



УДК 666.97.003.16

М.П. Нестеренко, к.т.н., доцент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

РОЗРАХУНОК ФУНДАМЕНТІВ ДЛЯ ВІБРАЦІЙНИХ ПЛОЩАДОК ІЗ ПРОСТОРОВИМИ КОЛИВАННЯМИ РОБОЧОГО ОРГАНА МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

АНОТАЦІЯ. Наведено методику розрахунку фундаментів для вібраційних площадок із просторовими коливаннями методом скінчених елементів за вибраною розрахунковою схемою на основі програмного пакету програмного комплексу Plaxis 7.2”.

Ключові слова: вібраційна площадка, метод скінчених елементів, вимушуюча сила, фундамент.

АННОТАЦИЯ. Приведена методика расчета фундаментов для вибрационных площадок с пространственными колебаниями методом конечных элементов за выбранной расчетной схемой на основе программного пакета программного комплекса Plaxis 7.2”.

Ключевые слова: вибрационная площадка, метод законченных элементов, вимушуюча сила, фундамент.

ANNOTATION. The method of calculation of foundations is resulted for vibration grounds with spatial vibrations by the method of eventual elements after the chosen calculation chart on the basis of programmatic package of programmatic complex Plaxis 7.2”.

Keywords: vibration platform, method of eventual elements, revolting force, foundation.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. У сучасних умовах будівництва залізобетонні вироби користуються попитом. Промисловістю України та країн СНД віброформування обладнання серійно не випускається, і підприємства змушені самостійно його поповнювати в умовах дефіциту металу та комплектуючих виробів. Досить розповсюджене розроблене у ПолтНТУ вібраційне обладнання [1] з просторовими коливаннями робочого органа, яке постійно вдосконалюється.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми. Вібрації впливають на ріст деформацій і осадок як самих фундаментів машин, так і споруд розташованих поблизу. Вібрації і шум утруднюють технологічні процеси і чинять шкідливий фізіологічний вплив на людей, підвищуючи втомлюваність працюючих. Головним заходом боротьби з вібраціями являється вірне влаштування фундаментів під машини, що можливе при наявності науково обґрунтованих методів проектування таких фундаментів.

Метою даної роботи є розроблення методики розрахунку фундаментів для вібраційних площадок із просторовими коливаннями методом скінчених елементів за вибраною розрахунковою схемою на основі програмного пакету програмного комплексу Plaxis.

Виклад основного матеріалу дослідження. Визначення амплітуд вимушених і вільних коливань фундаменту або окремих його елементів проводиться роздільно за напрямками і відповідними частотами [2, 3]. Фундаменти під формувальні машини піддаються навантаженням, (амплітуди вертикальних коливань не перевищують амплітуди горизонтальних коливань). Для нормальних умов експлуатації машин та фундаментів амплітуди коливань повинні задовольняти умову [2].

$$A \leq A_{\text{доп}} \quad (1)$$

де A – найбільша амплітуда коливань фундаменту, що визначається розрахунком чи вимірюванням;

$A_{\text{доп}}$ – гранично допустима амплітуда коливань фундаменту [2].

При дії динамічних навантажень основа приймається лінійно-деформованою, ідеально пружно-в'язкою і позбавленою маси (неврахування інерції). В'язкість основи зумовлена демпфіруючими властивостями ґрунту.

Фундаменти під такі формувальні машини для виробництва збірного залізобетону слід проектувати масивними у вигляді блоків. У таких машинах застосовуються гумометалеві пружні опори.

Вихідними даними для розрахунку є: вертикальне статичне навантаження $P_{в ст.}$, вертикальне динамічне навантаження $P_{в д.}$, горизонтальне динамічне навантаження $P_{г д.}$, обертальний момент від роботи вібратора M , частота коливань.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розрахунок фундаменту проводимо методом скінчених елементів за допомогою програмного пакету Plaxis 7.2 [4, 5], який призначений для визначення деформацій та стійкості геотехнічних споруд. Проектування геотехнічних споруд вимагає складання дискретних моделей для моделювання нелінійної реологічної поведінки ґрунту. Оскільки ґрунт є багатошаровим матеріалом, який складається із декількох фаз, необхідні спеціальні розрахунки для моделювання гідростатичного та негідростатичного порового тиску в ґрунті. Plaxis 7.2 володіє спеціальними можливостями для роботи з багатьма аспектами складних геотехнічних споруд, він може бути застосований для вирішення більшості задач у сфері традиційної механіки ґрунтів. Він охоплює питання закладення та спорудження фундаментів, земляних робіт (влаштування котлованів, траншей тощо), будівництва підпірних стін, розрахунку стійкості відкосів, розрахунків дорожнього насипу. Програмний комплекс має всі можливості вводу-виводу інформації на екран у зручному для користувача інтерфейсі (у табличній чи графічній формі за допомогою графіків та рисунків).

