

КОМБІНОВАНІ МАСИВНО-ПЛИТНІ ФУНДАМЕНТИ ПІД МАШИНИ З ВЕРТИКАЛЬНИМ ІМПУЛЬСНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Ландо Є.О., Кірічек Ю.О.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
м. Дніпро, Україна

АНОТАЦІЯ: Визначено основні закономірності впливу характеристик плит на коливання комбінованого масивно-плитного фундаменту під дією вертикальних імпульсних навантажень. Встановлено залежності динамічних характеристик: власних частот, амплітуд і згасання коливань від параметрів основ та фундаментів.

АННОТАЦИЯ: Определены основные закономерности влияния характеристик плит на колебания комбинированного массивно-плитного фундамента под действием вертикальных импульсных нагрузок. Установлены зависимости динамических характеристик от параметров оснований и фундаментов.

ABSTRACT: The vibrations of the combined massive plate foundation under the action of the vertical impulsive loading were studied. The soil characteristics and footing dimensions dependences on the dynamic behaviors of combined massive plate foundation were set.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: комбінований масивно-плитний фундамент, імпульсні навантаження, раціональні конструкції, машини з динамічним навантаженням ударної дії, інтенсивність коливань.

ВСТУП

Удосконалення методів розрахунку та проектування фундаментів під машини з імпульсним навантаженням - важлива проблема в будівельній практиці. Такі навантаження є причиною вібрацій фундаментів, які, у свою чергу, викликають коливання ґрунтової основи будівель і споруд та

приводять до нерівномірних осідань конструкцій. Низькочастотні коливання ґрунту, характерні для машин ударної дії, можуть передаватися на значні відстані та приводять до утворення «промислової сейсміки». Дія коливань, що приходять крізь ґрунт, порушує роботу приладів і устаткування, погіршує умови роботи персоналу, що знаходяться в зоні їх впливу. Раціональні конструкції фундаментів, підібрані на основі науково обґрунтованих методів проектування, вирішують задачу підвищення надійності таких об'єктів. Особливого значення це набуває в умовах підприємств із обладнанням ударної дії, тому що відкази в даному випадку пов'язані із порушенням не тільки самих машин і фундаментів, але і навколишніх будівель та споруд. Застосування масивно-плитних фундаментів для зниження вібрації та обмеження поширення коливань у ґрунті від фундаментів під машини з вертикальним імпульсним навантаженням є задачею цієї роботи.

Питанню вивчення коливань фундаментів під дією вертикальних імпульсних навантажень присвячені роботи А.А. Абашидзе, Г.Г. Аграновського, Б.К. Александрова, А.І. Байцур, Д.Д. Баркана, Б.Л. Білоцерківського, М.І. Забіліна, В.А. Ільчева, Г.Г. Капленко, Ю.О. Кірічека, Б.Г. Коренева, Г.М. Левченко, Н.Я. Лучковського, Н.П. Павлюка, О.О. Петракова, В.М. Пятецького, О.О. Савинова, А.А. Саннікова, В.Л. Седіна, Л.Р. Ставніцера, В.Г. Таранова, Є.І. Часова, В.Б. Швеця, Н.С. Швець, І.С. Шейніна, О.Я. Шехтер та інших авторів. Дослідженню впливу плит на коливання фундаментів присвячені роботи Д.Д. Баркана, Г.Г. Аграновського, І.В. Андріанова, Ю.О. Кірічека, Б.Г. Коренева, Н.П. Павлюка, В.М. Пятецького, О.О. Савинова, В.Л. Седіна, Н.С. Швець, В.Б. Швеця [1].

Результати досліджень коливань масивно-плитних фундаментів вказують на те, що комбіновані масивно-плитні фундаменти під машини з періодичними навантаженнями мають перевагу перед традиційними масивними завдяки можливості вибору в більш широкому діапазоні динамічних характеристик – власних частот, а отже й амплітуд вимушених коливань [2].

