



УКРАЇНА

(19) UA (11) 52032 (13) U
(51) МПК (2009)
E02D 17/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ У ВЗАЄМОДІЇ З ҐРУНТОВИМ ПІВПРОСТОРОМ

1

(21) u201001716
(22) 18.02.2010
(24) 10.08.2010
(46) 10.08.2010, Бюл.№ 15, 2010 р.
(72) ПРУСОВ ДМИТРО ЕДУАРДОВИЧ
(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (НАУ)
(57) Спосіб дослідження стану огороджувальних конструкцій у взаємодії з ґрунтовим півпростором на підставі методології розрахунку пружного півпростору з використанням моментної схеми методу скінченних елементів у геометричній та фізичній нелінійності, який відрізняється тим, що розв'я-

2

зують задачі з використанням критерію стійкості на основі розширеного критерію пластичності Мізеса з умовою міцності Кулона-Мора із застосуванням ряду відповідних моделей ґрунтової основи з урахуванням реальної поведінки ґрунтів; далі розв'язують задачу стійкості у співвідношеннях теорії пластичної течії в приростах та уточнюють за рахунок змін при обчисленні тензора напружень пружно-пластичного матеріалу будівельних конструкцій, що найбільш повно враховують специфіку взаємодії огороджувальних конструкцій з ґрунтовим півпростором.

Корисна модель стосується галузі проектування будівель і споруд, будівельної механіки та механіки ґрунтів, а саме методології дослідження напружено-деформованого стану огороджувальних конструкцій у взаємодії з неоднорідним ґрунтовим півпростором.

Спосіб дослідження стану огороджувальних конструкцій у взаємодії з ґрунтовим півпростором може бути використаний при проектуванні об'єктів промислового, цивільного і транспортного будівництва з максимальним використанням підземного простору в складних інженерно-геологічних умовах.

Останнім часом будівництво в містах України проводиться у складних геологічних умовах з максимальним використанням підземного простору для влаштування підземних частин будівельних об'єктів. При цьому таке будівництво проводиться в межах забудованих територій. Виїмки котлованів часто влаштовуються в підніжжі схилів, що впливає на стійкість прилеглих територій, заглиблюються нижче рівня ґрунтових вод, що змінює їх режим і викликає значні зміни в напружено-деформованому стані будинків і споруд прилеглої забудови. 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 характерис-

тики 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. Деформації огороджувальних 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. Існуючі аналогічні методи розрахунків недостатньо враховують складність процесів та значну кількість чинників, що виникають в природній основі при влаштуванні глибоких котлованів, їх зміни в часі та інших факторів при визначенні напружено-деформованого стану ґрунтової основи та фундаментів будинків і споруд.

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 сьогодні для складних інженерно-геологічних умов вивчені недостатньо. Створення та розвиток ефективних методів розрахунку

(19) UA (11) 52032 (13) U

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 дослідження та проектування є актуальною і важливою прикладною задачею.

Як прототипи розглядають задачі загальної теорії граничної рівноваги ґрунтів, на основі яких досліджують міцність, стійкість і тиск ґрунтів на огорожувальні конструкції. Гранична рівновага ґрунту у даному елементарному околі відповідає такому напруженому стану, коли деякий додатковий вплив може порушити рівновагу. Такий напружений стан характеризується ще тим, що опір зсуву в елементарному околі (скінченному елементі) дорівнює граничному для даного ґрунту значенню. Це, як правило, має місце у другій фазі напруженого стану при суцільному розвитку зон граничної рівноваги, коли необхідно застосовувати теорію нелінійно деформованого твердого тіла з урахуванням геометричної нелінійності - використання тензора скінчених деформацій Коши-Грина і фізичної нелінійності - співвідношення теорії пластичності з використанням тензору напружень для пружно-пластичного деформування [1, 2, 3].

