

УДК 624.016.7

© В.І. Тимощук, В.В. Тішков, Ю.І. Демченко

**ПАРАМЕТРИ ЗАКРІПЛЕННЯ БОРТІВ БУДІВЕЛЬНОГО КОТЛОВАНУ  
В НЕРІВНОМІРНО НАВАНТАЖЕНОМУ ГРУНТОВОМУ МАСИВІ В  
УМОВАХ ЩІЛЬНОЇ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ**

© V. Tymoshchuk, V. Tishkov, Y. Demchenko

**PARAMETERS OF ANCHORAGE THE CONSTRUCTION PIT SIDES IN  
UNEVEN LOADIND IN THE SOIL MASSIF IN URBAN ENVIRONMENT**

Встановлені закономірності деформування нерівномірно навантаженого ґрунтового масиву в бортах будівельного котловану, закріпленого ґрунтоцементними елементами. За результатами моделювання напружено-деформованого стану обґрунтовані параметри закладення ґрунтоцементних елементів в бортах котловану, які забезпечують стійкість ґрунтового масиву в умовах щільної міської забудови.

Установлены закономерности деформирования неравномерно нагруженного ґрунтового массива в бортах строительного котлована, закрепленного ґрунтоцементными элементами. По результатам моделирования напряженно-деформированного состояния обоснованы параметры заложения ґрунтоцементных элементов в бортах котлована, которые обеспечивают устойчивость ґрунтового массива в условиях плотной городской застройки

**Вступ.** Необхідність обґрунтування параметрів ґрунтоцементного закріплення бортів будівельних котлованів в умовах щільної міської забудови пов'язана зі значною концентрацією напружень та їх градієнтів в навантажених існуючими спорудами ґрунтових масивах, а також суттєвим впливом майбутнього будівництва на споруди, що експлуатуються.

Облаштування котловану під майбутнє будівництво може супроводжуватись негативними та небезпечними для навколишніх споруд явищами, серед яких найчастіше спостерігаються обвалення стінок котловану та переміщення в нього прилеглих ґрунтових мас. В останньому випадку це може привести до втрати несучої здатності ґрунтового масиву в основі розташованих поруч споруд та порушення їх конструктивної цілісності внаслідок нерівномірного осідання.

В зв'язку з цим метою даної роботи є визначення параметрів ґрунтоцементного закріплення бортів будівельного котловану, що забезпечує надійне закріплення ґрунтового масиву в бортах котловану при нерівномірному розподілі напружень в умовах щільної міської забудови та мінімізацію витрат на проведення закріплювальних робіт.

**Основна частина.** Обґрунтування параметрів ґрунтоцементного закріплення ґрунтового масиву виконано в зв'язку з будівництвом житлового комплексу в м. Київ та необхідністю забезпечення стійкості бортів будівельного котловану і прилеглих до ділянки будівництва споруд.

Для оцінки напружено-деформованого стану ґрунтового масиву в бортах

будівельного котловану, закріпленого ґрунтоцементними елементами, застосована чисельна пружно-пластична модель середовища, реалізована на базі методу кінцевих елементів (МКЕ).

Модель є узагальненням пружного і жорстко-пластичного середовища з внутрішнім тертям та зчленовує дві теорії, на яких базується сучасна механіка гірських порід: теорію пружності та теорію граничного стану. Програмна реалізація алгоритму дозволяє одержувати пружно-пластичне рішення в умовах плоскої деформації за допомогою методу початкових напружень [1].

Визначення параметрів ґрунтоцементного закріплення виконано для чотирьох профілів в межах ділянок будівельного котловану, які характеризуються відмінностями в геологічній будові та особливостями діючого навантаження від існуючих споруд (рис. 1).

