

УДК 69.002.5

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ СКЛАДНОЇ СТРУКТУРИ

Назаренко І.І., Дєдов О.П., Свідерський А.Т., Ручинський М.М., Сліпецький В.В.
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

У роботі розглянутий процес передачі та розповсюдження коливань технологічного обладнання. Однією з проблем при дослідженні вібраційних процесів є оцінка вібраційної дії технологічного обладнання на несучі елементи конструкції, метою якої є виявлення внутрішніх резонансів системи, встановлення впливу вищих гармонік тощо.

Запропонований підхід в основу якого покладена гіпотеза про розгляд будь-якої технічної конструкції і технологічного обладнання, що має динамічний вплив, як єдиної системи із відповідними їй динамічними характеристиками. Реалізація такого підходу може бути здійснена шляхом визначення інтегральних динамічних параметрів системи з подальшим аналізом і встановленням причинно-наслідкових зв'язків. В ході дослідження використовувалися записи безперервної фіксації параметрів динамічної дії на елементах досліджуваних систем, які були визначені на основі попереднього аналізу. Для визначення необхідного ефективного методу представлення результатів були використані записи безперервної фіксації вібраційного процесу із відомою частотою зовнішнього впливу. Подальша обробка таких результатів на основі спектрально-кореляційного методу дозволила визначити ефективний спосіб визначення основної частоти, виявити вплив вищих гармонік та сторонніх частот, які непритаманні досліджуваному процесу. Розглянуті спектри коливань в лінійній та логарифмічній шкалі за прискоренням та спектральної потужності.

Отримані результати досліджень можуть слугувати основою при розробці методик і технологій діагностування та моніторингу, створенні машин технологічного призначення та розрахунку будівельних конструкцій при дії динамічного навантаження техногенного походження.

Ключові слова: спектр коливань; власні частоти коливань; динамічне навантаження; вібраційна діагностика; спектральна потужність.

На сучасному етапі розвитку будівельної індустрії виникає необхідність впровадження таких технологій та машин, які дають можливість забезпечити високу якість готового продукту, суттєве зменшення енерговитрат та підвищену продуктивність. Реалізація таких вимог можлива лише при застосуванні вібраційних машин з складним характером руху робочих органів: зі змінним в часі амплітудно-частотним режимом коливань та з нелінійними характеристиками, застосовування ефектів комбінаційних резонансів тощо. Поряд з дослідженням динамічних явищ, які протікають безпосередньо при реалізації технологічного процесу актуальним завданням є оцінка впливу такого обладнання на несучі конструкції. В загальному випадку мова йде про систему, яка підкорена загальним законам руху. Але поряд з тим, враховуючи складність системи, кількість її структурних елементів та варіації можливих їх коливань, дослідження параметрів таких систем є досить складною задачею. Труднощі, які виникають при таких дослідженнях пов'язані із відсутністю загальноприйнятих моделей, які описують загальну систему взаємодії; відсутністю даних про ті чи інші характеристики об'єктів взаємодії та законів передачі енергії між окремими підсистемами. Вивчення поведінки будівельних конструкцій під впливом динамічного навантаження є актуальним напрямком як теоретичних так і експериментальних досліджень.

Дослідженню руху динамічних систем присвячено багато робіт, що являють собою аналіз і синтез механічних віброударних систем. Широка область застосування та ефективність вібраційних технологій і процесів в різних галузях відмічається в роботах [1–5]. Це вібраційна техніка для виготовлення плоских плит [1], ущільнення цементобетонних

сумішей [2], транспортування і ущільнення матеріалів [3, 4], подрібнення матеріалів [5]. Поведінку коливальних систем, схильних до дії випадкових сил, необхідно вивчати однаковими методами уявлення як самих випадкових впливів, так і випадкових реакцій коливальних систем на ці впливи. Вібраційний аналіз є одним із експериментальних методів оцінки технічного стану і виявлення дефектів динамічних систем. Як правило, при застосуванні такого методу використовується спектральний аналіз на основі перетворення Фур'є, за допомогою якого визначаються частоти коливань. А на основі значень отриманих частот коливань здійснюється подальша оцінка про технічний стан досліджуваного об'єкту та наявність дефектів. Труднощі, які виникають при дослідженні складних технічних систем таким методом, пов'язані з встановленням природи випадкових впливів та однозначну інтерпретацію результатів аналізу. Так як поряд з дійсними фізичними процесами, які притаманні досліджуваній системі мають місце і хибні результати аналізування, пов'язані з помилками математичного апарату, недосконалістю вимірювальних приладів та впливом зовнішніх факторів випадкового характеру. Дослідження на основі вимірювань прискорень наведені у роботі [6]. На основі побудованого спектру коливань визначаються власні частоти коливань. Викладена методика може бути використана при дослідженні більш складних динамічних систем. Подана методика застосування експериментальних досліджень вібрації та їх обробка. Запропоновано вдосконалення розрахункової моделі на основі отриманих динамічних характеристик. Отримані результати теоретичних [6] досліджень формують поверхню вібраційної машини технологічного призначення засвідчують про складний рух такої системи, і автори рекомендують застосування спектрального аналізу для обробки отриманих даних. Незважаючи на велику кількість публікацій за даною тематикою питання оцінки динамічних характеристик є актуальним так як в більшості випадків залежить від конкретної досліджуваної системи та умов застосування вимірювальної апаратури.

