

УДК 613. 539.3:624,071:624.04

Д.Е.Прусов

## ПРОБЛЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ГЛИБОКИХ КОТЛОВАНІВ В УМОВАХ ЩІЛЬНОЇ ЗАБУДОВИ

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

Останнім часом будівництво в містах України проводиться в умовах щільної забудови у складних геологічних обставинах з максимальним використанням підземного простору для влаштування підземних частин будівельних об'єктів. При цьому таке будівництво проводиться в межах забудованих територій, що впливає на стійкість прилеглих територій, та змінює їх режим і викликає значні зміни в напружено-деформованому стані будинків і споруд прилеглої забудови.

**Постановка проблеми.** Будівництво в умовах щільної забудови створює у кожному випадку сукупність додаткових ризиків, які необхідно брати до уваги при розробці проектної та проектно-технологічної документації, організації будівництва, подальшої безпечної експлуатації об'єктів [2].

Для прилеглих об'єктів існуючої забудови будівництво може створити ризик пошкоджень, порушення нормальної експлуатації, деформації конструкцій, а іноді і аварій внаслідок порушення ґрунтів основ при виконанні поблизу земляних робіт з розробки глибоких котлованів; ущільнення і переміщення ґрунту в активній зоні основ внаслідок додаткових навантажень від нової будівлі, динамічних навантажень на основу від улаштування огороджуючих конструкцій глибоких котлованів із застосуванням шпунта, палі та анкерів; деструктивних процесів – ерозії, зсувів, карстово-суфозійних явищ, проморожування, осідання земної поверхні, зміни усталених гідрогеологічних умов та пов'язаних з цим підтоплення або осушення забудованих територій; вібраційних чи динамічних впливів від роботи будівельної техніки; і, крім цього, порушення нормальних умов інсоляції, вентиляції, інженерного забезпечення, благоустрою об'єктів існуючої забудови.

При проектуванні об'єктів будівництва в умовах 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, та стабілізаційним періодом експлуатації об'єкта.

Зазначений комплекс заходів передбачає інженерні вишукування ділянки будівництва в умовах 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 в умовах щільної забудови необхідно обирати об'ємно-планувальні і конструктивні рішення з урахуванням впливу глибоких котлованів та заглиблених споруд на існуючі будівлі та споруди та передбачати огорожуючі конструкції для утримання стін котловану [3], а влаштування фундаментів нового об'єкта проектується з урахуванням їх впливу на напружений стан основ існуючих об'єктів та забезпечення можливості їх незалежного осідання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, дає підставу вважати, що міцність будинків і споруд залежить від характеристик міцності ґрунтової основи та комплексу причин і чинників, що здатні впливати на їх зміну. Ґрунти, як правило, являють собою складні дисперсні системи, фізико-механічні характеристики яких можуть змінюватися під впливом різних причин та чинників.

Одними з визначальних чинників, що впливають на конструктивну схему конструкцій укріплень, економічність прийнятих проектних рішень є величини деформацій ґрунту в основах споруд, що розташовані неподалік.

Складність процесів та значна кількість чинників, що виникають в природній основі при влаштуванні укріплень, їх зміни в часі та ін. розрахунками враховуються недостатньо. Деформації огорожуючих конструкцій, явища суфозії, випору, порушення стійкості та ін. приводять до зміни структури і зниження механічної міцності ґрунтів, фільтраційним деформаціям і деформаціям поверхні землі, є одними з основних чинників, що викликають аварійні руйнування конструкцій будівель і споруд [1].

У спорудах огорожі котлованів одним з визначальних чинників, що впливають на їхню конструктивну схему і на економічність прийнятих проектних рішень, є горизонтальний тиск ґрунту на огорожу, величини деформацій ґрунту в основах споруд, що розташовані неподалік від кордону котловану, які на сьогоднішній день для складних інженерно-геологічних умов вивчені недостатньо.

**Метою роботи** і задачами досліджень є створення методології проектування огорожуючих конструкцій глибоких котлованів для безпечного будівництва в умовах щільної забудови, на основі вдосконалення існуючої математичної моделі ґрунту з врахуванням його шаруватої структури та

включенням окремого шару слабких ґрунтів, який істотно впливає на напружено-деформований стан огорожі котлованів та основ і фундаментів прилеглої забудови.