Напружено-деформований стан конструкції, що огорожують котловани, визначають на основі теорії граничної рівноваги сипучого середовища чи використанням моделі ґрунту Мора-Кулона. Суттєвою вадою таких рішень є складність врахування зміни характеристик міцності ґрунтів в залежності від величин деформацій, що виникають в оточуючому котлован ґрунтовому масиві. Такі деформації можуть мати значну величину при розвитку суфозії чи випору ґрунту в котлован. При значних деформаціях формуються зони деформованих горизонтів, по яких в подальшому зміщується на огорожу котловану масив ґрунту з будинками і спорудами, розташованими в межах призми зрушення. При наявності слабого прошарку ґрунтів в основі зони деформованих горизонтів можуть також формуватись на певній глибині основи при влаштуванні виїмки ґрунтів з котловану. Наявність деформованих зон призводить до росту тиску ґрунту в часі на конструкцію огорожі, що не враховується діючими нормативними документами і існуючими методами розрахунку.

У загальному випадку при урахуванні об'ємних сил, розподілених на всьому досліджуваному ґрунтовому півпросторі, поверхневих розподілених (полосових) і зосереджених сил, прикладених до границь півпростору, а також при наявності неоднорідного анізотропного багат шарового ґрунтового масиву і можливих суфозій ґрунту задача розрахунку конструкцій огорож глибоких котлованів і дослідження деформованого стану і стійкості ґрунтового півпростору не має аналітичних розв'язків. В цьому випадку найбільш доцільним є використання числових методів розрахунку на основі спів-

відношень механіки суцільного середовища, що забезпечує найбільшу точність і адекватність реальній поведінці конструкцій. При наявності прошарків слабких ґрунтів у багат шаровому ґрунтовому півпросторі теорія лінійного деформованого ґрунту не дає достовірних результатів, отже виникає необхідність у застосуванні рівнянь стану нелінійної механіки ґрунтів [4, 5].

Створення та розвиток ефективних методів розрахунку і досліджень будівельних конструкцій, що найбільш повно враховують специфіку взаємодії огорожувальних конструкцій 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.

В основу способу поставлені задачі обґрунтувати та підтвердити можливість дослідження плоского неоднорідного півпростору; встановити закономірності розвитку деформацій огорож котлованів та основ прилеглої забудови з урахуванням розвитку суфозії та випору ґрунту; вивчити збіжність числових і теоретичних розв'язків класичних задач міцності і стійкості нелінійної механіки ґрунтів для неоднорідних основ з анізотропними властивостями окремих прошарків ґрунтів на основі розвитку моментної схеми скінчених елементів при згущенні сітки у граничних шарах на контакті елементів півпростору з великою розбіжністю у жорсткості; реалізувати чисельні розрахунки основних об'єктів досліджень на основі одержання розв'язків задач різних конструктивних схем систем огорожі з наявністю анкерів і без них, з врахуванням поетапного збільшення глибини котловану.

Поставлена задача вирішується шляхом узагальнення основ нелінійної теорії пружності і пластичності з використанням інкрементальної теорії на основі розвитку теорії граничного напруженого стану ґрунтового півпростору з використанням геометричної і фізичної нелінійності у приростах деформацій і напружень із запровадженням розширеного критерію текучості Мізеса.

На основі узагальнення залежностей механіки ґрунтів отримано закономірності, що дозволяють більш обґрунтовано визначити величину напружено-деформованого стану огорож котлованів, основ та фундаментів прилеглої забудови в залежності від неоднорідностей ґрунтової основи. Даний підхід визначення розрахункової характеристики ґрунтової основи відрізняється від раніше відомих тим, що дозволяє враховувати неоднорідність природної ґрунтової основи, фізико-механічні характеристики ґрунтів окремих елементів, їх зміну при зволоженні та інше.

Створена ефективна методологія розрахунку і досліджень будівельних конструкцій, що найбільш повно враховує специфіку взаємодії з ґрунтовим півпростором, а також впливу неоднорідних включень порід з різними фізико-механічними характе-

ристиками 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 [6].