Експериментальна модель віброустановки, розроблена на основі досліджень розрахункової моделі [6]. Зчитування даних з датчиків та послідовна їх обробка здійснювалась за допомогою розробленої схеми на базі 32 бітного контролера з двома незалежними аналого-цифровими перетворювачами. Така система забезпечила швидкість



Рис. 1. Експериментальна установка з просторовими коливаннями під час вимірювань динамічних параметрів

дискретизації сигналів з датчиків 20 кГц. Обробка даних здійснювалась за допомогою ПК. Загальний вигляд експериментальної установки з системою вимірювання наведений на рис. 1. Для зміни частоти обертання вібробудувачів коливань було розроблено пристрій для плавного регулювання напруги. За рахунок чого частота коливань експериментальної установки могла змінюватись в межах від 4 до 55 Гц. Такий діапазон дозволив отримати набір експериментальних даних, на основі яких можна оцінити ефективність проведених досліджень.

Для вимірювання параметрів коливань несучих конструкцій застосований трьохвісний акселерометр, який входить в комплект сейсмостанції ZET 048C. Реалізація спектрального аналізу виконана за допомогою програмного забезпечення ZETLAB SEISMO, методом обробки безперервних записів динамічного процесу дискретним перетворенням Фур'є.

В ході дослідження використовувалися записи безперервної фіксації параметрів динамічної дії безпосередньо на формують поверхню. Отримані віброграми коливань

у просторі (рис. 2, а) в просторі та окремо в кожному напрямку (рис. 2, б). Отримана низка віброграм піддавалась аналізу, в результаті якого отримані спектри коливань при різних режимах оботи установки. Таким чином на основі обробки спектрів коливань визначені

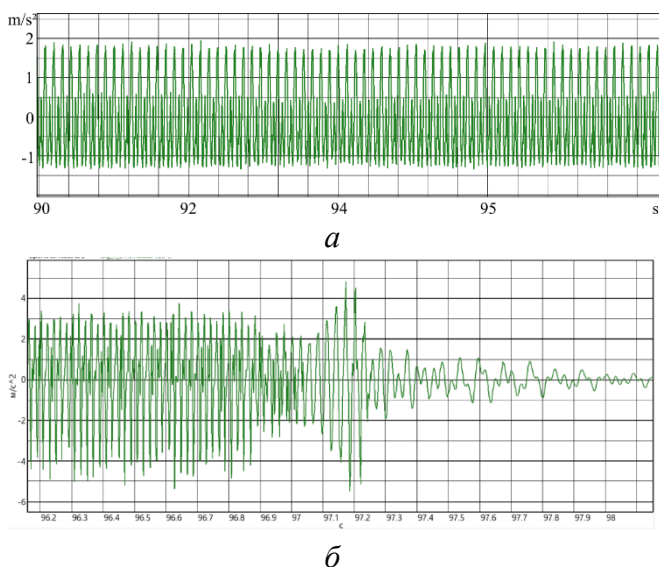


Рис. 2. Віброграми руху досліджуваної системи: *а* – встановлений режим роботи; *б* – перехідні процеси

числові значення частот коливань, які відповідають основним пікам на спектрограмах та є наслідком відгуку конструкції на зовнішні джерела вібрації. Числові значення частот коливань, які відповідають основним пікам на спектрограмах та є наслідком відгуку конструкції на зовнішні джерела вібрації. Спектр середньоквадратичного значення вимірюваного параметру процесу у логарифмічній шкалі представлення (рис. 3, а) носить зарактерні для вібраційного процесу піки на багатьох частотах. Наявна велика кількість піків як частот, які мають місце у динамічному процесі так і частоти обумовлені зовнішнім шумом (50, 120, 150 Гц). Тому для процесу, динамічні параметри якого невідомі, досить важко визначити ті значення, які мають місце.

За отриманими числовими даними, отриманий спектр за параметром спектральної потужності (рис. 3, б). На

відміну від попереднього спектру коливань, наявність основної частоти коливань та відповідних їй гармонік такий спектр коливань чітко демонструє наявність всього трьох піків. При цьому, більшому числовому значенню відповідає саме основна частота збудження коливань (17,5 Гц), її вищі гармоніки (другий і третій пік на спектрі) відповідають реальному фізичному процесу, який зображений на рис. 1, а.

Розглянуті спектри коливань в лінійній та логарифмічній шкалі за прискоренням пне дають можливості оцінити реальний динамічний процес.

Спектр за спектральною потужністю більш адекватно відображає досліджуваний процес та дозволяє оцінити вклад вищих гармонік в динаміку системи.

Отримані результати досліджень можуть бути використані при дослідженні систем із складним рухом при невідомих параметрах зовнішнього впливу при виконанні діагностування та оцінки технічного стану машин технологічного призначення, коливань несучих і огорожувальних конструкцій споруд.