Як приклад розглядається проблема будівництва підпірних стін огорожуючих конструкцій глибоких котлованів в умовах щільної забудови (рис.1). В інженерно-геологічному відношенні ділянка, відведена під будівництво, характеризується досить складними інженерно-геологічними умовами. Це обумовлено наявністю значної потужності насипних ґрунтів з низькими міцнісними показниками, високим рівнем підземних вод, та розташуванням ділянки на схилі.



Рис.1. Загальний вигляд влаштування глибокого котловану та підпірної стіни в умовах щільної забудови.

Геологічна будова ділянки складена пісками, супісками, суглинками і глинами, перекритими з поверхні насипним ґрунтом потужністю до 12 м. Гідрогеологічні умови характеризуються 2 водоносних горизонтів. Для визначення основних показників фізико-механічних властивостей ґрунтів були виконані лабораторні дослідження, які були доповнені польовими методами, проведеними на об'єкті. До початку нового будівництва зсувних процесів на території не спостерігалось, що було обумовлено раніше виконаними протизсувними заходами та було підтверджено виконаними розрахунками стійкості природніх схилів. До початку будівництва був виконаний повний

комплекс протизсувних заходів. Вся запроектована підпірна стіна облаштована буроін'єкційними палями з влаштуванням застінних дренажів. При проектуванні були враховані заходи по виключенню деформацій прилеглих будинків і споруд, а на період будівництва за існуючими будівлями був встановлений інструментальний нагляд.

Втім після влаштування глибокого котловану та підпірної стіни виникла аварійна ситуація, яка спричинила появу зсувів досить великих об'ємів, і, як наслідок, деформацій будівель і споруд, що розташовані поруч (рис.2).



Рис.2. Аварійна ситуація з появою зсувів досить великих об'ємів, і, як наслідок, деформацій будівель і споруд, що розташовані поруч влаштування глибокого котловану та підпірної стіни.

Це потребує ретельного аналізу впливу глибокого котловану на прилеглу забудову, проведення додаткових експериментальних та науково-дослідних робіт з використанням запропонованої методології проектування огорожуючих конструкцій глибоких котлованів для безпечного будівництва в умовах щільної забудови, що може призвести до значного коригування деяких параметрів запроектованої огорожуючої конструкції підпірної стіни.

Тому проблема визначення впливу комплексу чинників на прилеглу забудову представляється актуальною і її вирішення є пріоритетною задачею; а створення та розвиток ефективних методів розрахунку і досліджень будівельних конструкцій, що найбільш повно враховують специфіку взаємодії з ґрунтовим півпростором, а також впливу неоднорідних включень порід з різними фізико-механічними характеристиками в ґрунтовій основі, та встановлення залежностей по визначенню деформованого стану конструкцій, специфіку конструктивних рішень та інші особливості на даних ґрунтових основах, на основі математичного моделювання з використанням

автоматизованих засобів досліджень та проектування є актуальною і важливою прикладною задачею.

Для досягнення сформульованої мети розглянута проблема стійкості ґрунтового відкосу при взаємодії з конструкціями огороження глибокого котловану та основою існуючої будівлі та вирішуються наступні задачі:

— розробка математичної моделі та методу дослідження конструкцій у взаємодії з неоднорідним ґрунтовим півпростором на основі нелінійної теорії пружності і пластичності;

— розвиток механічної моделі стійкості ґрунтового півпростору на основі розширеного критерію текучості;

— розробка основних співвідношень методу скінчених елементів на основі ефективної схеми з урахуванням геометричної і фізичної нелінійності у постановці задачі;

— розробка спеціального алгоритму розв'язку систем нелінійних рівнянь дискретної моделі плоско-деформованого неоднорідного ґрунтового півпростору;

— створення сучасного автоматизованого програмного комплексу для дослідження та проектування конструкцій у взаємодії з ґрунтовим півпростором;

— проведення чисельних та експериментальних досліджень для підтвердження достовірності здобутих результатів;

— виявлення закономірностей розвитку деформацій конструкцій, що знаходяться у взаємодії з ґрунтовим півпростором, з урахуванням неоднорідної ґрунтової основи, суфозії та випору ґрунту.