Терміном «огороджувальні конструкції» позначають будівельні конструкції, що укріплюють масиви ґрунтового півпростору, огорожують та закріплюють стінки котлованів, виїмок або ухилів. 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, а переміщення ґрунтових масивів безпосередньо залежать від величин горизонтальних зсувів огорожувальних конструкцій.

Суть способу полягає в дослідженні питань міцності, стійкості і тиску ґрунтів на конструкції, що є частковими задачами загальної теорії граничної рівноваги ґрунтів. Гранична рівновага ґрунту у даному елементарному околі відповідає такому напруженому стану, коли деякий додатковий вплив може порушити рівновагу. Такий напружений стан характеризується ще тим, що опір зсуву в елементарному околі дорівнює граничному для даного ґрунту значенню. Це, як правило, має місце у другій фазі напруженого стану при суцільному розвитку зон граничної рівноваги, коли необхідно застосовувати теорію нелінійно деформованого твердого тіла з урахуванням геометричної нелінійності - використання тензора скінченних деформацій Коши-Грина і фізичної нелінійності - співвідношення теорії пластичності з використанням тензору пружностей для пружно-пластичного деформування.

Для плоскої задачі ґрунтового півпростору і конструкцій огорож найбільш доцільне використання нелінійно-пружної і пластичної моделі з використанням розширеного критерію Мізеса, на основі моделі Мора-Кулона без урахування дилатансії.

При розрахунку стінки огорожувальних конструкцій враховують відповідно наступні сили:

а) основні сили і навантаження: власну вагу стінки, навантаження на стінку від постійних вантажів, що знаходяться на ній, стаціонарних пристроїв, фундаментів будинків і споруд і т.п.; тиск ґрунту на стінку; тиск води на стінку; сили тертя і зчеплення в основі стінки;

б) додаткові сили і навантаження, що діють короточасно - тиск води при підвищенні нормального рівня води; рухоме навантаження; сили, що діють у процесі будівництва і ремонту споруд; тиск ґрунтових вод, що виникає в результаті порушення нормальної роботи дренажних пристроїв;

в) особливі сили і навантаження, що діють у виняткових випадках - сейсмічні сили; тиск води при катастрофічному підйомі її рівня.

У даному способі дослідження стану пружного півпростору пропонують використання одного з ефективних сіткових методів - методу скінченних

елементів (МСЕ). В постановці задачі при моделюванні півпростору передбачають істотну неоднорідність прошарків ґрунтів. Оцінка напруженого стану півпростору передбачає співставлення результатів розрахунку з гранично допустимими деформаціями та переміщеннями, тобто можливі локальні області втрати стійкості та розвитку пластичних деформацій. В зв'язку з цим розглядають постановку плоскої задачі нелінійно-деформованого твердого тіла з урахуванням геометричної та фізичної нелінійності.

Для постановки задачі у якості теоретичної основи використовують теорію нелінійної механіки ґрунтів на базі механіки суцільного середовища із застосуванням співвідношень в приростах переміщень, деформацій і напружень.

Варіаційне рівняння відповідно до енергетичних методів описує рівновагу елементарного об'єму будь-якого суцільного середовища, незалежно від його фізичних властивостей. Це представлення реалізує практичний вихід варіаційних задач теорії пружності і теорії граничного напруженого стану, де розв'язки пов'язані з відокремленням зон зсувних (для ґрунтів) пластичних деформацій. Таким чином розглядають детерміновану задачу статички ґрунтового півпростору і у кожній точці (вузлах дискретної моделі і границях між ними) виконуються умови граничного напруженого стану.

Властивості ґрунтового середовища розглядають як неоднорідний півпростір, який моделюють дискретним відображенням у вигляді набору скінченних елементів (СЕ), кожний з яких є однорідним твердим тілом з різними фізико-механічними характеристиками ізотропних або ортотропних тіл, але на границях скінченних елементів виконується умова сумісності деформацій, тобто із сумісними СЕ із забезпеченням нерівномірної сіткової області для апроксимації з певною мірою точності зон концентрацій напружень і розвитку зсувних деформацій, який точно описує переміщення і повороти СЕ як жорсткого цілого.