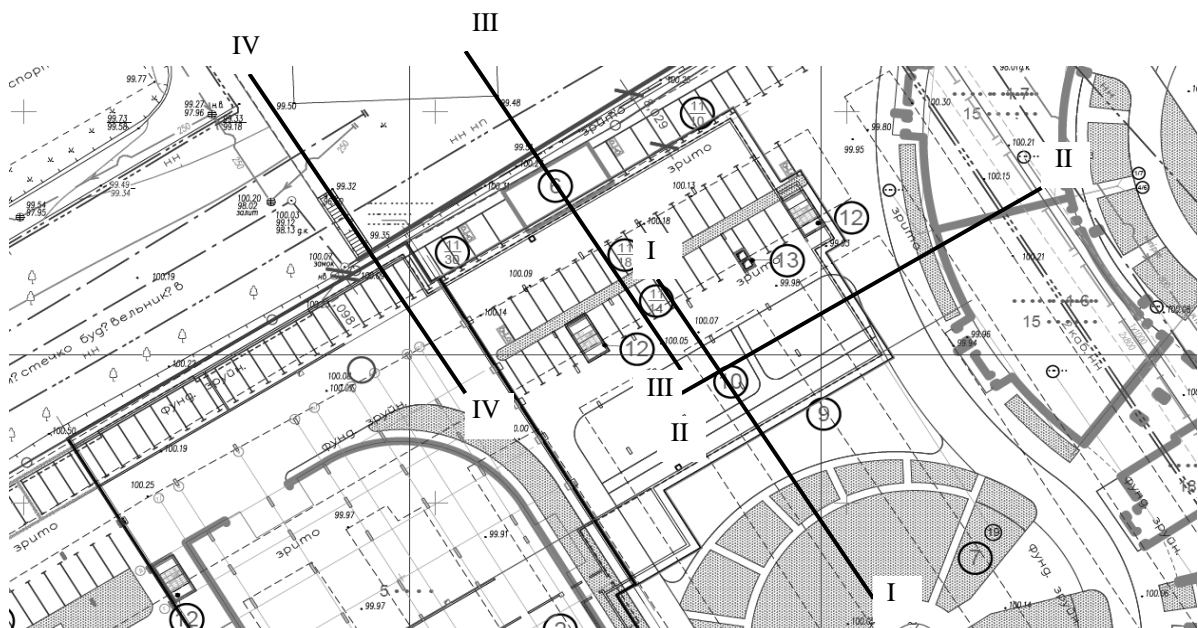


Рис. 1. Розрахункові профілі для обґрунтування параметрів ґрунтоцементного закріплення бортів будівельного котловану

Розміри модельованої області згідно розрахунковим профілям встановлені з умови мінімізації впливу зовнішніх контурів моделі на напружено-деформований стан модельованого масиву і охоплюють породний розріз протяжністю 50,0 м і глибиною 20,0 м. Площі окремих елементів моделі складають 0,1 - 0,2 м<sup>2</sup> при загальній площі модельованої області близько 1000 м<sup>2</sup>.

Відповідно до геолого-літологічної будови та гідрогеологічних умов будівництва розрахункові профілі в межах досліджуваних ділянок представлені кінцево-елементною апроксимацією шаруватих товщ з елементами 5 типів, фізико-механічні характеристики яких встановлені за даними інженерно-геологічних вишукувань та лабораторних визначень властивостей ґрунтів, виконаних ДП "Інститут "КІЇВГЕО" ВАТ "КІЇВПРОЕКТ" (табл. 1).

Розрахункові значення параметрів фізико-механічних властивостей ґрунтів за типами інженерно-геологічних елементів (ІГЕ)

Номер типа елемен- та	Номер ІГЕ	Модуль деформа- ції, $E$ , кПа	Коефіцієнт Пуассона, $\nu$ , дол.од.	Питома вага $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Питоме зчеплення $C$ , кПа	Кут внутріш- нього тертя, $\varphi$ , град.
1	2	20000,0	0,3	16,9	1,0	27,0
2	4	36000,0	0,3	19,5	1,0	33,0
3	5	36000,0	0,3	19,4	1,0	33,0
4	8	8000,0	0,3	18,0	9,0	21,0
5	9	9000,0	0,3	18,5	15,0	18,0

Наведені розрахункові профілі (рис. 2 - 5) ілюструють особливості кінцево-елементної схематизації модельованих областей в межах досліджуваних ділянок на контурах будівельного котловану.

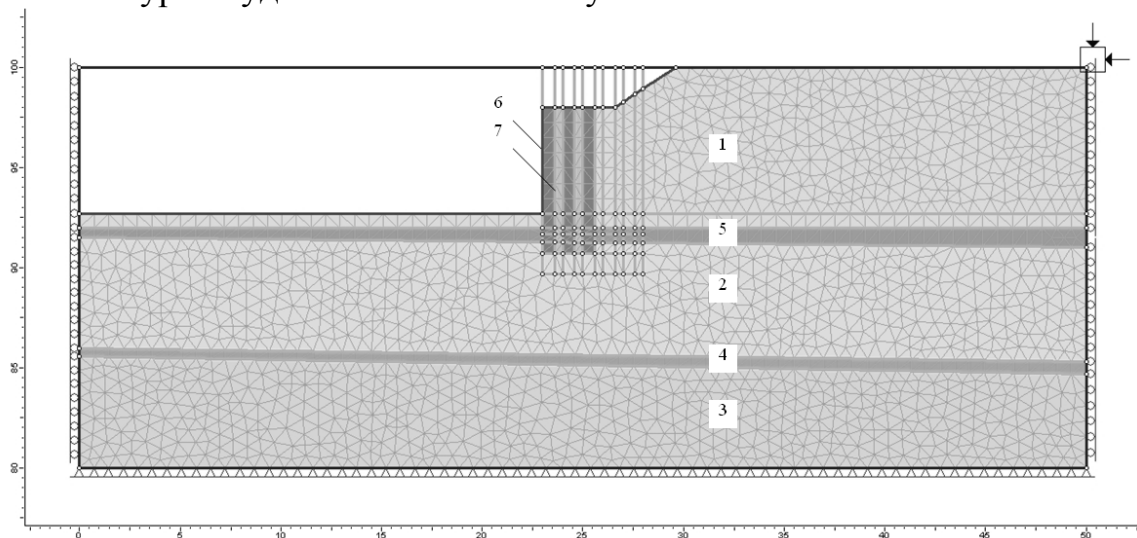


Рис. 2. Розрахункова схематизація модельованої області за профілем I-I: 1 – намитий ґрунт (ІГЕ 2); 2 – пісок дрібний (ІГЕ 4); 3 – пісок середньої крупності (ІГЕ 5); 4 – супісок (ІГЕ 8); 5 – суглинок (ІГЕ 9); 6 – ґрунтоцементний матеріал 1; 7 – ґрунтоцементний матеріал 2

