

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 624.131.1

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМАЦІЇ ҐРУНТУ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

О. В. Титко

Розроблений розрахунковий апарат дозволяє відтворити математичну модель процесу ущільнення ґрунту при забиванні палі, а також оцінити напружено-деформований стан ґрунту, обумовлений забиванням зближених палей в куці. Визначені залежності зміни щільності та об'ємної деформації ґрунту.

Разработанный расчетный аппарат позволяет воспроизвести математическая модель процесса уплотнения ґрунта при забивке свай, а также оценить напряженно-деформированное состояние почвы, обусловленный забиванием сближенных свай в кусты. Определены зависимости изменения плотности и объемной деформации ґрунта.

The numerical apparatus can play the mathematical model of soil compaction at zabyvtsi driving, and to assess the stress-strain behavior of soil caused by pile driving in the adjacent bushes. Dependences of the change of density and volumetric strain of soil.

Вступ

В останні роки при будівництві і реконструкції промислових будинків застосовуються куці зближених забивних палей. Їхньою перевагою є більш висока несуча здатність у порівнянні з одиничними, але забивання зближених палей пов'язане з додатковими труднощами і потребує великих витрат. Найбільше значно зростають труднощі при забиванні останніх палей куці, а іноді забити їх до проектної відмітки взагалі не вдається. У зв'язку з цим актуальні задачі з математичного моделювання напружено-деформованого стану ґрунту в навколопальовому просторі.

Метою даної роботи є теоретична розробка розрахункового апарату для відтворення математичної моделі напружено-деформованого стану ґрунту при динамічних навантаженнях на основі відомих формул механіки суцільного середовища [1, 2] і опублікованих результатів досліджень щодо динаміки ґрунтів [3-6].

Основна частина

Процес об'ємного деформування ґрунту при забиванні палі дуже складний. Після удару по палі від її торця по ґрунті поширюється динамічний імпульс, у формі пластичної ударної хвилі стиску, що вироджується на певній відстані від вогнища збурювання (п'ята палі) в пружну подовжню хвилю. Однак із просуванням палі вниз в процес втягуються все нові шари ґрунту, але в боки нові хвилі щораз проходять по раніше ущільненому масиві. Тому бічне ущільнення більш значне, чим ущільнення під п'ятою палі, і в цілому, розглядаючи неодноразово повторюваний динамічний вплив на навколо пальовий масив можна говорити про циліндричну хвилю стиску.

Динамічне навантаження на кожен елементарний об'єм ґрунту, через який проходить ця хвиля, робить його ущільнення за рахунок закриття в ньому вільних пор, зі стиском газів, що заповнюють ці пори, і за рахунок пружного стиску води і мінеральних частин кістяка [1, 5].

Пізніше поступово відбувається релаксація пружних напружень і повільне переміщення води і газів у порах з області високих в область більш низьких напруг, як при консолідації, але більш повільно, тому що при швидкому ущільненні пори закриваються і після цього фільтрація ускладнюється. При такому переміщенні зона ущільнення поступово розширюється, а перепад щільності в ній трохи знижується. Але істотно закономірність ущільнення ґрунту навколо палі це не змінює. Ефективність забивання, в основному, визначає тертя палі об ґрунт і згадане сумарне, при дії безлічі ударів, бічне ущільнення в горизонтальному плоскому перетині.

Об'ємна деформація Θ , що характеризує ущільнення, як відомо, зв'язана з щільністю співвідношенням:

$$\Theta = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 \quad (1)$$

де λ_0 - початкова щільність;
 λ - щільність після деформації.

При невеликій щільності ґрунту і малих діаметрах порожнини, створеної ущільненням ґрунту при динамічному навантаженні (у нашому випадку заповненою палею), закономірність ущільнення навколо неї описується в [5] степеневою залежністю від відстані до вогнища збурювання. Ця відстань r від осі палі до довільної мітки в ґрунтовому масиві приймається безрозмірною r_0 , в умовних одиницях. У нашому випадку за таку одиницю зручно прийняти радіус палі $r_{св}$:

$$r_0 = r / r_{св} \quad (2)$$

Згадана залежність схематично показана на рис.1 та має вигляд:

$$\Theta(r_0) = \Theta^* \cdot r_0^{-v} \quad \text{при } r_0 \geq 1 \quad (3)$$

де Θ^* - граничне значення об'ємної деформації на границі порожнини ($r_0 = 1$);
 v - показник ущільнення, що залежить від складу, властивостей і вологості ґрунту.