Мета статі - за результатами досліджень встановити закономірності динаміки комбінованих масивно-плитних фундаментів під машини з вертикальним імпульсним навантаженням, розробити аналітичні методи розрахунку комбінованих масивно-плитних фундаментів на ґрунтовій основі при дії вертикального імпульсного навантаження.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Комбіновані масивно-плитні фундаменти складаються з масиву та тонких горизонтальних плит в ґрунті. Формування динамічних характеристик забезпечують раціональним рішенням масивної і плитної частини фундаменту. Для досягнення мінімальної інтенсивності коливань фундамен-

тів необхідний фундамент із двома плитами, розташованими поверху і понижу фундаменту. Розміри і кількість плит необхідно підбирати із розрахунку фундаменту на коливання. Збільшення висоти фундаменту обґрунтовано для важких машин і при будівництві на слабких ґрунтах. При дії вертикальних динамічних навантажень можна обмежитися фундаментом з нижньою плитою.

На підставі виконаного аналізу вільних коливань фундаментів встановлено, що інтенсивність коливань фундаменту залежить від жорсткості основи, зі збільшенням жорсткості зменшується амплітуда коливань. Збільшення площі підшоши фундаменту збільшує жорсткість основи, що зменшує його амплітуду коливань. Чим більше жорсткість основи, тим вище частота вільних коливань та тим більше згасання коливань. Згасання коливань у масивно-плитних фундаментах набагато більше, ніж у масивних, тому що в них більше площа контакту з ґрунтом, через яку відбувається випромінювання енергії коливань у ґрунт.

З метою вивчення взаємодії комбінованих масивно-плитних фундаментів з ґрунтовою основою виконані теоретичні дослідження коливань фундаментів реальних розмірів. Такі дослідження дозволяють оцінити ефективність комбінованих масивно-плитних фундаментів з точки зору здатності сприймати імпульсні навантаження, визначити основні залежності характеристик їх коливань від параметрів фундаменту, а також визначити передумови аналітичних розрахунків фундаментів.

Для розв'язання такої задачі був використаний проектно-обчислювальний комплекс Robot Millenium. Програмний комплекс забезпечує розрахунки просторових комбінованих систем із плит та масивних тіл на ґрунтовій основі. Розрахунки виконувалися на ударні впливи та статичні навантаження методом кінцевих елементів (МКЕ).

Виконані дослідження впливу конструктивних особливостей фундаментів на характеристики їх коливання під дією вертикального імпульсного навантаження. Метою чисельного дослідження є визначення ефективності застосування масивно-плитного фундаменту під машини з імпульсним навантаженням у порівнянні з традиційним масивним. За програмою досліджень виконаний аналіз залежності максимальної амплітуди коливань масивно-плитного фундаменту від характеристик основи і фундаменту. Результати розрахунків масивно-плитних фундаментів зіставлені з результатами розрахунків відповідних традиційних масивних фундаментів.

Проведений аналіз отриманих результатів свідчить про те, що змінювати характеристики коливань масивних фундаментів, традиційно застосовуваних для машин ударної дії, за рахунок варіювання їх розмірів немає достатніх можливостей. Так, динамічні характеристики масивних фундаментів (частоту власних коливань, амплітуду коливань,

демфування) неможливо істотно змінити за рахунок розмірів фундаменту в межах габаритів установки, як того вимагають будівельні норми.

Порівняння характеристик коливань фундаментів однакової маси масивно-плитного та масивного показує, що в момент удару тієї ж інтенсивності динамічне переміщення в 3,5 рази менше у масивно-плитного фундаменту, ніж у масивного. Крім того, згасання коливань відбувається в 1,6 рази швидше, а частота власних коливань у 3,8 рази вище. Коливання масивного-плитного фундаменту меншої інтенсивності та швидше загасають у порівнянні із масивним фундаментом. Перший логарифмічний декремент визначений на підставі максимального переміщення фундаменту (A_z) і значення другої амплітуди переміщення. Для масивного фундаменту другий і наступний логарифмічний декремент в 3,7...3,8 рази, а для масивного-плитного фундаменту в 5...6 разів нижче, ніж перший.

