

### Література:

1. Пат. 96859 Україна, МПК (2011.01) G 01 L 7/00-23/32. Спосіб визначення нормального тиску сипучих матеріалів на конструкції огорож / Заявник О.В. Самородов, І.Я. Лучковський, А.В. Убийвовк, С.В. Табачников, патентоволодар Харківський національний університет будівництва та архітектури. – № 96859; заяв. 20.05.2010; опубл. 12.12.2011, Бюл. №23. – 4с.
2. ДБН В.2.1-10-2009. Зміна №1. Основи та фундаменти споруд. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
3. ДСТУ Б В.2.1-5-96. Грунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 11 с.

## МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ПАЛЬОВОГО АНКЕРУ З ГРУНТОВОЮ ОСНОВОЮ НА ОСНОВІ ПОЛЬОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

**Тіліуї Нуреддін**, студент 6-го курсу Будівельного факультету  
**Табачников С. В.**, канд. техн. наук, ст. викл. каф. Механіки ґрунтів,  
фундаментів та інженерної геології

*Харківський національний університет міського господарства  
імені О. М. Бекетова*

Відповідно до розрахункової схеми та фізико-механічних характеристик ґрунтових умов ґрунтової основи при натурних випробувань ґрунтів палями при реконструкції стадіону Металіст в місті Харкові була створена аналогічна модель, використовуючи метод скінчених елементів [1, 2, 3, 4, 5], за допомогою програмного комплексу «Plaxis 3D Foundation» (версія 1.6).

Далі наводиться методика поетапного створення просторової моделі «пальовий анкер – основа» та аналізу напружено-деформованого стану цієї системи за допомогою сучасного програмного комплексу.

При використанні МСЕ в ПК Plaxis 3D суцільна область розглядається як сукупність кінцевого числа елементів. Для виключення впливу на результати розрахунку граничних умов моделі була обрана область  $10 \times 10 \times 32$  м, неоднорідної будови із застосуванням об'ємних 15-вузлових клиновидних елементів, які забезпечують для переміщень інтерполяцію четвертого порядку і використовують чисельні інтегрування по двадцяти точкам напружень.

Моделювання напружено-деформованого стану ґрунту проводилося з використанням нелінійної моделі з критерієм міцності Мора-Кулона (М-К). Для конструкції палі використовувалася лінійно-пружна модель матеріалу.

Масив ґрунту моделювався відповідно до інженерно-геологічного розрізу і основними фізико-механічними характеристиками ґрунту: питома вага ґрунту  $\gamma$ , кН/м<sup>3</sup>; питома вага водонасиченого ґрунту  $\gamma_{sat}$ , кН/м<sup>3</sup>; питоме зчеплення ґрунту  $c$ , кПа; кут внутрішнього тертя ґрунту  $\varphi$ , град.; модуль деформації ґрунту  $E$ , кПа; коефіцієнт Пуассона  $\nu$ , од., приймався для пісків рівний 0,3, для

суглинків - 0,35, для глини - 0,42. Рівень ґрунтових вод моделювався на 1,4 м нижче позначки 0.00 суцільній області моделі основи (рис. 1).

Паля моделювалася об'ємною (Massive circular pile) діаметром  $\varnothing 0,63$  м, яка взаємодіє з ґрунтом за допомогою спеціальної зовнішньої оболонки елементів на поверхні контакту «паля-ґрунт» (Outside interface), з наступними параметрами лінійно-пружної моделі матеріалу (Л-П): питома вага бетону С20/25 (В25)  $\gamma$ , кН/м<sup>3</sup>; модуль пружності  $E$ , кПа; коефіцієнт Пуассона  $\nu$ , од. (табл. 4.2).

Поверхні контакту моделювалася шляхом підбору величини коефіцієнта зниження міцності  $R_{inter}=0,7\div 0,9$ . Цей коефіцієнт зв'язує міцність оболонки елементів на поверхні контакту «паля-ґрунт», тобто тертя на поверхні палі і адгезію з міцністю ґрунту - кутом тертя і зчеплення.

Були задані три робочі площини з відповідними позначками: 0,00 – поверхня моделі основи; -12,0м – низ палі; -32,0м – нижня межа моделі основи.