У постановці пружно-пластичної задачі прийняті наступні передумови:

–враховані прояви нелінійності містять пластичну деформацію формозміни при складному напруженому стані, безперешкодне деформування при розтязі, зсув по заданій поверхні;

–при складному напруженому стані (стиску зі зсувом) загальні деформації включають в себе лінійну (пружну) та пластичну частини, причому пластична складова деформацій виникає після досягнення напруженим станом граничної міцності і відповідності з умовою Мора-Кулона для плоскої задачі

Для моделювання шарів ґрунту й інших груп (кластерів) при розрахунку вибираємо трикутні елементи з 6 або 15 вузлами (рис. 1). За умовчанням використовуються 15-вузлові трикутники. Це забезпечує для переміщень інтерполяцію четвертого порядку і використовує чисельну хінтеграцію по дванадцяти гауссовських точках напружень. У разі 6-ти вузлових трикутників має місце інтерполяція другого порядку, а інтеграція проводиться по трьох точках напружень. Тип елементів для структурних елементів і контактних поверхонь автоматично вибираються з умови сумісності з типом елемента ґрунту.

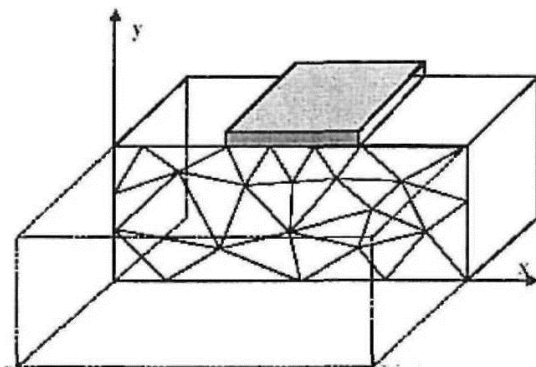


Рисунок 1. Приклад розрахункової схеми при обчисленні за програмним комплексом PLAXIS.

Як показує досвід, 15-вузловий трикутник є дуже точним елементом, який забезпечує високий ступінь надійності розрахунків напружень у складних випадках. Проте використання 15-вузлових трикутників потребує значних витрат пам'яті, уповільнює роботу системи і знижує її ефективність. Тому на практиці, за умови використання достатньої кількості елементів, застосовують трикутні 6-ти вузлові елементи, що дає задовільні результати для стандартних деформаційних задач.



Один 15-ти вузловий елемент може бути представлений з'єднанням чотирьох 6-вузлових елементів (оскільки загальне число вузлів і точок напружень рівне). Проте, один 15-ти вузловий елемент ефективніший, ніж чотири 6-вузлові елементи [3].

Для зв'язку напружень і пружних деформацій у розрахунках використано закон Гука.

Нелінійна пружно-пластична модель за умовою Мора – Кулона дає змогу з більшою точністю описати поведінку ґрунту при статичних і динамічних навантаженнях, але через складності математичного апарату застосовується лише у розрахунках на ПЕОМ. При дослідженні динамічних характеристик та осідань фундаментів із використанням такого програмного комплексу першим кроком після побудови розрахункової схеми було проведення обчислень від дії статичного навантаження, наступним кроком – динамічний розрахунок. При розрахунку розглядається плоска задача [6].

Загальний ітераційний процес може бути описаний як

$$K^i \delta u^i = f_{ex}^i - f_{in}^{i-1}, \quad (2)$$

де K – матриця жорсткості;

δu – вектор приросту переміщення;

f_{ex} – вектор зовнішньої сили;

f_{in} – вектор внутрішньої реакції.

На початку ітераційного процесу формується вектор вузлових сил. Елементами цього вектора є значення вузлових сил.