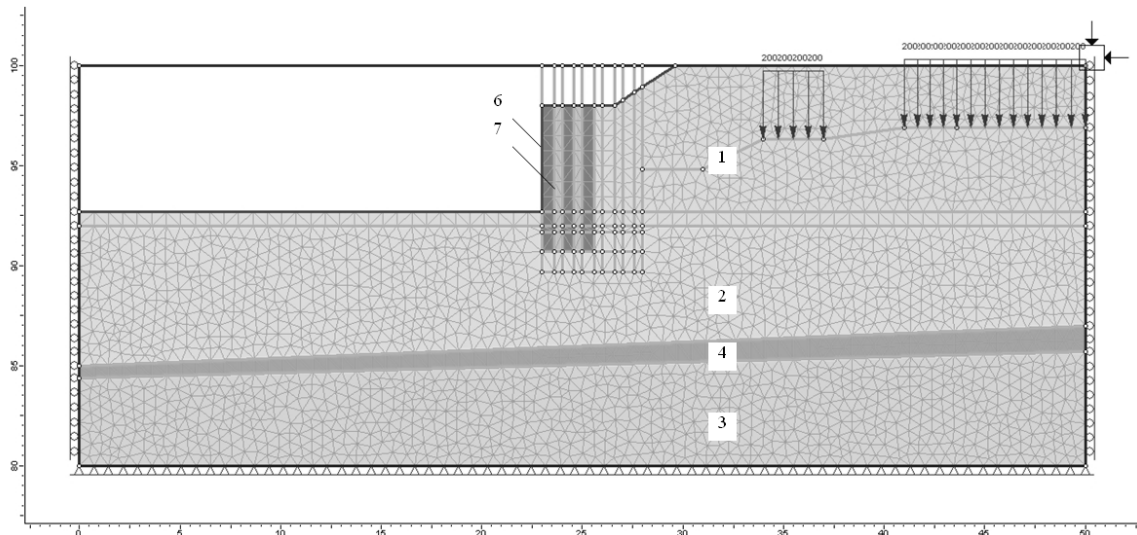


Рис. 3. Розрахункова схематизація модельованої області за профілем II-II: 1 – намитий ґрунт (.ІГЕ 2); 2 – пісок дрібний (ІГЕ 4); 3 – пісок середньої крупності (ІГЕ 5); 4 – супісок (ІГЕ 8); 6 – ґрунтоцементний матеріал 1; 7 – ґрунтоцементний матеріал 2

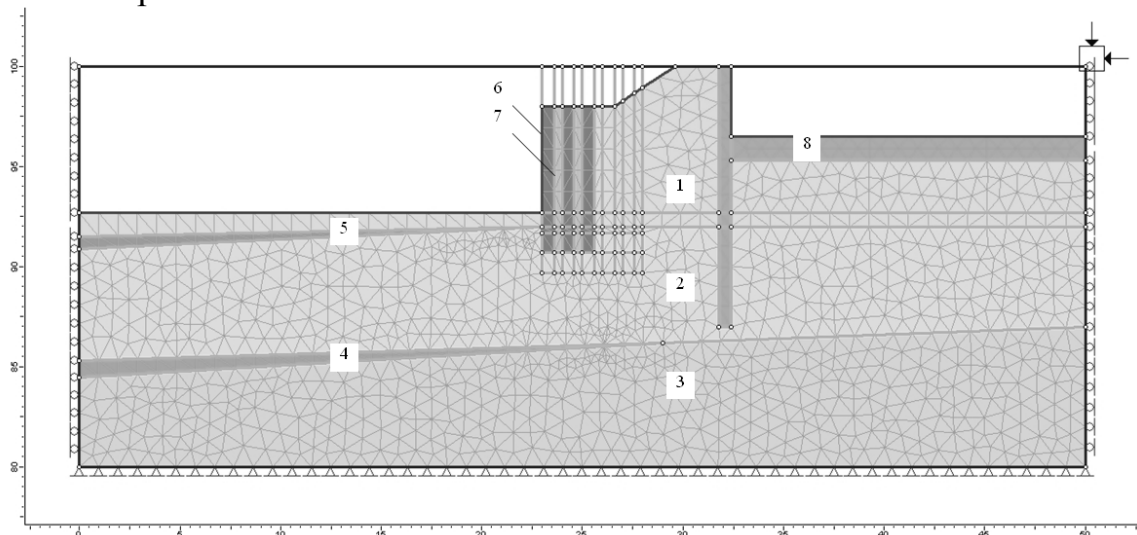


Рис. 4. Розрахункова схематизація модельованої області за профілем III-III: 1 – намитий ґрунт (.ІГЕ 2); 2 – пісок дрібний (ІГЕ 4); 3 – пісок середньої крупності (ІГЕ 5); 4 – супісок (ІГЕ 8); 5 – суглинок (ІГЕ 9); 6 – ґрунтоцементний матеріал 1; 7 – ґрунтоцементний матеріал 2; 8 – елементи будівельних конструкцій

Силова взаємодія між окремими елементами в чисельній моделі забезпечується дією гравітаційних сил, обумовлених вагою ґрунтової товщі. Силовий вплив на ґрунтовий масив, що створюється вагою існуючих споруд, визначається розосередженими силами, які прикладаються у вузлових точках моделі в площині підшви фундаментів існуючих споруд.