— аналіз та узагальнення результатів досліджень, впровадження у науково-дослідну роботу, проектну діяльність та в навчальний процес, а також перспективи подальших розвідок [7, 8].

У розрахунковій схемі задачі передбачено дискретне моделювання плоского ґрунтового неоднорідного (багатошарового) півпростору з наявністю порожнин (котлованів новобудов, підземних приміщень існуючої забудови), включень (елементів огорожуючих конструкцій, захисних екранів, фундаментів прилеглих будівель і споруд).

Результати дослідження напружено-деформованого стану ґрунтового багатошарового півпростору, що розглядається, показують, що першими у критичний стан (за наявністю пластичних деформацій, коли функція навантаження (2) стає більше нуля) переходять скінченні елементи, які локалізуються в околі контакту залізобетонної стіни в ґрунті з прилеглими в ґрунті СЕ. На рис. 1 показані зони розвитку пластичних деформацій — символом "х" помічені скінченні елементи, в яких мають місце пластичні

(зсувові) деформації.

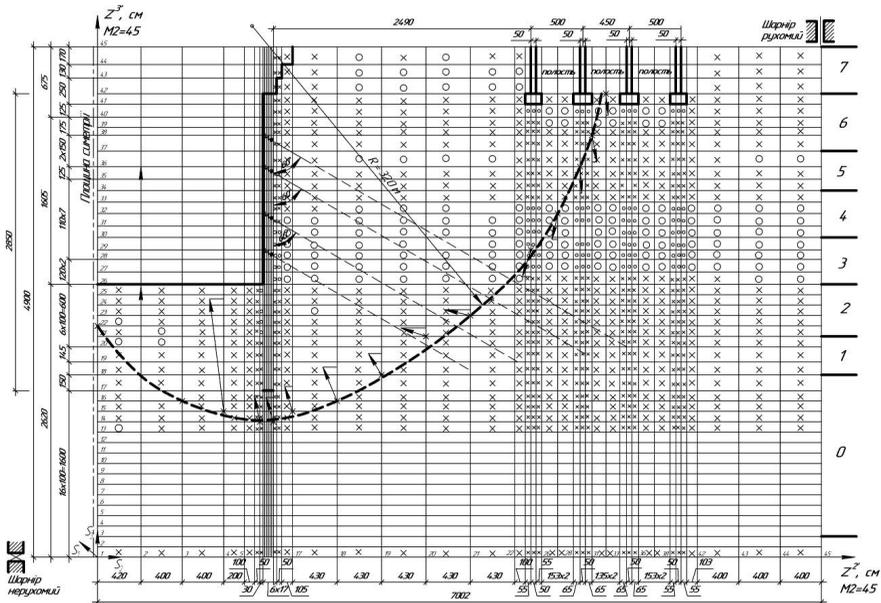


Рис.3. Розрахункова схема та дискретна модель ґрунтового півпростору, розвиток пластичних деформацій і модель поверхні ковзання ґрунтової призми.

**Висновки.** Отримані залежності впливу неоднорідної ґрунтової основи на напружено-деформований стан огорожуючих конструкцій, а також вплив на існуючу прилеглу забудову мають цілком певну практичну значимість.

Аналіз результатів досліджень закритичного стану рівноваги багат шарового ґрунтового масиву при його взаємодії з огорожуючими конструкціями глибоких котлованів за наявності поряд розташованих існуючих споруд та порівняння отриманих результатів із натурними спостереженнями достатньо узгоджуються, особливо з урахуванням реалізації моделі поперечної анізотропії шарів багат шарового півпростору.

На основі запропонованої методики розроблений програмний комплекс, за допомогою якого можуть виконуватися уточнені розрахунки міцності і стійкості огорожуючих конструкцій при наявності слабких прошарків ґрунтів у сумішному ґрунтовому півпросторі [9]. Цей програмний комплекс може бути запроваджений у практику проектування на ділянках щільної забудови міста, при необхідності оцінки міцності та стійкості конструкції укріплення

грунтового масиву, прослідкувати зміни напружено-деформованого стану основ фундаментів прилеглих існуючих будівель та надати оцінку їх нерівномірної осадки.

