

УДК 625.154.5

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОСНОВИ ОДИНОЧНОЇ БУРОІН'ЄКЦІЙНОЇ ПАЛІ ПРИ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Автори – Андрій Кравець¹, студ. гр. ПЦБ 21-1 мн,

Владислав Ковба², к. т. н., доц.

Науковий керівник – д. т. н., проф. каф. інженерної геології і геотехніки

Володимир Седін³

¹17047.kravets@365.pgasa.edu.ua, ²kovba.vladyslav@pgasa.edu.ua.

³sedin.volodymyr@pgasa.edu.ua

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

Головне завдання геотехніків полягає в використанні максимального потенціалу ґрунтової основи для передачі на нього максимально допустимих навантажень, зменшенні осідань та їх нерівномірності, а також достовірності визначення несучої здатності паль та деформативності ґрунтів їх основи. Першочергового значення при цьому набувають механічні властивості ґрунтів основи, що характеризують здатність даного ґрунту сприйняти в своєму об'ємі напруження від зовнішнього навантаження.

Як вже зазначалося [1; 3], достовірність визначення несучої здатності паль в першу чергу залежить від якості інженерно-геологічних вишукувань та польових випробувань ґрунтів. Проте, числове моделювання роботи паль за допомогою сучасних інструментів розрахунку, що отримали сьогодні широке розповсюдження, може значно полегшити та спростити цей процес, надавши при цьому достатньо точні результати.

Для оцінки напружено-деформованого стану системи «буроін'єкційна паля – основа» використовуються різні програмні комплекси: ЛІРА-САПР, VESNA, Plaxis 3D, ANSYS, FLAC3D, ZSoil та інші. Слід зазначити, що числове моделювання дозволяє отримати повну інформацію про напружено-деформований стан ґрунтового масиву у всьому діапазоні навантаження палі.

У більшості випадків користувачеві досить складно правильно ввести значення параметрів моделей ґрунтів у програму. Це пояснюється як відсутністю описів методик визначення параметрів у самих програмах, так і тим, що не всі досліджувані властивості матеріалів є параметрами їх моделей.

Вихідними даними для числового розрахунку були результати інженерно-геологічних вишукувань дослідних майданчиків та натурних статистичних випробувань буроін'єкційних паль. Для розрахунку в

середовищі ПК Plaxis 3D було обрано палі діаметром $\varnothing$ 620 мм та довжиною $l = 18,11$ м.

Розрахунок напружено-деформованого стану основи буроін'єкційної палі складається з етапів генерування початкових напружень від власної ваги ґрунту і води та генерування умов натурного випробування [4].

Паля розраховувалася з використанням пружно-пластичної моделі зі зміцненням ґрунту Hardening Soil Model (HSM) та ідеальної пружно-пластичної моделі Mohr-Coulomb (MC) [6]. З усіх моделей, що дозволяють врахувати розвантаження ґрунту, найбільш широко відома HS-модель, реалізована в тому числі і в програмному комплексі ПК Plaxis 3D [5]. Математичне формулювання моделі ґрунту HS включає в якості поверхні руйнування критерій міцності Мора – Кулона і дві функції плинності для девіаторного f^s і ізотропного f^c навантаження.

Пружно-пластична модель MC є найпоширенішою моделлю деформування ґрунтового середовища, яка являє собою базову модель з фіксованою поверхнею текучості, яка повністю визначається параметрами моделі і не залежить від пластичного деформування [4]. Для пружно-пластичної моделі Мора – Кулона необхідно всього чотири параметри, які можуть бути визначені стандартними випробуваннями зразків ґрунту (характеристики міцності та деформування): модуль деформації (E); коефіцієнт Пуассона (ν); питоме зчеплення (c); кут внутрішнього тертя (φ).

Моделювання палі відбувалося з поетапним її навантаженням. В залежності від максимального навантаження була визначена кількість фаз розрахунку, що наближає числовий експеримент до натурних випробувань палі статичним навантаженням. В даному випадку збільшення прикладеного зосередженого навантаження до верхньої точки стрижневої палі відбувалося поступово, ступенями по 200 кН. Розрахунок вівся до втрати несучої здатності палі.

Несуча здатність стрижневої палі визначається за допомогою трапецеїдального розподілення тертя по бічній поверхні, а також опору під нижнім кінцем палі. Мобілізація напружень при цьому практично співпадає з реальною поведінкою.

За основними параметрами навантаження P і осідання S , в результаті розрахунку, у ПК Plaxis 3D були побудовані графіки залежності «навантаження – осідання» (рис.).

Осідання голови дослідної палі (рис.) при натурних випробуваннях – 45,18 мм від максимального навантаження $P = 1\,960$ кН, підняття палі склало 6,93 мм.

Розрахунок в ПК Plaxis 3D з використанням моделі Hardening Soil показав, що осідання палі рівне 46,71 мм при тому ж навантаженні ($P = 1\,960$ кН), а підняття після розвантаження – 9,71 мм. Порівняння

значення осідання палі за натурними випробуваннями менше отриманого при числовому моделюванні на 4 %.