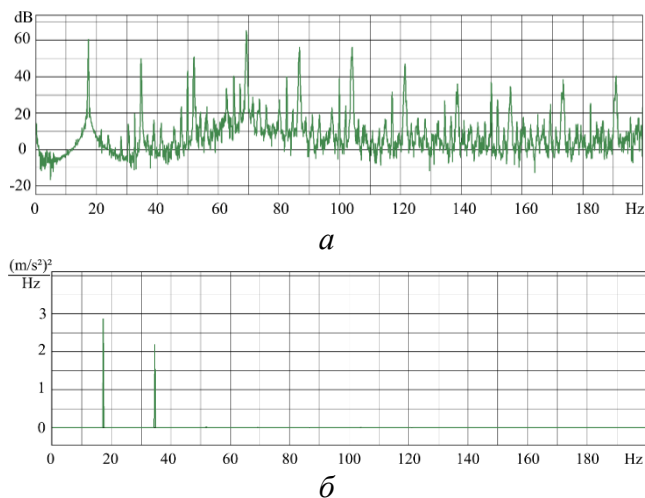


Рис. 3. Спектри коливань: *а* – логарифмічна шкала; *б* – спектральна потужність

Список літератури

1. Theoretical Studies of Stresses in a Layer of a Light-Concrete Mixture, Which is Compacted on the Shock-Vibration Machine / Nesterenko M., Nesterenko T., Skliarenko T. // Int. J. of Engineering & Technology. 2018. Vol. 7 (3.2) P. 419–424.
2. Nesterenko M.P. Study of vibrations of plate of oscillation cassette setting as active working organ [Text] / M.P. Nesterenko, P.O. Molchanov // Conference reports materials «Problems of energ and nature use 2013» (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, University of Tuzla, China University of Petroleum). – Budapest, 2014. – P. 146 – 151.
3. Високоєфективні міжрезонансні вібраційні машини з електромагнітним приводом (Теоретичні основи та практика створення) [Текст] : монографія / О. С. Ланець ; Національний ун-т "Львівська політехніка". - Л. : НУ "Львівська політехніка", 2008. - 324 с.: рис. - Бібліогр.: с. 315-323. - ISBN 978-966-553-728-1 Маслов О. Г., Саленко Ю. С., Маслова Н. А.. Дослідження взаємодії віброуючої плити з цементобетонною сумішшю Вісник КНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 2/2011 (67). Частина 1, с.93-98.
4. Nazarenko I.I. Research of stress-strain state of metal constructions for static and dynamic loads machinery [Text] / I.I. Nazarenko , O.P. Dedov, I.I. Zalisko //The IX International Conference HEAVY MACHINERY HM 2017, Zlatibor, Serbia. – p. 13–14, 2017.
5. Теоретичні дослідження робочого процесу вібраційної шокової дробарки /Є.О. Міщук// Збірник наукових праць. Серія галузеве машинобудування, будівництво. – 2014. - №3 (42). – С. 72-80.
6. Mobin, Kavayanoor, Saeed, Shokrollahi (2017). Dynamic behaviors of a fractional order nonlinear oscillator. Journal of King Saud University – Science, Available online 18 March 2017.
7. Investigation of vibration machine movement with a multimode oscillation spectrum / Nazarenko I.I., Gaidachuk V.V., Dedov J.P., Diachenko O.S. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol 6, No 1 (90). P. 82–87..

RESEARCH OF THE WORKING PROCESS OF DYNAMIC SYSTEMS OF COMPLEX STRUCTURE

Ivan Nazarenko, Oleg Dedov, Anatoly Sviderskyi, Mykola Ruchynskyi, Volodymyr Slipetskyi

Abstract. The process of transmission and propagation of oscillations of technological equipment is considered in the work. One of the problems in the study of vibration processes is the assessment of the vibration effect of technological equipment on the load-bearing elements of structures, the purpose of which is to identify internal resonances of the system, to establish the influence of higher harmonics and so on.

The proposed approach is based on the hypothesis of considering any technical structure and technological equipment that has a dynamic impact, as a single system with its corresponding dynamic characteristics. This approach can be implemented by determining the integrated dynamic parameters of the system with subsequent analysis and establishment of causal relationships. The study used records of continuous fixation of the parameters of dynamic action on the elements of the studied systems, which were determined on the basis of preliminary analysis. To determine the required effective method of presenting the results, records of continuous fixation of the vibration process with a known frequency of external influences were used. Further processing of such results on the basis of the spectral-correlation method allowed to determine an effective way to determine the fundamental frequency, to identify the influence of higher harmonics and extraneous frequencies, which are not inherent in the studied process. The spectra of oscillations in the linear and logarithmic scale for acceleration and spectral power are considered.

The obtained research results can serve as a basis for the development of methods and technologies for diagnosing and monitoring, the creation of machines for technological purposes and the calculation of building structures under the dynamic load of man-made origin.

Keywords. oscillation spectrum; natural frequencies of oscillations; dynamic load; vibration diagnostics; spectral power