Значення фізико-механічних параметрів матеріалу елементів закріплення встановлені за даними досліджень їх властивостей в лабораторних та натурних умовах.

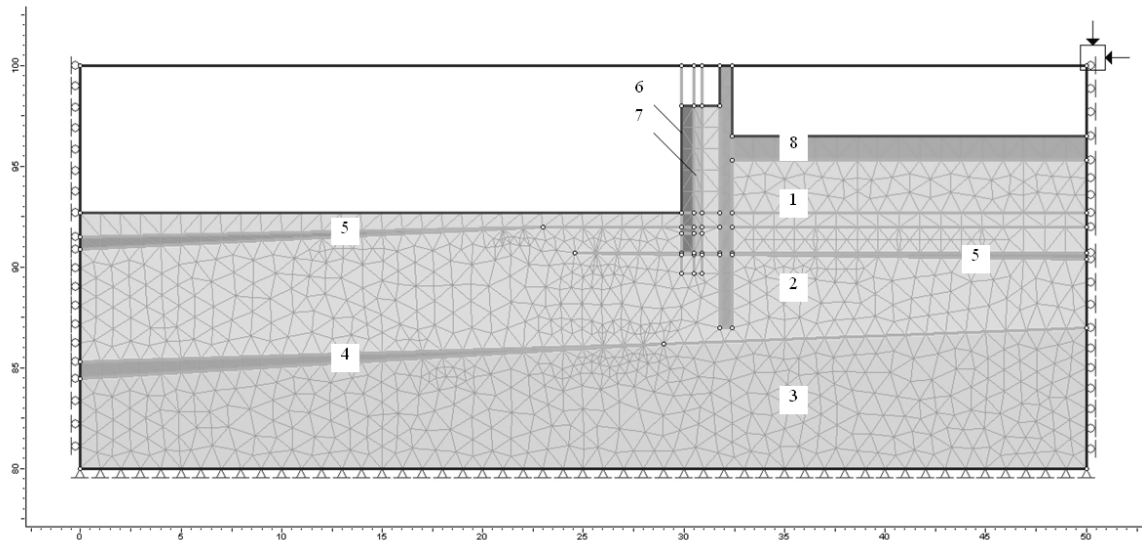


Рис. 5. Розрахункова схематизація модельованої області за профілем IV-IV: 1 – намитий ґрунт (.ІГЕ 2); 2 – пісок дрібний (ІГЕ 4); 3 – пісок середньої крупності (ІГЕ 5); 4 – супісок (ІГЕ 8); 5 – суглинок (ІГЕ 9); 6 – ґрунтоцементний матеріал 1; 7 – ґрунтоцементний матеріал 2; 8 – елементи будівельних конструкцій

В межах смуги закріплення контуру будівельного котловану розрахункові фізико-механічні параметри матеріалу визначені за умови диференційованого врахування співвідношення об’ємів матеріалу елементів закріплення і ґрунтового матеріалу для рівнобіжних і нерівнобіжних рядів армуючих елементів.

В рядах з рівнобіжним розташуванням елементів закріплення відстань між їх центрами становить  $l = 1,0$  м, а в рядах з нерівнобіжним розташуванням –  $b = 0,5$  м (рис.6). Зважаючи на діаметр елементів ґрунтоцементного закріплення, рівний 0,6 м, а також напрямок дії сил зрушення, які спрямовані в бік будівельного котловану, визначені співвідношення розрахункових деформаційних параметрів і параметрів міцності ґрунтоцементного матеріалу для різних ділянок смуги закріплення.

Отримані за даними розрахунків фізико-механічні параметри матеріалу елементів закріплення і ґрунтоцементного матеріалу безпосередньо в смугах розрахункових профілів наведені в таблиці 2.

Оцінка стану ґрунтового масиву за варіантами рішень виконана виходячи з досягнутого рівня зсувних деформацій та інтенсивності позамежного деформування, що визначають відносне зміщення точок модельованого масиву на контурі будівельного котловану, а також збіжності обчислювального процесу за теоретичними напруженнями [2,3,4].

Таблиця 2

Розрахункові значення параметрів фізико-механічних властивостей матеріалу елементів закріплення і ґрунтоцементного матеріалу в смузі розрахункового профілю

Тип матеріалу закріплення	Модуль деформації, $E$ , кПа	Коефіцієнт Пуассона, $\nu$ , дол.од.	Питома вага $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Питоме зчеплення $C$ , кПа	Кут внутрішнього тертя, $\varphi$ , град.
Елементи закріплення	450000,0	0,22	18,0	500,0	35,0
Ґрунтоцементний матеріал 1	355400,0	0,25	17,8	390,0	33,0
Ґрунтоцементний матеріал 2	114600,0	0,28	17,2	110,0	29,0