Основне рівняння руху від впливу динамічного навантаження, що залежить від часу дії навантаження,

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F, \quad (3)$$

де M – матриця мас;

u – переміщення;

C – матриця затування;

K – матриця жорсткості;

F – сума діючих сил.

З неявним інтегруванням рівняння (3), яке містить час $t + \Delta t$ отримуємо

$$M\ddot{u}^{t+\Delta t} + C\dot{u}^{t+\Delta t} + Ku^{t+\Delta t} = F^{t+\Delta t}. \quad (4)$$

У такій формі рівняння застосовано для розрахунку амплітуд коливань і осідань фундаментів машин. Різниця між статичним розрахунком у додаткових величинах для маси і затування. Вирази у правій частині рівняння містять додаткові значення першої та другої похідної від вібропереміщення на початку часового кроку (час Δt) [6].

При проведенні геотехнічних розрахунків необхідна наявність основних ґрунтових моделей для імітації нелінійної і нестационарної поведінки ґрунтів. При цьому слід обов'язково враховувати і сам субстрат ґрунту як такий, гідростатичний і негідростатичний поровий тиск в ній. Таким чином, основний акцент робиться саме на взаємодії ґрунту і тих споруд, які можуть бути зведені на даній ділянці.

Уведення геометрії шарів ґрунту, конструкції, навантажень і граничних умов базується на САД-процедурах креслення, які забезпечують докладне і точне моделювання реальної ситуації. Для введення геометрії в PLAXIS представлені такі елементи, як балка, шарнір, анкери, граничні умови, навантаження, які використані при побудові розрахункової схеми фундаменту вібромашини [3].

Із створеної геометричної моделі програма в автоматичному режимі генерує неструктуровану звичайно-елементну сітку з можливістю глобальної і локальної зміни її густини. Використання в моделі елементів високого порядку корисно для рівномірного розподілу напружень у ґрунті і точного прогнозу неприпустимих навантажень.

Для кожного шару ґрунту можна виділити різні рівні ґрунтових вод. Більш того, поровий тиск у шарі інтерпольований від порового тиску у суміжних шарах ґрунту.

При виконанні розрахунків PLAXIS запущений у режимі автоматичного вибору кроку величини і кроку часу. Це дозволяє уникнути вибору відповідного приросту навантаження для розрахунків пластичності, що гарантує ефективність і точність процесу обчислень.

Пружно-пластична модель основана на умові Мора – Кулона базується на таких параметрах, як: модуль пружності та коефіцієнт Пуассона, кут φ і питоме зчеплення.

Загальні деформації включають лінійну (пружну) і пластичну частини, причому пластична складова деформацій виникає після досягнення напруженим станом межі пропорційності (текучості, міцності).

Основний принцип при використанні даної моделі основи – деформації і напруження мають пружну і пластичну частину

$$\bar{\varepsilon} = \bar{\varepsilon}^e + \bar{\varepsilon}^p. \quad (5)$$

де ε – загальна деформація; ε^e , ε^p – пружна і пластична частина деформації [2].

Обраховано значення максимальної амплітуди коливань фундаменту в точках А, В, С. Для визначення амплітуд вібропереміщень використано 150 – 200 додаткових кроків розрахунку. Проведено дослідження амплітуди коливань фундаменту вібромашини від кількості елементів у площі обмеженій розрахунковою схемою (рис. 2).