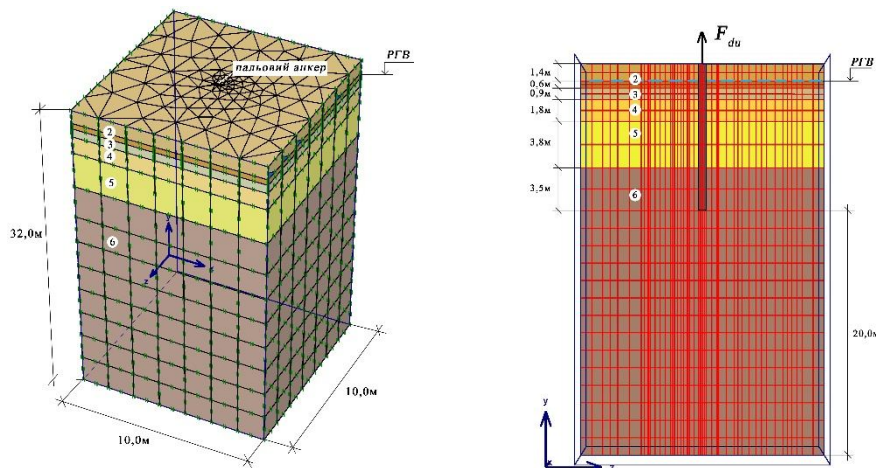


Рис. 1. Модель палі в масиві ґрунту та його розріз

Загальна кількість елементів моделі склало 2769 штук.

При моделюванні роботи палі на висмикувальне навантаження всі параметри моделі залишалися аналогічними моделюванні роботи палі на вдавлюючі навантаження, що показало адекватність моделі натурним випробуваннями.

Формування напружено-деформованого стану палі при дії висмикувальних навантажень складалося з таких етапів (фаз):

Фаза 1 - навантаження розрахункової області власною вагою ґрунту і формування початкового НДС ґрунтового масиву; Фаза 2 - навантаження сформованого масиву додатковим розподіленим навантаженням на поверхні, яка є наведеною від шару насипного ґрунту потужністю  $\approx 2$ м,  $\gamma=16$ кН/м<sup>3</sup> і частини шару твердого суглинку потужністю  $\approx 1,1$ м,  $\gamma=19,1$ кН/м<sup>3</sup>, розкритих котлованом (див. рис. 4.5). Додаткове розподілене навантаження склало  $q \approx 53$ кН/м<sup>2</sup>; Фаза 3 - моделювання палі  $\varnothing 630$  мм і  $L=12$  м; Фаза 4-11 - прикладення висмикувального навантаження рівного  $F_{du}=120-960$  кН, 1020 кН, тобто з кроком в 120 кН (з метою скорочення часу розрахунку), що відповідало подвійному кроку навантаження при натурних випробуваннях рівному 60кН.

Фаза 12 - прикладення висмикувального навантаження рівного  $F_{du}=1020$  кН, що відповідає граничному висмикувальному навантаженні при натурних випробуваннях.

В результаті моделювання і розрахунку отримана візуальна картина переміщень у вигляді деформованої схеми і ізополей на розрізі (рис. 2).

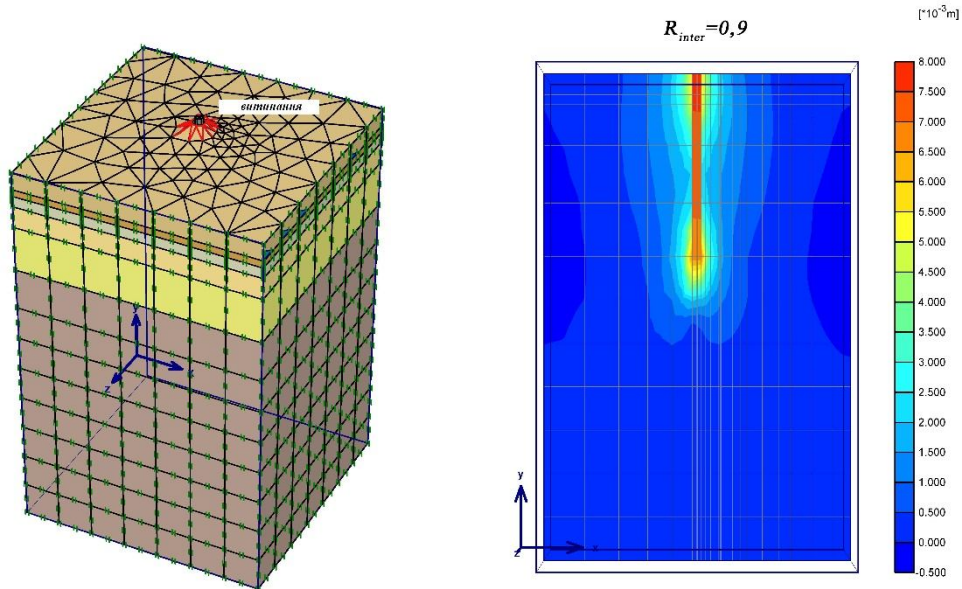


Рис. 2. Переміщення палі та ґрунту при  $R_{inter}=0,9$

З картини переміщень розрахункової моделі (рис. 2) видно, що в роботу включається ґрунт, що знаходиться під нижнім кінцем палі, перешкоджаючи розвитку переміщень і витягаючись слідом за палею.