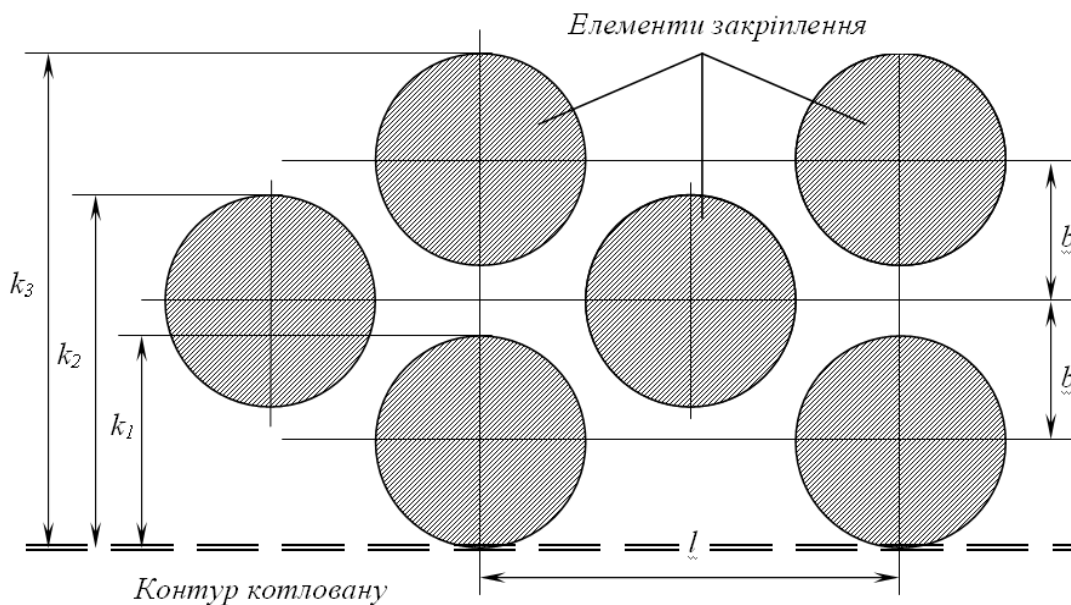


Рис. 6. Схема розташування ґрунтоцементних елементів в смузі закріплення:  $l$  – відстань між центрами елементів в рядах закріплення;  $b$  – відстань між центрами елементів в нерівнобіжних рядах закріплення;  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  – ширина смуги закріплення відповідно для одного, двох, та трьох рядів ґрунтоцементних елементів

За даними виконаних модельних розрахунків згідно прийнятих до розгляду розрахункових профілів в межах досліджуваних ділянок встановлено наступне.

Характер деформування масиву ґрунтів на контурі будівельного котловану в профілі I-I обумовлений розвитком зсувних процесів в призмі зрушення в межах всього інтервалу заглиблення котловану і охоплює ділянку прилеглої до

котловану масиву протяжністю близько 12 м (рис. 7). Інтенсивний розвиток зон позамежних деформацій в ґрунтовому масиві за відсутності його закріплення супроводжується втратою стійкості ґрунтів в борту будівельного котловану та його руйнуванням.

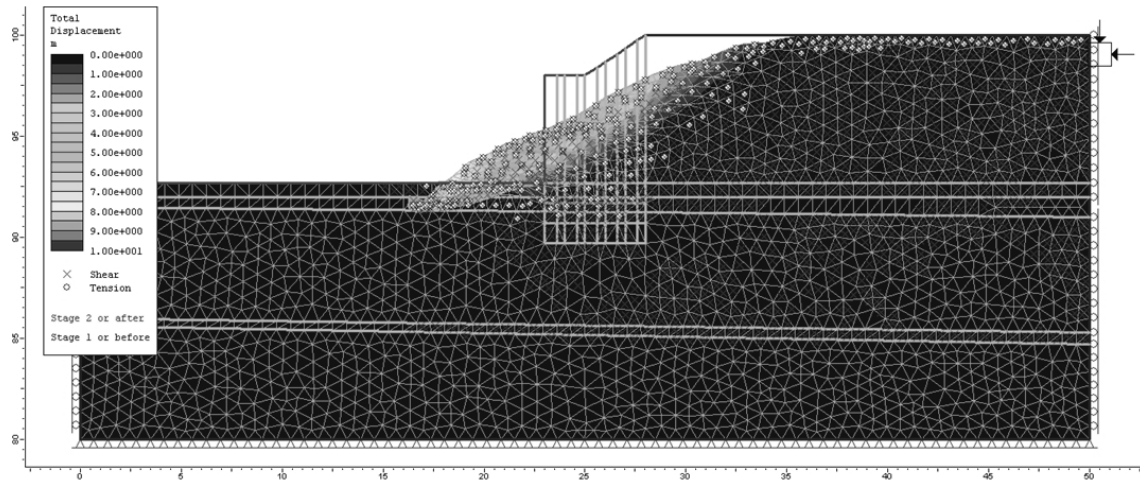


Рис. 7. Характер деформування незакріпленого ґрунтового масиву в борту будівельного котловану за профілем I-I

Закріплення ґрунтів ґрунтоцементними елементами підвищує їх стійкість, однак при кількості рядів елементів закріплення менше чотирьох (ширина смуги закріплення менше 2,2 м) в бортах будівельного котловану зберігається можливість розвитку руйнівних деформацій. При чотирьох рядах ґрунтоцементних елементів в масиві відсутні руйнівні деформації, однак відносні зміщення верхнього контуру борту будівельного котловану перевищують граничні допустимі значення, встановлені на рівні 0,01 м.