Рис. 1. Графік зміни щільності та об'ємної деформації ґрунту навколо палі при невеликій початковій щільності λ_0 та малих діаметрах паль

За умовою зменшення об'єму переміщуваної в процесі ущільнення маси ґрунту при віддаленні від границі порожнини цей показник за абсолютною величиною повинен бути більший дивергенції напруг D (у вісесиметричній задачі, рівній 2) тому, що в іншому випадку робота ущільнення із видалення від палі зростає, тобто має місце нерівність:

$$v > D = 2 \quad (4)$$

При великій щільності ґрунту і великих діаметрах паль залежність ущільнення трохи інша. Біля палі виникає зона, де ґрунт досяг граничного ущільнення. У цій зоні, радіусом r_y , об'ємна деформація має граничну величину Θ^* , далі її загасання відбувається як і в першому випадку, але при інших значеннях r_0 і v . Закономірність зміни щільності навколо палі в цьому випадку, показана на рис. 2, описується кусково-ламаною функцією:

$$\begin{aligned} \Theta &= \Theta^* = \text{const} && \text{при } r_{св} \leq r \leq r_y \\ \Theta(r_{0*}) &= \Theta^* \cdot r_{0*}^{-v} && \text{при } r \geq r_y \\ r_{0*} &= r/r_y \end{aligned} \quad (5)$$

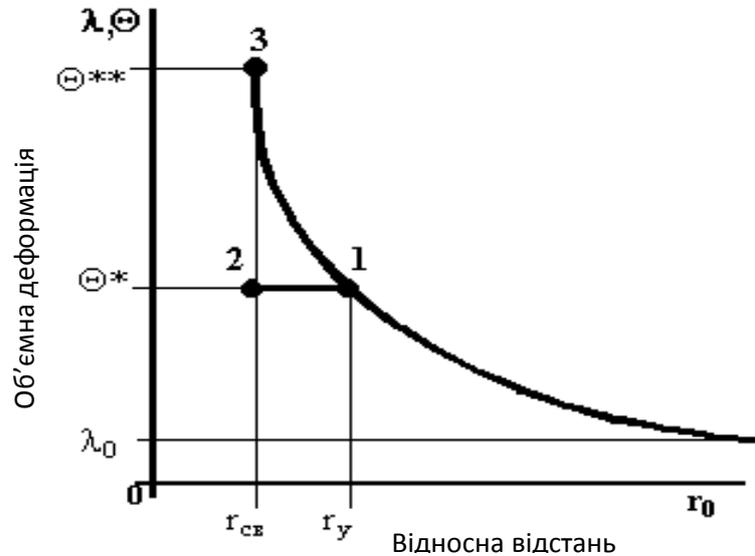


Рис. 2. Графік зміни щільності та об'ємної деформації ґрунту навколо палі при великій початковій щільності λ_0 та великих діаметрах паль (ділянка 1-2 – дійсна, 1-3 – фіктивна зміна деформації)

Визначимо питоме збільшення маси ґрунту Δm в ущільненій зоні, описане умовою (3). З однієї сторони воно дорівнює масі ґрунту витиснутої відповідним одиничним відрізком палі довжиною Δh :

$$\sum \Delta m = \pi \cdot r_{св}^2 \cdot \Delta h \cdot \lambda_0 \quad (6)$$

З іншої сторони збільшення маси за контуром палі, що йде на ущільнення плоского шару ґрунту висотою Δh , визначається об'ємною деформацією цього шару:

$$\Delta m = \pi \cdot r^2 \cdot \Delta h \cdot \lambda_0 \cdot \Theta \quad (7)$$

Елементарне збільшення маси з відстанню одержимо, підставивши в (7) значення Θ і замінивши r на r_0 згідно з (3) і (2), та продиференціюємо отримане рівняння за r_0 :

$$d\Delta m = 2 \cdot \pi \cdot r_{св}^2 \cdot \Delta h \cdot \lambda_0 \cdot \Theta^* \cdot r_0^{1-\nu} \cdot dr_0 \quad (8)$$