Методом скінчених елементів використовують природні граничні умови (жорсткі), які реалізують накладанням жорстких в'язів на границях дискретної розрахункової моделі, а також спеціальні граничні умови при взаємодії з анкерними пристроями із введенням рівнянь геометричних кінематичних умов з реалізацією розв'язків варіаційної задачі методом невизначених множників Лагранжа, коли варіаційне рівняння дискретної моделі доповнюють рівняння умов деформування цієї моделі через систему геометричних зв'язків.

Для отримання обґрунтованих залежностей для визначення напружено-деформованого стану огорож котлованів та фундаментів будинків і споруд проводять дослідження та вирішують характер зміни напружено-деформованого стану огорож котлованів та фундаментів будинків і споруд в залежності від положення слабких прошарків в ґрунтовій основі за площею та глибиною товщі; проводять дослідження для визначення величини напружено-деформованого стану огорож котлованів при зміні фізико-механічних характеристик ґру-

нтів при підтопленні ґрунтової основи та розвитку суфозії ґрунтів.

Як конкретні приклади здійснення способу для розв'язку задач стійкості ґрунтового масиву розглядалась задача визначення напружено-деформованого стану огорожувальних конструкцій з урахуванням розвитку пластичних деформацій дискретної моделі при поступовому заглибленні котловану. Розглянуто задачі укріплення ухилу виїмки огорожувальними конструкціями, напружено-деформований стан яких досліджений у взаємодії з ґрунтовим півпростором на основі співвідношень теорії пластичної течії в приростах. Результати дослідження показують, що першими у критичний стан - наявність розвитку пластичних деформацій - переходять скінченні елементи, що локалізуються у околі нижньої точки ухилу. При додаванні полосового навантаження область пластичних деформацій розширюється. Остаточо при послідовному прикладенні полосового навантаження за рахунок розвитку пластичних деформацій утворюється криволінійна призма сповзання ґрунтового масиву.

Максимальні горизонтальні переміщення наближені до кута виїмки, де і повинна починатися руйнація вертикального ухилу. Отже, критична висота вільної виїмки відповідає початку виникнення в ухилі непружних деформацій. Результати розрахунку за переміщеннями добре узгоджуються з експериментальними даними.

На основі представленого способу також проведено дослідження напружено-деформованого стану огорожувальних конструкцій типу „стіна в ґрунті” реальних об'єктів, що знаходились на різ-

них стадіях будівництва в м. Києві. Дослідження послідовної зміни рівноважних станів огорожувальних конструкцій у взаємодії з неоднорідним ґрунтовим півпростором проведені з включенням елементів підпірних залізобетонних конструкцій, фундаментів і основ прилеглих існуючих споруд з моделюванням еволюції виїмки ґрунту у котловані.

На підставі виконаних досліджень розроблені рекомендації по впливу неоднорідних ґрунтових основ на напружено-деформований стан огорож котлованів, фундаментів будинків та споруд прилеглої забудови.

Джерела інформації

1. Справочник по проектированию инженерной подготовки застраиваемых территорий. / Под редак. В.С. Нишука / Киев: Будівельник. 1983-192 с.
2. Прагер В. Введение в механику сплошных сред. - М.: Изд-во иностр. лит., 1963. - 312с.
3. Харр М.Е. Основы теоретической механики грунтов. - М.: Изд-во лит. по стр-ву, 1971. - 320с.
4. 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.
5. Шимановский А.В., Цихановский В.К. Теория и расчет сильнонелинейных конструкций. - К.: Изд-во „Сталь”, 2005. - 432с.
6. Прусов Д.Е. Моделирование напружено-деформованого стану неоднорідного ґрунтового масиву у взаємодії з залізобетонними конструкціями укріплень // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. - Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2007. - №71. - С. 34-43.