Забезпечення стійкості ґрунтового масиву з переміщеннями на контурі котловану в межах допустимих значень досягається при кількості рядів елементів закріплення не менше п'яти (рис. 3), що відповідає ширині смуги закріплення 2,6 м (рис. 8). При цьому ефективна робота елементів закріплення забезпечується при закладенні їх на глибині не менше 2,0 м відносно проектної відмітки дна котловану.

В профілі II-II характер деформування ґрунтового масиву аналогічний випадку, розглянутому в рішенні для профілю I-I. Однак, наявність в прилеглому до котловану ґрунтовому масиву навантажених зон від дії існуючих споруд (діючий тиск 0,2 МПа) сприяє росту горизонтальних деформацій при загальному згладжуванні виникаючих в масиві напружень і деформацій на контурі котловану (рис. 9). Забезпечення стійкості ґрунтового масиву в межах ділянки профілю II-II досягається при кількості рядів елементів закріплення не менше чотирьох (ширина смуги закріплення 2,2 м), однак, як і в попередньому випадку, допустимі переміщення контуру будівельного котловану забезпечуються при п'яти рядах елементів закріплення (ширина смуги закріплення 2,6 м) і глибині їх закладення на 2,0 м нижче відмітки дна будівельного котловану.

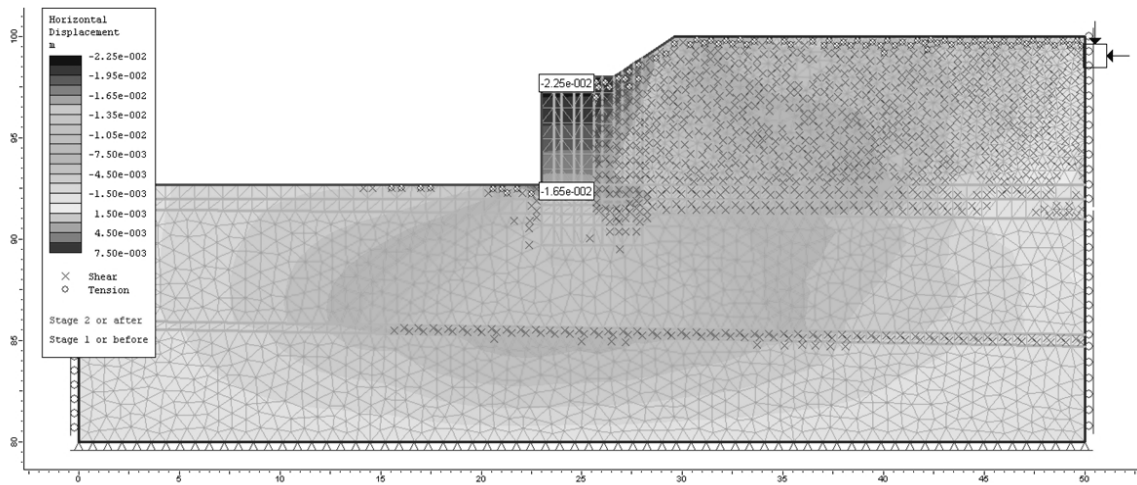


Рис. 8. Характер деформування і поле горизонтальних переміщень точок модельованої області за профілем I-I: закріплення п'ятьма рядами ґрунтоцементних елементів (смуга закріплення 2,6 м), глибина закладення відносно дна котловану – 2,0 м

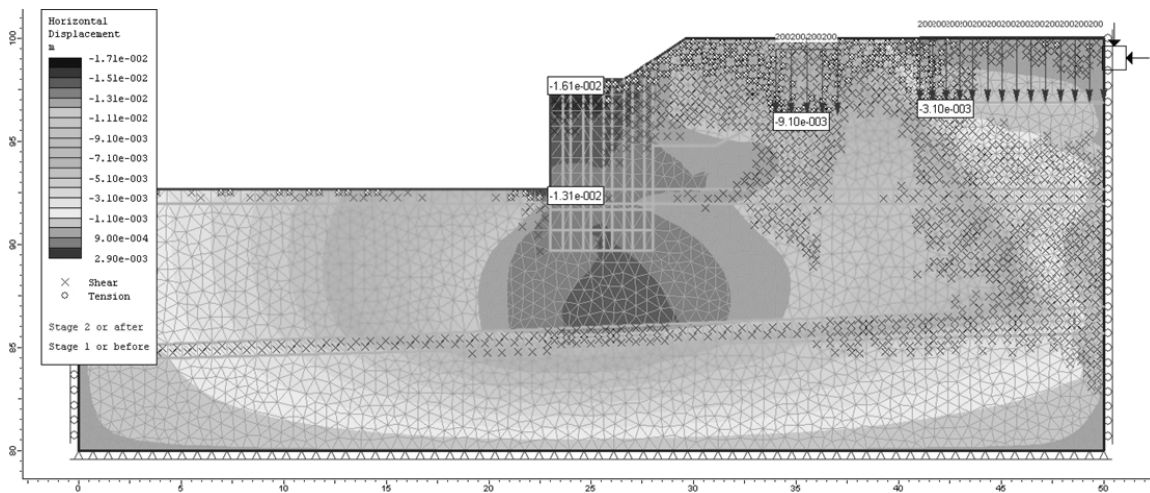


Рис. 9. Характер деформування і поле горизонтальних переміщень точок модельованої області за профілем II-II: закріплення п'ятьма рядами ґрунтоцементних елементів (смуга закріплення 2,6 м), глибина закладення відносно дна котловану – 2,0 м

В межах ділянки профілю III-III на відстані близько 8,8 м від контуру котловану розташовані конструктивні елементи існуючого паркінгу у сполученні з пальовим фундаментом, що виявляє певний вплив на напружено-деформований стан ґрунтового масиву. Однак, відносна віддаленість існуючої споруди робить цей вплив не суттєвим, а характер розвитку деформацій в межах контуру ґрунтоцементного закріплення подібний профілю II-II (рис.10). В даних умовах забезпечення стійкості ґрунтової товщі досягається при спорудженні елементів



закріплення з п'яти рядів і заглибленні їх підосви на 2,0 м нижче дна котловану.