Крім того, той факт, що частота власних коливань масивно-плитних фундаментів в декілька разів вища від частоти коливань масивних фундаментів свідчить про те, що динамічні впливи масивно-плитних фундаментів на споруди та будівлі, що їх оточують, значно менші, ніж у масивних фундаментів, що розповсюджені зараз на промислових об'єктах. Доведено практично, що промислові будівлі, в яких розташовані машини з імпульсним навантаженням ударної дії, мають великі нерівномірні деформації, в деяких випадках більші допустимих нормами через те, що частота власних коливань будівельних конструкцій близька до частоти власних коливань джерела вібрації – масивних фундаментів (у діапазоні 7...15 Гц). Тому будівельні конструкції вібрують в резонансному режимі, або в близькому до нього, а це вкрай небезпечно для всякого роду конструкцій.

Для визначення впливу конструктивних особливостей на коливання масивно-плитних фундаментів розглянуті різні розрахункові схеми. Перша схема – масивний фундамент, друга схема використовує масив і плити в рівні підшви й обрізу фундаменту. Також проведені дослідження вертикальних коливань комбінованих масивно-плитних фундаментів з верхнім або нижнім розташуванням плити, у рівні підшви та у рівні обрізу фундаменту.

Маса масивного фундаменту тут була в 1,7 рази більше, ніж масивно-плитного з двома плитами та у 2,2 рази більше масивного-плитного фундаменту з однією плитою. В результаті частота власних коливань масивного фундаменту на 53% нижче, ніж масивно-плитного фундаменту з двома плитами, на 26% нижче, ніж масивно-плитного фундаменту з плитою в рівні обріза, і на 37% нижче, ніж масивно-плитного фундаменту з плитою в рівні підшви. Максимальне переміщення масивно-плитного фундаменту

з двома плитами на 23% нижче, логарифмічний декремент вище в 2,1 рази, ніж масивного.

Таким чином, частота власних коливань масивно-плитного фундаменту з двома плитами практично в два рази більше, ніж масивного. Переміщення на 23% менше і згасання відбувається більше як в два рази швидше, ніж у масивного. При цьому маса масивного-плитного фундаменту менша маси масивного на 42%.

Виконані дослідження свідчать про те, що для машин з імпульсним навантаженням конструкція масивно-плитного фундаменту більш ефективна у порівнянні з масивним фундаментом. Це підтверджує і регресійний аналіз динамічного розрахунку масивно-плитних фундаментів на дію імпульсного навантаження. При такому аналізі застосування теорії планування експерименту дало можливість вибрати впливові параметри моделей фундаментів та спланувати достатню кількість розрахунків для вирішення поставленої задачі [2].

В якості факторів, які впливають на пружно-демпфуючі характеристики, були прийняті такі параметри фундаментів: товщина плит - T , м; виліт плит - L , м; відстань між плитами - H , м; довжина фундаменту - A , м; навантаження - Q , т. Як відгук у досліджуваних моделях виступали динамічні характеристики фундаментів: частота власних коливань f , максимальне вібропереміщення фундаменту A_z , віброшвидкість V_z , віброприскорення W_z , логарифмічний декремент коливань D_1 . Підхід планування шляхом почергового варіювання параметрів моделі, дозволив розширити можливості багатofакторного експерименту. Відповідно до розробленої методики проведено моделювання і розрахунок п'ятдесяти одного комбінованого масивно-плитного фундаменту різних розрахункових схем. За результатами проведених розрахунків побудовані залежності динамічних характеристик фундаментів від змінюваних факторів [3]. На підставі виконаних динамічних розрахунків встановлено вплив параметрів фундаменту на характеристики його коливань. З отриманих даних можна якісно і кількісно встановити вплив товщини плити, вильоту плит, відстані між плитами і довжини фундаменту на частоту власних вертикальних коливань f , вібропереміщення A_z , віброшвидкість V_z , віброприскорення W_z , логарифмічний декремент коливань D_1 .

