev \hat{\sigma} = \hat{\sigma}_{(v)} + \hat{S}.$$

Шаровий тензор $\hat{\sigma}_{(v)}$ визначає гідростатичний тиск у деформованому тілі.

Існуючі напівемпіричні методи свідчать, що початковий модуль пружності, отриманий з урахуванням навколишнього обмежуючого тиску в середовищі ґрунтового масиву, помітно збільшується із збільшенням питомої ваги ґрунту і є наближено пропорційним обмежуючому - гідростатичному тиску [1]. Окрім того, на величину виміру модуля пружності з глибиною ґрунтового півпростору впливає неоднорідність шарів ґрунтового масиву - взаємодія окремих шарів багатшарової системи при відсутності урахування тертя між ними. Реалізація впливу умов гідростатичного тиску та багатшаровості на фізико-механічні властивості ґрунтового ма-

сиву полягає у введенні аргументу глибини півпростору, який фактично визначає гідростатичний тиск γz , у зв'язку з чим запропоновано наступні залежності модуля загальної деформації $E_0(z)$ від глибини:

$$E_0(z) = K_S E_0^S; \quad K_S = K_U \sqrt{\gamma_S z_S},$$

де E_0^S — загальний модуль деформації ґрунту певного шару за даними інженерно-геологічних розвідок; K_U — коефіцієнт умов роботи ґрунтового півпростору, в якій за даних умов прийнято: $K_U = 1,25$; γ_S — питома вага ґрунту даного шару S ; $S = 0-7$; Z_S — координата за глибиною від планувальної відмітки до середини шару.

Вищевикладене визначає зміну загального модуля деформації ґрунту в залежності від параметра глибини ґрунтового півпростору, що дозволяє враховувати відхилення властивостей ґрунтового масиву від властивостей ізотропного тіла внаслідок наявності в масиві шаруватості та певної анізотропії.

Зазначена методологія чисельних досліджень неоднорідного півпростору з урахуванням геометричної та фізичної нелінійності в постановці задачі базується на основі нелінійної теорії пружності і пластичності, та використовується у розв'язку задач нелінійної механіки ґрунтів за граничною рівновагою ґрунтових масивів при взаємодії з огорожувальними конструкціями глибоких котлованів та елементами фундаментів нових та існуючих будівель [7, 8].

В основу запропонованої методології покладено узагальнення залежностей механіки ґрунтів для отримання фізичних закономірностей, у тому числі рівнянь стану в просторах з використанням теорії пластичної течії, розв'язок задач теорії стійкості ґрунтового півпростору в плоскій постановці задачі з використанням методу скінченних елементів.

Вихідна варіація рівняння руху у відповідності з енергетичними методами описує рівновагу елементарного об'єму довільного суцільного середовища незалежно від його фізико-механічних властивостей. У запроєктованій методиці реалізується прикладний підхід варіаційних принципів і теорії граничного напруженого деформованого тіла, коли отриманні розв'язки пов'язано з розподілом пружних областей на пружні і непружні з розвинутими зонами пружно-пластичних областей (зсувних для ґрунтів деформацій). Вихідна скінченно-елементна модель у процесі деформування трансформується у відповідності з критерієм текучості (руйнування) ґрунтового масиву і поділяється на дві зони визначення напружено-деформованого стану: пружну і пружно-пластичну з використанням поверхні навантаження за критерієм Кулона–Мора з урахуванням інваріанту тензор-девіатора функції напружень через інваріант Лоде–Надаї. Також у запропонованій методології використовується розширений модифікований критерій текучості Мізеса, що дає можливість отримати точніші розв'язки задач стійкості комбінованого багатшарового півпростору [9, 10].

Практичне застосування запропонованої методології аналізу впливу нового будівництва на існуючу прилеглу забудову проведено у рамках науково-технічного супро-

воду проектування та будівництва житлового будинку з вбудовано-прибудованими офісними приміщеннями та підземним паркінгом у міському районі зі щільною забудовою.

При виконанні робіт з аналізу та визначення факторів впливу нового будівництва на існуючу забудову проведено наступне:

- визначення фізико-механічних характеристик шарів ґрунтового півпростору за даними інженерно геологічних досліджень;
- корекція властивостей ґрунтів багат шарового півпростору за приведеними формулами;
- визначення фізико-механічних характеристик включень у півпростір бетонних та залізобетонних елементів;
- визначення розрахункового навантаження на 1 м^2 площі ростверка;
- визначення еквівалентних геометричних і фізико-механічних властивостей перерізу ростверка;
- визначення приведенного навантаження на обрізі фундаментів 5-поверхової існуючої житлової будівлі.

На основі визначених вихідних даних дискретної моделі півпростору побудовано розрахункову схему взаємодії огорожувальних конструкцій котловану, пальових фундаментів нової житлової будівлі та фундаментів існуючого житлового будинку із ґрунтовим півпростором.