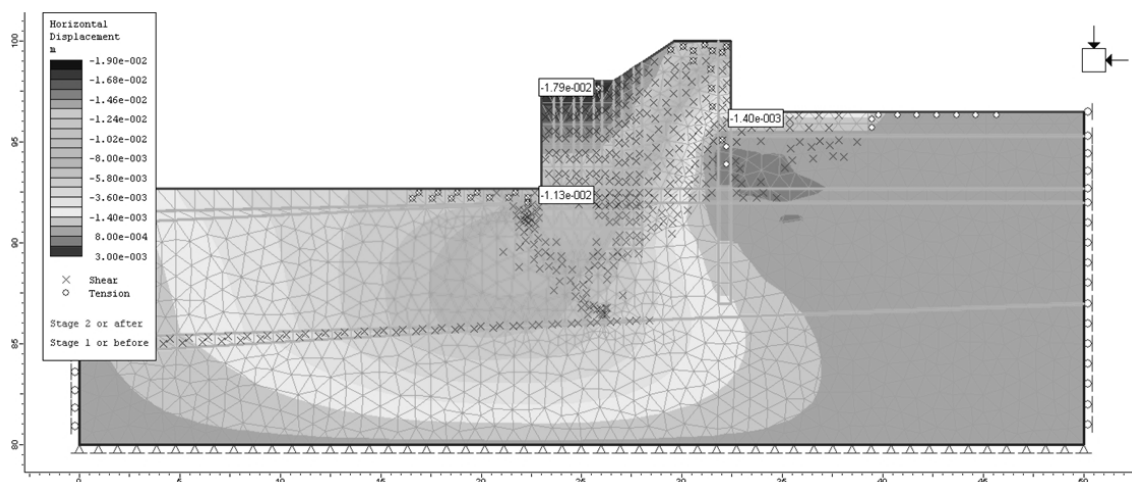


Рис. 10. Характер деформування і поле горизонтальних переміщень точок модельованої області за профілем II-II: закріплення п'ятьма рядами ґрунтоцементних елементів (смуга закріплення 2,6 м), глибина закладення відносно дна котловану – 2,0 м

На ділянці профілю IV-IV контур будівельного котловану знаходиться на відстані 1,90 м від конструктивних елементів існуючого паркінгу. Наявність незначного об'єму ґрунтової маси, що підлягає закріпленню (рис. 11), дозволяє забезпечити стійкість ґрунтів в борту котловану при спорудженні двох рядів елементів ґрунтоцементного закріплення з заглибленням їх на 2,0 м нижче відмітки дна котловану (ширина смуги ґрунтоцементного закріплення 1,1 м).

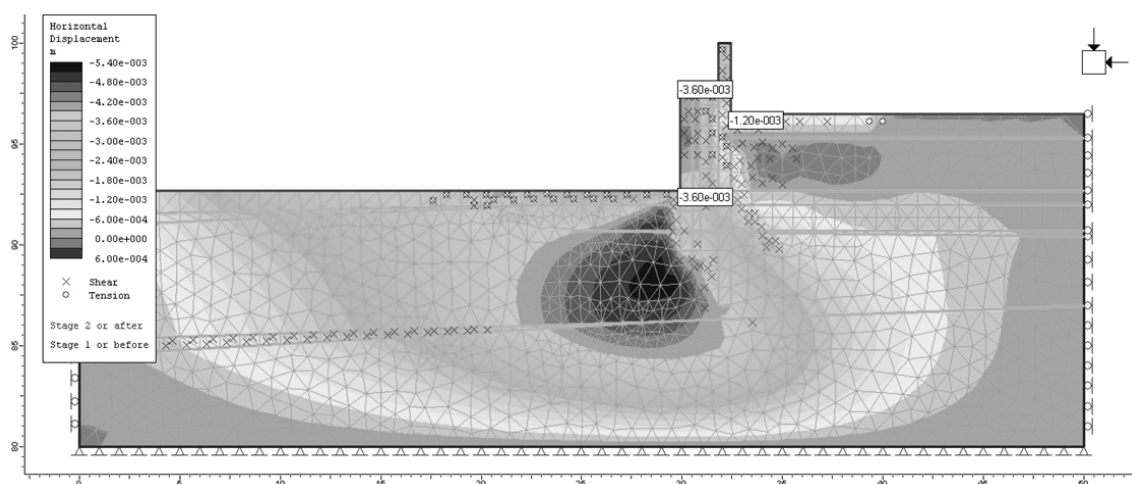


Рис. 11. Характер деформування і поле горизонтальних переміщень точок модельованої області за профілем IV-IV: закріплення трьома рядами ґрунтоцементних елементів (смуга закріплення 1,6 м), глибина закладення відносно дна котловану – 2,0 м

З урахуванням можливої підрізки борту будівельного котловану з технологічних цілей доцільно спорудження смуги закріплення шириною 1,6 м, що відповідає трьом рядам елементів ґрунтоцементного закріплення.