Зі зміною коефіцієнта зниження міцності  $R_{inter}$  від 0,9 до 0,7 деяка частина бічної поверхні палі поступово вимикається з роботи.

На рис. 3 показані графіки залежності виходу  $u$  дослідної палі від висмикувального навантаження, які порівняні з графіком при натурних випробуваннях.

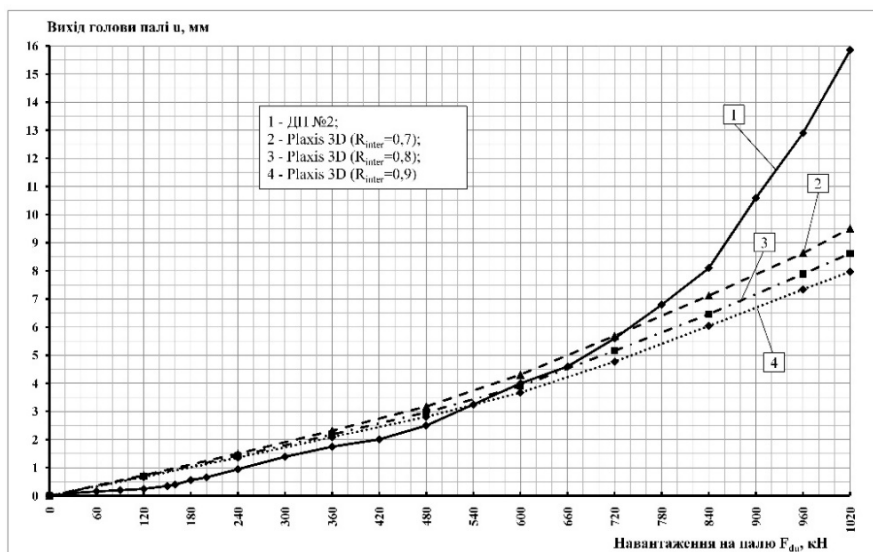


Рис. 3. Графіки залежності вертикального переміщення  $u$  палі від висмикувального навантаження  $F_{du}$  (ДП №2) і числового моделювання (Plaxis 3D)

Практично лінійний характер переміщень по Plaxis (рис. 3) в порівнянні з нелінійною залежністю переміщень, у відповідності до натурних випробувань, показує неадекватність класичних підходів моделювання в Plaxis 3D для роботи паль на висмикувальне навантаження.

### Висновки

1. На підставі результатів польових випробувань двох паль для дослідження сил опору на бічній поверхні палі була створена аналогічна модель, використовуючи метод кінцевих елементів, за допомогою програмного комплексу «Plaxis 3D Foundation».

2. Наведена методика поетапного створення просторової моделі «пальовий анкер – основа» та аналізу напружено-деформованого стану цієї системи за допомогою сучасного програмного комплексу.

3. Отримане за допомогою програмного комплексу числове рішення напружено-деформованого стану системи «грунтова основа – паля» з використанням пружньо-пластичної моделі ґрунту з критерієм міцності Мора-Кулона, результати якого показують неадекватність класичних підходів моделювання роботи паль на висмикувальні навантаження.

### Література:

1. Е.С. Вентцель «Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 6-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.
2. Зоценко Н. Л. Современная практика моделирования взаимодействия фундаментов с уплотненными основаниями при их возведении и последующей работе / Н. Л. Зоценко, Ю. Л. Винников // Численные методы расчетов в практической геотехнике: сб. статей науч.-техн. конф. С.-Петербург. гос. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2012. – С. 164–171.
3. Маєвська І.В. Чисельне моделювання роботи буроін'єкційної палі палі у піщаних ґрунтах / І.В. Маєвська, А.В. Романенко // Наук.-техн. Збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві» – Вінниця: ВНТУ, 2011. – №1. – С. 67–70.
4. Седин В.Л. применение модели упрочняющегося грунта в численном моделировании буроинъекционных свай большого диаметра / В.Л. Седин // Геотехника. – 2014. – № 4. – С. 32–40.
5. PLAXIS 3D Foundation. Учебное пособие . Версия 1. 74 с.