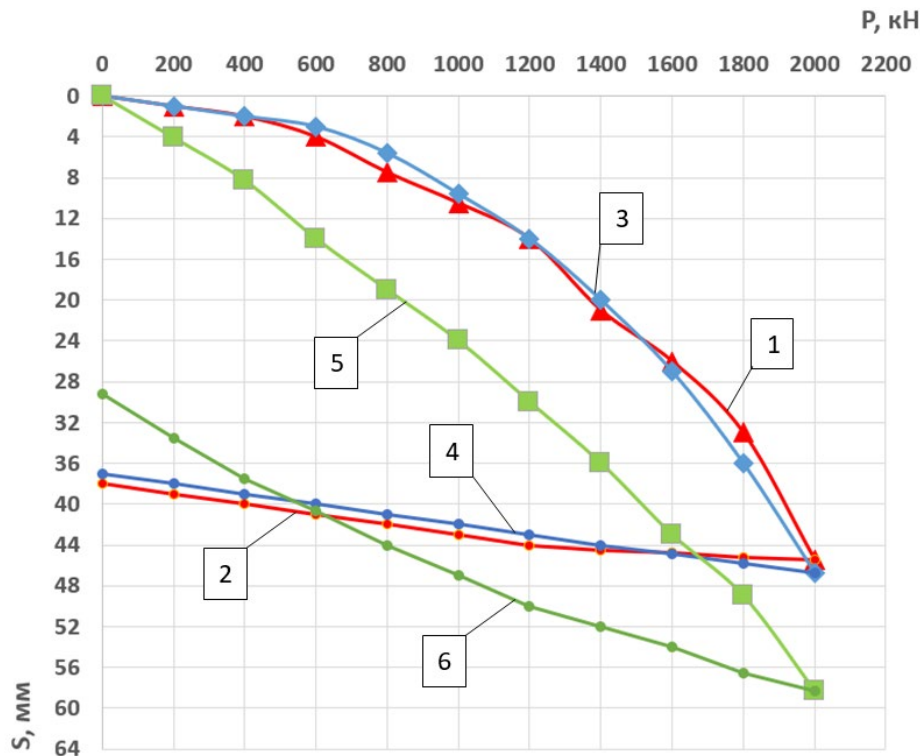


Рис. Графік залежності «навантаження – осідання» за результатами натурних випробувань та комп'ютерного моделювання:

1 – навантаження при натурному випробуванні, 2 – розвантаження, 3 – навантаження при числовому моделюванні в ПК Plaxis 3D в моделі Hardening Soil, 4 – розвантаження (HSM), 5 – навантаження при числовому моделюванні в ПК Plaxis 3D в моделі Mohr-Coulomb, 6 – розвантаження (MC)

Розрахунок в ПК Plaxis 3D з використанням моделі Mohr-Coulomb показав, що осідання палі склало – 58,31 мм, при розвантаженні величина підйому – 29,11 мм. Осідання палі згідно натурних випробувань менше значення отриманого в результаті числового моделювання з використанням MC на 23 %.

За результатами виконаних розрахунків, визначено, що числове моделювання дозволяє з досить великою точністю визначити кінцеві осідання паль. Так, програма Plaxis 3D дає як завищені так і занижені значення осідання голови паль з певною похибкою [4]. На відхилення у розрахунках, при порівнянні з натурними випробуваннями, впливає модель ґрунту.

Отримані результати порівняльного аналізу підтверджують можливість застосування моделі HSM, програмного комплексу Plaxis 3D для визначення напружено-деформованого стану системи «буроін'єкційна паля – основа». Для досягнення найкращого результату при комп'ютерному моделюванні особливу увагу треба приділяти якості

вихідних даних інженерно-геологічних вишукувань, а також положенню модельованої палі відносно геологічного перерізу.

Як показали результати розрахунків, модель ґрунту Hardening Soil досить добре описує розвиток об'ємних деформацій при всебічному стисненні ґрунту та розвиток зсувних деформацій при девіаторному навантаженні [4]. Модель ґрунту MC завищує результати осідання, так як не враховує зміну фізико-механічних характеристик ґрунту під час навантаження [4].

Висновки. За результатами виконаних розрахунків визначено, що числове моделювання в ПК Plaxis 3D з використанням моделі HS дозволяє в межах допустимої похибки (від 4 %) визначити осідання паль, а отже може ефективно використовуватися для визначення напружено-деформованого стану системи «буроін'єкційна паля – основа» та попередньої оцінки несучої здатності буроін'єкційних паль.

Отримані результати розрахунків показали, що використання моделі MC призводить до завищення осідань на 23 % порівняно з натурними випробуваннями.

Список використаних джерел

1. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель. Основні положення. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. 36 с.
2. Маєвська І. В., Романенко А. В. Чисельне моделювання роботи буроін'єкційної палі у піщаних ґрунтах. Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві. Вінниця : ВНТУ, 2011. № 1. С. 67–70.
3. Винников Ю. Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при зведенні та наступній роботі: монографія. Полтава : ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2016. 280 с.
4. Бікус К. М. Вплив попереднього навантаження паль на зниження їх осідань. Дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.02 «Основи і фундаменти». Дніпропетровськ, 2015. 210 с.
5. Brinkgreve R. B. J., Broere W., Waterman D. Plaxis-version 9. Finite Element Code for Soil and Rock Analyses. User Manual. Rotterdam : Balkema, 2008.
6. Bower T. A., Jefferson A. D., Cleall P. J. A reformulated hardening soil model. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Engineering and Computational Mechanics*. 2020. Vol. 173, № 1. Pp. 11–29. URL: <https://doi.org/10.1680/jencm.18.00054>.