#### **Висновки.**

Загальний аналіз результатів моделювання напружено-деформованого стану слабких ґрунтових масивів в межах досліджуваних ділянок, складених піщано-суглинистими різностями, показав, що забезпечення стійкості бортів будівельного котловану глибиною до 5,0 м досягається при їх закріпленні п'ятьма рядами нерівнобіжних ґрунтоцементних елементів, розташованих за прийнятою в розрахунках схемою. За умови можливої технологічної підрізки борту котловану і зменшення висоти його борту забезпечення стійкого положення масиву, що підлягає закріпленню, може бути досягнуто при зведенні трьох нерівнобіжних рядів ґрунтоцементних елементів.

Слід відзначити, що ефективна робота елементів закріплення для всіх розглянутих варіантів забезпечується при закладенні їх на глибину не менше 2,0 м відносно проектної відмітки дна будівельного котловану, що визначається характером розвитку зсувних та поза межних деформацій в ґрунтовій основі бортів котловану.

Встановлені на основі аналізу напружено-деформованого стану ґрунтових масивів параметри закладення ґрунтоцементних елементів, що враховують розподіл діючих навантажень від існуючих споруд в умовах щільної міської забудови, дозволили обґрунтувати загальні підходи до визначення ефективності ґрунтоцементного закріплення ґрунтових масивів в бортах будівельних котлованів за умови мінімізації витрат на проведення закріплювальних робіт.

#### **Перелік посилань**

1. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
2. Геотехнические процессы в неустойчивых грунтовых массивах / В.П. Пустовойтенко, В.И. Тимошук. – Київ: Наукова думка, 2001. – 40 с.
3. Дослідження параметрів закріплення ґрунтових масивів з використанням технології ґрунтоцементного армування / В.І. Тимошук, В.І. Крисан, В.В. Крисан // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). – Київ, НДІБК, 2008. – Вип. 71. – Книга 2. – С. 264-274.
4. Автоматизированная система прогнозирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций на оползневых участках / И.А. Садовенко, Л.Я. Эйдельштейн, В.И. Тимошук, Е.А. Шерстюк // Техногенні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання: Матеріали 3-ї міжнар. наук.-техн. конф., 22-24 трав. 2013 р., м. Дніпропетровськ. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – С. 105-112.

#### **ABSTRACT**

**Purpose.** To provide the stability of unevenly loaded ground massifs in a dense urban by defining parameters of soil-cement anchorage of construction pit sides.

**Method.** Variant simulation of stress-strain state of fixed ground massif in sides of the construction pit, under unevenly distributed load from existing structures, performed on the basis of elastic-plastic model of layered ground massif using finite element method.

**Results.** A mathematical model of soil-cement anchorage the construction pit sides, taking into account characteristics and positioning of fixing elements in ground massif, is developed. Deformation mode of fixed ground massif in the sides of excavation under unevenly distributed load was found. The width of fixing zone and the depth of embedding the soil-cement anchorage elements which provide pit side stability in a dense urban, were substantiated.

**The originality.** Patterns of changes in stress-strain state of ground massif in sides of the construction pit fixed with soil-cement elements under the effect of unevenly distributed load from existing structures were found.

**Practical implications.** Reasonable parameters of laying the soil-cement elements in sides of the construction pit are justified by results of the variant modeling of stress-strain state, to provide its stability in a dense urban and minimize the reinforcement costs.

**Keywords:** *ground massif, soil-cement anchorage, stress-strain state, mathematical simulation, anchorage parameters*

УДК 622.27

© О.Е. Хоменко

## **АНКЕРНОЕ КРЕПЛЕНИЕ ЗАБОЯ ВЫРАБОТОК ДЛЯ МАРГАНЦЕВОРУДНЫХ ШАХТ УКРАИНЫ**

© O. Khomenko

## **ANCHOR SUPPORT OF WORKING FACE FOR MANGANESE MINES OF UKRAINE**

Выполнен анализ горнотехнических условий подземной разработки марганцевых месторождениях Украины. Проведено теоретическое моделирование и лабораторные эксперименты по исследованию устойчивости плоскости забоя подготовительных выработок. Обоснованы параметры крепления забоя выработок с применением анкеров многократного использования. Определена экономическая эффективность использования предлагаемого варианта крепления выработок по сравнению с базовым.

Виконано аналіз гірничотехнічних умов підземної розробки марганцевих родовищах України. Проведено теоретичне моделювання і лабораторні експерименти з дослідження стійкості площини вибою підготовчих виробок. Обґрунтовано параметри кріплення вибою виробок із застосуванням анкерів багаторазового використання. Визначено економічну ефективність використання запропонованого варіанту кріплення виробок у порівнянні з базовим.

**Введение.** Сложные горнотехнические условия добычи руд на марганцевых шахтах Украины, которые входят в состав публичного акционерного общества «Марганецкий горно-обогатительный комбинат», вызваны повсеместным сворачиванием горных работ, что приводят к разрушению барьерных целиков, повы-