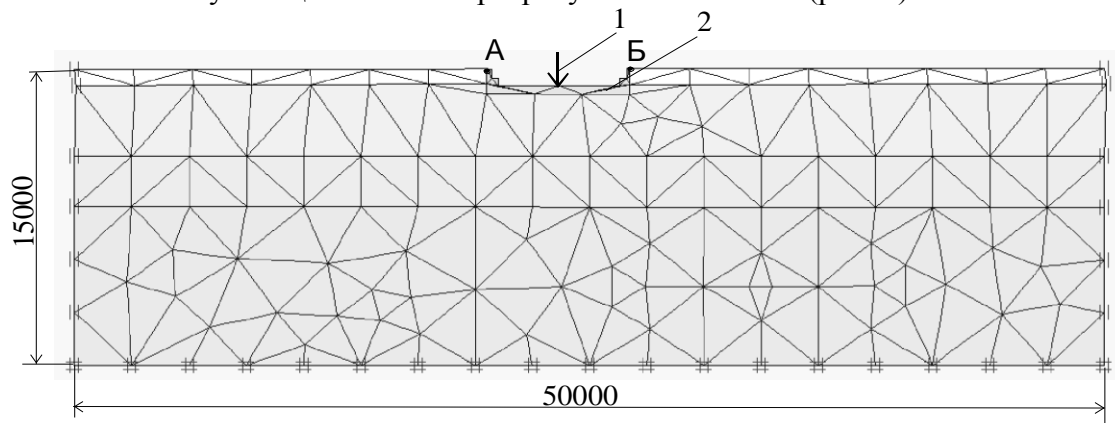


Рисунок 2. Розрахункова схема для обчислення амплітуд коливань фундаменту вібромашини: 1- вертикальне динамічне навантаження; 2- фундамент вібромашини.

Досліджено можливість врахування тріщин за допомогою чисельного методу. Плоска розрахункова схема розміром 15×50 м являла собою сітку елементів. За методом скінченних елементів побудовано ізополя амплітуд коливань фундаменту вібромашини (рис. 3.). Максимальне значення амплітуди коливань фундаменту становить близько $0,26 \cdot 10^{-3}$ м. Що при порівнянні значень визначених за допомогою методу скінченних елементів показало задовільну збіжність результатів розрахунку.

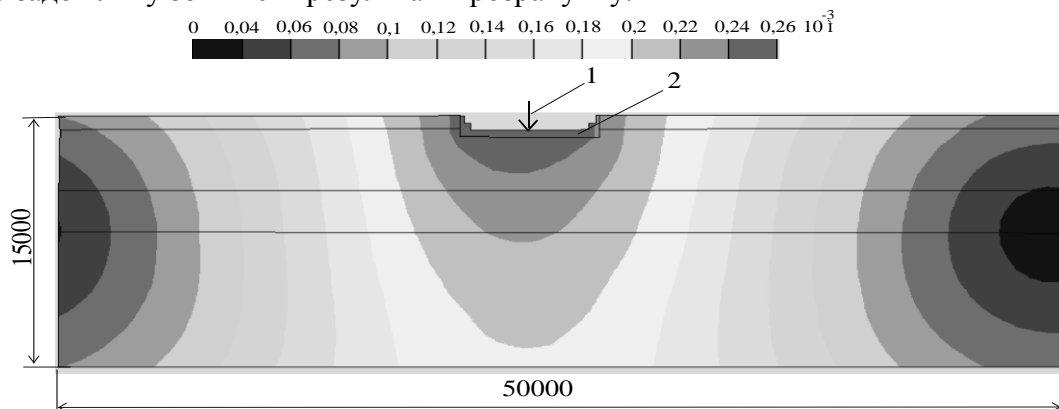


Рисунок 3. Ізополя амплітуд коливань фундаменту вібромашини: 1- вертикальне динамічне навантаження; 2- фундамент вібромашини.



Висновок. Запропонована методика розрахунку фундаментів для вібраційних площадок із просторовими коливаннями методом скінчених елементів за вибраною розрахунковою схемою на основі програмного пакету програмного комплексу Plaxis 7.2 дозволить проектувати фундаменти для конкретних ґрунтів.

Література

1. Нестеренко М. П. Вібраційні площадки з просторовими коливаннями для виготовлення залізобетонних виробів широкої номенклатури // Збірник наукових праць (Галузеве машинобудування, будівництво). –Полтава: ПолтНТУ, 2005. –Вип. 16. –С.177-181.
2. Фундаменты машин с динамическими нагрузками: СНиП 2.02.05–87.– [Действующий с 1985–01–01]. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 32 с.
3. Руководство по проектированию фундаментов машин с динамическими нагрузками. – М.: Стройиздат, 1982. - 207 с.
4. Патронова О.С. PLAXIS – инструмент инженера-геотехника. Примеры расчетов // CADmaster №13/3.2002 (июль-сентябрь) –С. 62-65.
5. Першина С. В. PLAXIS – Программный пакет для расчета деформаций и устойчивости геотехнических сооружений методом конечных элементов / С. В. Першина, А. В. Слободяник // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2003. – Вип. 12. – С. 158 – 163.