Отриманий вираз дозволяє визначити збільшення маси ґрунту в будь-якому об'ємі ґрунтового масиву від контакту з палею ($r_0 = 1$) до довільного кола з радіусом $r = r_n$, шляхом інтегрування в потрібних межах:

$$\Delta m = 2 \cdot \pi \cdot r_{св}^2 \cdot \Delta h \cdot \lambda_0 \cdot \Theta^* \cdot \int_1^n r_0^{1-\nu} \cdot dr_0 = 2 \cdot \pi \cdot r_{св}^2 \cdot \Delta h \cdot \lambda_0 \cdot \Theta^* \cdot (n^{2-\nu} - 1) / (2 - \nu) \quad (9)$$

Прийнявши n рівним нескінченності і прирівнявши отриманий вираз до правої частини рівняння (6), одержимо після нескладних перетворень формулу, що пов'язує показник ущільнення ν із граничним ущільненням Θ^* :

$$\nu = 2 \cdot \Theta^* + 2 \quad (10)$$

Аналогічним способом визначимо ту ж залежність для другого випадку, описуваного умовами (5). Вона має трохи складніший вигляд, оскільки величина показника ν тут залежить не тільки від граничної деформації Θ^* , але і від відношення радіусів палі і зони граничного ущільнення.

$$\Omega = r_y / r_{св} \quad (11)$$

Упускаючи аналогічні попереднім викладення і не даючи проміжних значень, наведемо аналогічну (10) кінцеву формулу:

$$v = 2 + 2 \cdot \Omega^2 \cdot \Theta^* / (1 + \Theta^* - \Omega^2 \cdot \Theta^*) \quad (12)$$

Розрахуємо об'ємну деформацію для двох варіантів $\Theta^* = 0,09$ (маловологий пісок) і $\Theta^* = 0,12$ (суглинки середньої вологості). Визначимо її при відносних відстанях, рівних 2, 3, 4, 5, 10 і 20 радіусів палі, використовуючи в першому випадку формулу (12) при $\Omega = 2$, у другому – формулу (10).

Співвідношення (10) і (12) дозволяють за експериментальними даними про граничне ущільнення ґрунту Θ^* визначити v , а потім розрахувати величину об'ємної деформації $\Theta(r)$ на потрібній відстані від її осі, зокрема такої, де потім буде проводитися забивання наступної палі куща.

Таблиця 1

Залежність об'ємної деформації від відносної відстані

$r/r_{св}$	1	2	4	6	10	20
$\Theta(r)$ (1 варіант, $v=2,85$)	0,09	0,09	0,0126	0,0039	0,0010	0,0001
$\Theta(r)$ (2 варіант, $v=2,24$)	0,12	0,0254	0,0052	0,0022	0,0006	0,0001

Висновки

Наведені співвідношення відтворюють математичну модель процесу деформації ґрунту при забиванні паль, а також дають можливість оцінити об'ємну деформацію ґрунту, обумовлену забиванням зближених паль в кущі. Перевагою кущів паль є, як відомо, їх більш висока, у порівнянні з одиничними палями, несуча здатність. Вона пов'язана з тим, що ущільнений при забиванні зближених паль ґрунт має набагато більшу несучу здатність, чим недеформований. Порівняння додаткових переваг і витрат дозволяє більш обґрунтовано вибрати найбільш економічний у даних умовах варіант фундаменту проектного будинку.

Список літератури

1. Цытович Н. А. Механика ґрунтов / Н. А. Цытович – М.: Госстройиздат, 1963. – 636 с.
2. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды / В. В. Соколовский. – М. : Госгортехиздат, 1963. – 478 с.
3. Черный Г. И. Изменение физико-механических свойств ґрунтов при динамических нагрузениях / Гелий Иванович Черный. – К. : Наукова думка, 1979. – 130 с.
4. Алейников С. М. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния системы “призматическая свая – основание” / С. М. Алейников, М. Д. Гончаров. – Одесса, 1997. – 320 с.
5. Титко О. В. Оцінка ефективності фундаментів з групи взаємозалежних паль / Титко О. В. – Вінниця, ВНТУ. – Монографія. – 2007. – 114 с.
6. Моргун А. І. Дослідження опору вертикальним навантаженням кущів з паль різної довжини / А. І. Моргун, О. В. Титко // Вісник Вінницького політехнічного інституту . – 2000. – № 5. – С. 9-11.
7. Титко О. В. Визначення деформацій основи фундаментів з групи паль методом наближеного моделювання / О. В. Титко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – № 4. – С. 14-16.

Титко Олег Васильович – к.т.н., старший викладач кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.