Створена на їх основі методика розрахунків дозволяє враховувати характер неоднорідностей ґрунтових основ при будівництві та реконструкції забудови та визначати вплив включень ґрунтових елементів різної потужності на пружно-деформований стан конструкцій, що знаходяться у взаємодії з ґрунтовою основою в складних геологічних умовах та особливо в умовах тісної прилеглої забудови. На основі виконаних досліджень виконані пояснення щодо ситуації, що склалася на даному об'єкті, та розроблені рекомендації по впливу неоднорідних ґрунтових основ на напружено-деформований стан огорож котлованів, основ та фундаментів прилеглої забудови, які використані при реконструкції та забудові окремих ділянок в місті Києві та інших містах України.

Таким чином, методика визначення напружено-деформованого стану огорож глибоких котлованів, основ і фундаментів, та конструкцій будинків і споруд, що розташовані поблизу котлованів, при наявності неоднорідностей та слабких прошарків в основі та розвитку випору чи суфозії ґрунтів, дозволяє обґрунтувати оцінку впливу заглиблених споруд на прилеглу забудову населених місць, забезпечити безпечне будівництво та зменшити ризики негативного впливу при будівництві в умовах щільної забудови.

### Список літератури.

1. Харр М.Е. Основы теоретической механики грунтов. – М.: Изд-во лит. по стр-ву, 1971.-320с.
2. Цытович Н.А., Тер-Мартirosян З.Г. Основы прикладной геомеханики в строительстве. – М.: Высш. шк., 1981.-317с.
3. Прагер В. Введение в механику сплошных сред. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963.-312с.
4. Теллес Д.К.Ф. Применение метода граничных элементов для решения неупругих задач. – М.: Стройиздат, 1987. –160 с.
5. Баженов В.А., Цихановський В.К., Кислоокій В.М. Метод скінченних елементів у задачах нелінійного деформування тонких та м'яких оболонок. – К.: КНУБА, 2000. – 386с.
6. Шимановский А.В., Цыхановский В.К. “Теория и расчет сильно нелинейных конструкций” – Видавництво “Сталь”, Київ, 2005. – 432 с.
7. Цихановський В.К., Прусов Д.Е. Метод скінченних елементів у задачах дослідження неоднорідного півпростору з урахуванням геометричної і фізичної нелінійності // Опір матеріалів та теорія споруд: Наук.-техн. збірник.–

Вип.75.– Київ, КНУБА.– 2004.– С. 87–98.

8. Цихановський В.К., Прусов Д.Е. Методика моделювання елементів покриттів у взаємодії з неоднорідним ґрунтовим півпростором // Опір матеріалів та теорія споруд: Наук.-техн. збірник. – Вип.76. – Київ, КНУБА. – 2005. – С. 87–98.

9. Прусов Д.Е. Програмний комплекс досліджень взаємодії огорожуючих конструкцій з ґрунтовими масивами // Будівництво України. – 2008. – № 3. – С. 18 – 23.

10.Цытович Н.А. Механика ґрунтов. – М.: Гос. Изд-во лит. по стр-ву, архит. строит. материалам, 1963. – 635с.

11. Гольдштейн М.Н. Механические свойства ґрунтов - М.: Стройиздат, 1973.– 293с.

12. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. – М.: Наука. Глав. ред. физ.-мат. лит., 1977. – 415с.

#### **АНОТАЦІЯ**

Проведений аналіз проблем проектування огорожуючих конструкцій глибоких котлованів в умовах щільної забудови. Наведені основи методології дослідження і проектування огорожуючих конструкцій для безпечного будівництва, на основі вдосконалення математичної моделі ґрунту з врахуванням його шаруватої структури та включенням окремого шару слабких ґрунтів, який істотно впливає на напружено-деформований стан огорожі котлованів та основ і фундаментів прилеглої забудови.

#### **АННОТАЦИЯ**

Проведен анализ проблем проектирования ограждающих конструкций глубоких котлованов в условиях плотной застройки. Приведены основы методологии исследования и проектирования ограждающих конструкций для безопасного строительства, на основе усовершенствованной математической модели ґрунта с учетом его слоистой структуры и включения отдельного слоя слабых ґрунтов, который существенно влияет на напряженно-деформированное состояние ограждений котлованов, оснований и фундаментов прилегающей застройки.