Із застосуванням запропонованої методології аналізу впливу нового будівництва на існуючу прилеглу забудову проведено проектно-розрахункові дослідження з виконанням чисельних розрахунків півпростору на глибину $41,0 \text{ м}$ у центральному перерізі досліджуваного майданчика з довжиною $150,0 \text{ м}$.

Дискретна модель та розрахункова схема багат шарового ґрунтового півпростору за наявності включень конструкцій огорож котловану, фундаментів нової будівлі, існуючих споруд та порожнин містить горизонтальні шари ґрунту з відповідними фізико-механічними властивостями всіх включень.

Сіткова область дискретної моделі є регулярною із розмірами $2 \times 25 \times 104$. Таким чином, число вузлів сіткової двошарової області дорівнює 5200 . Відповідно число нелінійних рівнянь складає систему з 15600 рівнянь без урахування накладених граничних умов.

Сіткова область описує дискретну скінченно-елементну модель із 2472 скінченних плоских елементів, включаючи порожнини з межами, що визначається сітковими координатами початкового і кінцевого вузлів регулярної області.

Результати чисельних розрахунків

Результати чисельних розрахунків дискретної моделі комбінованого півпростору отримано з використанням нової моделі рівнянь стану багат шарового ґрунтового масиву для конкретної задачі у двох варіантах:

1) Взаємодія огорожувальної конструкції котловану із ґрунтовим півпростором та фундаментами і основою існуючої житлової п'ятиповерхової будівлі, коли активний тиск на підпірну "стіну в ґрунті" перевищує пасивний тиск опору ґрунту в основі котловану під будівлю, яка проектується;

2) Взаємодія огорожувальної конструкції та пальового фундаменту з ростверком із ґрунтовою масою та основою і фундаментом існуючої п'ятиповерхової будівлі, коли пасивний тиск перевищує первинний активний тиск від існуючої будівлі і виконує функцію активного тиску.

Вирішено задачу зміни тисків на огорожувальну конструкцію у часі та визначенні зміна напружено-деформованого стану самої огорожувальної конструкції і основи існуючого житлового будинку. Визначено зміна деформування основи 5-поверхового будинку, тобто коливання ґрунтової основи та максимальна амплітуда нерівномірної осадки фундаментів існуючої будівлі, що і є критерієм визначення впливу суміжного будівництва у міській зоні на стан основ і фундаментів суміжних будівель [4–6].

Результати наукових досліджень засвідчили, що за результатами першого варіанту чисельних розрахунків достатньо запроєктувати захисний екран огорожувальних конструкцій на глибину $10\text{--}12 \text{ м}$, але за результатами другого варіанту за наявності коливань активного і пасивного тиску на огорожувальну "стіну в ґрунті" необхідно запроєктувати екран на глибину $17,0 \text{ м}$, при цьому максимальна амплітуда нерівномірних осадок майже наближається до граничної відносної нормативної величини, тому глибина 17 м є гранично допустимою.

Перший варіант розрахунку — взаємодія огорожувальних конструкцій та фундаментів існуючої будівлі із ґрунтовим півпростором при вільному котловані.

Перший варіант розв'язання цієї проблемної задачі є, як правило, найбільш небезпечним з точки зору стійкості відкосу котловану.

Розрахунок реалізовано при трьох значеннях глибини "стіни в ґрунті" - $17,2 \text{ м}$, $12,6 \text{ м}$ і $10,3 \text{ м}$. Результати за осадкою існуючих фундаментів майже однакові. Відповідно характеру переміщень вільного днища котловану спостерігається випір ґрунту в центрі котловану.

Відповідно до вертикальних переміщень підосви фундаменту існуючого 5-поверхового будинку середня нерівномірна осадка на півпрогоні довжини фундаменту дорівнює: $4,56 / 2200 = 0,0021 < 0,0024$, тобто менша за нормативний нерівномірний поворот за годинниковою стрілкою, як рухається сповзаюча призма при активному тиску, з поперечним зміщенням підпірної стіни при її повороті як суцільного цілого за годинниковою стрілкою. При такому повороті внутрішні зусилля складають 50% запасу міцності підпірної стінки.

Другий варіант розрахунку — взаємодія огорожувальних конструкцій, пальових фундаментів нової будівлі та фундаментів існуючого житлового будинку із ґрунтовим півпростором при повному навантаженні. Чисельними результатами є переміщення, осадки і внутрішні зусилля.

За другим варіантом, осадка фундаментів існуючої будівлі у центрі по довжині майже не змінилась порівняно з першим варіантом і склала $U_{4459}^{2'} = 26,17 \text{ см}$. Але

поворот середній підшви змінився на протилежний: у першому варіанті $+tg\alpha=0,0021$, у другому — $tg\alpha = 0,0023$ через те, що призма утворюється за пасивним тиском на підпірну стінку з боку пальового фундаменту нової будови.