На підставі теоретичних досліджень, що охопили широкий діапазон зміни параметрів системи, визначені основні закономірності впливу характеристик плит на вільні коливання масивно-плитного фундаменту [4]. Виконана статистична обробка багатомірної вибірки свідчить, що досліджувані ознаки відповідають нормальному закону розподілу. У підсумку рівняння регресії мають наступний вигляд.

Максимальне динамічне переміщення фундаменту:

$$A_z = 93,4 - 21,6L - 13,0A + 3,1Q. \quad (1)$$

Частота коливань:

$$f_z = 24,9 - 42,5T + 19,7L - 9,7H + 6,7A. \quad (2)$$

Віброшвидкість коливань:

$$V_z = 3,0 - 0,8L - 0,4A + 0,1Q. \quad (3)$$

Віброприскорення коливань:

$$W_z = 445,8 - 51,8L - 83,4A + 21,7Q. \quad (4)$$

Логарифмічний декремент:

$$D_1 = 3,3 - 0,5H + 0,3A. \quad (5)$$

Отримані рівняння регресії свідчать, що на зменшення динамічного переміщення масивно-плитного фундаменту найбільший вплив має висота плит. Збільшення вильоту плит при постійній товщині 0,3 м і довжині фундаменту 5 м приводить до зменшення амплітуди максимального вібропереміщення, при цьому спостерігається різка зміна амплітуди при наявності плити і без неї (на 76%). На збільшення частоти коливань масивно-плитного фундаменту найбільший вплив має висота плит і довжина фундаменту, на зменшення віброшвидкості масивно-плитного фундаменту - висота плит. Фундамент із великою відстанню між плитами має інтенсивність коливань нижче, тому що більший масив ґрунту включений до розсіювання енергії коливань [5].

За результатами чисельних досліджень встановлено, що комбіновані масивно-плитні фундаменти мають більш високу власну частоту в порівнянні з масивними фундаментами. Це приводить до посилення згасання коливань і зростання різниці між власними коливаннями фундаменту та власними коливаннями будівельних конструкцій споруд, що, в свою чергу, сприяє зниженню інтенсивності вібрації будівель та споруд.

Аналіз впливу товщини плит масивно-плитного фундаменту на його характеристики коливань свідчить про те, що раціональним є такий фундамент, у якого товщина плит мінімальна за конструктивними вимогами.

Проведені теоретичні дослідження коливань комбінованих масивно-плитних фундаментів підтвердили їх більш високу ефективність у порівнянні з масивними та заклали основу для розробки аналітичних методів розрахунку та проектування раціональних конструкцій фундаментів.

Порівнювані аналітичні дослідження і дослідження, отримані методом кінцевих елементів, задовільно сходяться. Запропоновані спрощені розрахункові формули дозволяють підбирати необхідні параметри плит для зниження рівня коливань масивно-плитних фундаментів під машини з імпульсними навантаженнями. Приведені розрахункові формули та отримані рівняння дозволяють визначити основні розміри масивно-плитних фундаментів під машини з динамічними навантаженнями. Їх застосування доцільне для попередніх розрахунків при проектуванні масивно-плитних фундаментів і відповідного підбору їх розмірів.

ВИСНОВКИ З ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗРОБОК ЗА ДАНИМ НАПРЯМОМ

1. На підставі досліджень, що охопили широкий діапазон зміни параметрів системи, визначені основні закономірності впливу характеристик плит на коливання комбінованого масивно-плитного фундаменту під дією вертикальних імпульсних навантажень. Встановлено залежності динамічних характеристик: власних частот, амплітуд і згасання коливань від параметрів основ та фундаментів. Результати чисельних розрахунків зіставлені з отриманими аналітичними рішеннями для розрахунку вертикальних коливань комбінованих масивно-плитних фундаментів.

2. Проведені дослідження коливань комбінованих масивно-плитних фундаментів підтвердили більш високу їх ефективність при сприйнятті вертикальних імпульсних навантажень у порівнянні з масивними, заклали основу для проектування раціональних конструкцій фундаментів. Застосування комбінованих масивно-плитних фундаментів під машини ударної дії дозволяє істотно знизити інтенсивність їх коливань, при цьому згасання коливань значно зростає, що сприяє зменшенню динамічних впливів на навколишні будівлі, споруди та устаткування.

3. Запропоновано нові удосконалені методи розрахунку комбінованих масивно-плитних фундаментів під машини з вертикальним імпульсним навантаженням. Методика розрахунку і проектування таких фундаментів дозволяє істотно знизити інтенсивність їх коливань та підвищити надійність роботи фундаментів, установленого на них обладнання та оточуючих будівель і споруд; результати досліджень використані при розробці практичних рекомендацій із розрахунку і проектування масивно-плитних фундаментів під машини ударної дії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ландо Е.А. Массивно-плитные фундаменты под машины с вертикальной импульсной нагрузкой: дис ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Ландо Е.А. – Дн-вск, 2008. – 181 с.
2. Киричек Ю.А. Комбинированные массивно-плитные фундаменты. Ресурсосберегающие методы расчета и проектирования / Киричек Ю.А. — Днепрпетровск: ПГАСА, 2001. – 207 с.
3. Ландо Е.А. Анализ вертикальных свободных колебаний комбинированных массивно-плитных фундаментов / Ландо Е.А., Киричек Ю.А. // Теоретичні основи будівництва: зб. наук. праць. – Варшава: ПДАБА та Варшавський технічний університет, 2007. – №15. – С. 425–432.
4. Киричек Ю.А. Влияние характеристик массивно-плитного фундамента на колебания при действии импульсной нагрузки / Киричек Ю.А., Ландо Е.А.,

Молчанов А.В. // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов ПГАСА. - Вып. 45, ч.1, - Дн-вск: ПГАСА, 2008. - С. 206–209.

5. Ландо Е.А. Анализ уравнений регрессии свободных колебаний комбинированных массивно-плитных фундаментов / Ландо Е.А., Киричек Ю.А. // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. - Вып. 41, ч.3. - Днепропетровск: ПГАСА, 2007. - С. 34–38.

REFERENCES

1. Lando E.A. Massyvno-plytne fundamentu pod mashynu s verty-kal'noy ympul'snoy nahruzkoj: Dys ... kand. tekhn. nauk: 05.23.02. - Днепр-ропетровск, 2008. - 181 s.
2. Курычек Ю.А. Комбинированные массивно-плитные фундаменты. Resursosberehayushchye metodu rascheta y proektyrovanyya. Курычек Юрий Александрович. - PHASA. - Днепропетровск: 2001. - 207 s.
3. Lando E.A., Курычек Ю.А. Analiz vertykal'nykh svobodnykh kolebanyy kombynyrovannykh massyvno-plytnykh fundamentov // Zbirnyk naukovykh prats' «Teoretychni osnovy budivnytstva» PDABtaA ta Varshavs'koho tekhnichnoho universytetu. - Varshava, 2007. - #15. - S. 425–432.
4. Курычек Ю.А., Ландо Е.А., Молчанов А.В. Vliyanye kharakterystyk massyvno-plytneho fundamenta na kolebanyya pry deystvyi ympul'snoy nahruzky. Stroytel'stvo, materialovedenye, mashynostroenye // Sb. nauchn. trudov. Вып. 45, ч.1, - Дн-вск, PHASA, 2008. - S. 206–209.
5. Lando E.A., Курычек Ю.А. Analiz uravneniy rehressiy svobodnykh kolebanyy kombynyrovannykh massyvno-plytnykh fundamentov // Stroytel'stvo, materialovedenye, mashynostroenye: Sb. nauchn. trudov. Вып. 41, ч.3. - Днепропетровск: PHASA, 2007. - S.34–38.

Стаття надійшла до редакції 26.07.2016 р.