Осадка пальового фундаменту є пальною і симетричною з максимальним значенням до 42,28 см при розпорі $\pm 2,48$ см. Ця осадка розрахована при коефіцієнті надійності $K_b = 1,4$. Нерівномірність осадки складає 6,7 см при півпрогоні 17 м, тобто $6,7/1700=0,0038 < 0,0044$. При цьому крен утворюється лише на 0,5 см.

Якщо проаналізувати результати переміщення поперечних перерізів підпірної стінки, то вони майже протилежні першому варіанту, при цьому згинальний момент збільшився до 41,69 тм і майже втратив той запас міцності, який був у першому варіанті.

Висновки

Вплив нової будівлі на існуючу найближчу будівлю п'ятиповерхового житлового будинку виявився суттєвим. Спостерігається зміна тисків на захисну огорожувальну конструкцію, що викликає гранично-допустимі осадки підшви фундаментів і зміну кренів.

Величина усадок не викликатиме розвиток тріщиноутворення, але захисний екран — огорожувальна конструкція у межах сполучення з цією будівлею повинна бути влаштована на глибину, не меншу 17,0 м, і діаметром не меншим 600 мм.

При проектуванні об'єктів будівництва за умов щільної забудови є необхідним комплекс заходів із забезпечення безпеки будівництва з подальшим моніторингом, який передбачає натурні спостереження технічного стану об'єкта будівництва, прилеглої забудови, інженерно-геологічної та екологічної ситуації, на прилеглий території, і стабілізаційним періодом експлуатації об'єкта.

Зазначений комплекс заходів передбачає інженерні дослідження ділянки будівництва за умов щільної забудови для розробки проектних рішень і методів будівництва об'єкта, які забезпечують збереження експлуатаційних якостей прилеглих об'єктів і дотримання вимог техногенної безпеки.

При проектуванні об'єкта будівництва за умов щільної забудови необхідно обирати об'ємно-планувальні і конструктивні рішення з урахуванням впливу згублених споруд на існуючі будівлі та передбачати огорожувальні конструкції для зміцнення стін котловану, а зведення фундаментів нового об'єкта проектується з урахуванням їх впливу на напружений стан основ існуючих об'єктів і забезпечення можливості їх незалежного осідання.

Література

1. Баженов, В.А. Метод скінченних елементів у задачах нелінійного деформування тонких та м'яких оболонок / В.А. Баженов В.А., В.К. Цихановський, В.М. Кислоокій. — К.: КНУБА, 2000. — 386 с.
2. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки: ДБН В.1.2-12-2008. — Офіц. вид. — К.: Мінрегіонбуд України, 2008. — 34 с. (Державні будівельні норми України).
3. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92**. — Офіц. вид. — К.: Мінбуд України, 2002. — 96 с. (Державні будівельні норми України).
4. Навантаження і впливи: Норми проектування: ДБН В.1.2-2:2006. — Офіц. вид. — К.: Мінбуд України, 2006. — 58 с. (Державні будівельні норми України).
5. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-2009. — Офіц. вид. — К.: Мінрегіонбуд України, 2009. — 107 с. (Державні Будівельні Норми України).
6. Інженерні вишукування для будівництва: ДБН А.2.1-1-2008. — Офіц. вид. — К.: Мінрегіонбуд України, 2008. — 87 с. (Державні Будівельні Норми України).
7. Кислоокій, В.Н. К решению задач определения неравномерных осадок оснований существующих зданий от влияния смежного строительства / В.Н. Кислоокій, В.К. Цыхановский, Д.Э. Прусов // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник. — К.: КНУБА, 2012. — Вип.43. — С. 161—172.
8. Прусов, Д.Е. Застосування уточнених чисельних методів визначення стійкості ґрунтового масиву при реконструкції об'єктів у складних інженерно-геологічних умовах / Д.Е. Прусов, В.М. Бадах // Всеукраїнський зб. наук. праць: "Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини". — К.: КНУБА, 2010. — № 76. — С. 77—82.
9. Цихановський, В.К. Метод скінченних елементів у задачах дослідження неоднорідного півпростору з урахуванням геометричної і фізичної нелінійності / В.К. Цихановський, Д.Е. Прусов // Опір матеріалів та теорія споруд: Наук.-техн. зб. — К.: КНУБА, 2004. — Вип.75. — С. 87—98.
10. Цихановський, В.К. Нелінійна задача граничної рівноваги ґрунтових масивів при взаємодії з огорожувальними конструкціями / В.К. Цихановський, Д.Е. Прусов // Промислове будівництво та інженерні споруди. — К.: Сталь, 2009. — №4. — С. 12—17.

Надійшла 15.03.2013