

УДК 69.002.5

АНАЛІЗ І СИНТЕЗ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ ВІБРОУЩІЛЬНЮЮЧИХ МАШИН ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Назаренко І.І., Свідерський А.Т., Ручинський М.М., Дєдов О.П.

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

Анотація. Розроблена теорія спільного руху робочих органів вібромашин і оброблюваних середовищ, що моделюються дискретно-континуальними системами. Розглянуто комплексний підхід до вирішення питання моделювання складних динамічних систем зі змінними характеристиками пружних елементів при реалізації робочого процесу. Приведені основні принципи такого підходу до вирішення питання щодо раціонального використання матеріалів при проектуванні машин. Визначені основні технологічні параметри та режими резонансного, субрезонансного та суперрезонансного руху вібромашин. Створені методики та програми для обґрунтування раціональних режимів роботи вібромашин. Розроблені конструкції машин із реалізацією енергоефективних режимів досліджених систем.

Ключові слова: моделювання, динамічна система, частоти і форми коливань, вібраційні машини, напружено-деформований стан.

Вібраційні машини різного технологічного призначення, як правило, працюють в гармонійному, переважно за резонансному, режимі. Це обумовлено забезпеченням стабільного режиму, що і є їх основною перевагою. Однак, енергоємність таких машин, наприклад, вібромашин будіндустрії, є значною, що в більшості випадків спонукає до зниження надійності, підвищення матеріалоемності, збільшення довготривалості робочого процесу. Більш привабливими є машини резонансного типу, робота яких можлива і на інших ефективних режимах (субрезонансних і суперрезонансних режимах), що і є предметом досліджень, приведених в даній статті. Реалізація таких режимів дає можливість значно зменшити енергоємність, підвищити загальну ефективність всіх показників робочого процесу. Останнім часом розробка і створення конструкції машин різного технологічного призначення ведеться в напрямках пошуку конструктивних рішень зі змінним амплітудно-частотним режимом коливань та з нелінійними характеристиками, при роботі яких застосовуються ефекти комбінаційних резонансів.

У процесі роботи таких машин передбачається максимально допустиме використання внутрішніх ресурсів конструкції машини, що в свою чергу викликає необхідність забезпечення міцності і надійності таких вібромашин із наперед заданими динамічними параметрами. Постановка такого завдання полягає у визначенні напруженості конструктивних елементів машини та оцінці їх напружено-деформованого стану.

Дослідженням подібних режимів присвячена робота [1] при моделюванні вібросистем дискретними параметрами. Більш достовірними є моделі з дискретно-континуальними системами [2, 3], коли машина в своєму русі представлена дискретними параметрами, а оброблювальне середовище (технологічне навантаження) моделюється розподіленими параметрами. Математичні труднощі рішення задачі долаються зведенням дискретно-континуальних систем до дискретних систем, шляхом приведення діючих сил континуальної системи до контактної сили у дискретному вигляді [2], залежність якої враховує вплив розподілених параметрів відповідними хвильовими коефіцієнтами [3]. В основу теоретичних досліджень покладено рівняння, що описує рух вібросистеми з кусочно-лінійною відновлюючою пружною силою за методикою, приведеною в роботі [2]. Дослідженню підлягала і вібросистема, що має параметричне збудження коливань за рахунок зміни коефіцієнта пружності гумового елемента. Рівняння руху відрізняється видом збудження та законом зміни жорсткості приводного пружного елемента в напрямку дії. Рішення рівнянь здійснювалось на ЕОМ зміною параметрів при значеннях, що відповідає середньому рівню втрат енергії у вібраційних машинах і оброблювальних середовищах [3].

Багаторежимні рухи притаманні нелінійним динамічним системам, в яких виникають субгармонійні і супергармонійні коливання. Такі режими формуються при певних умовах, визначених співвідношеннями кількості періодів вимушеної сили із періодами руху віброударних систем, використанням нелінійних пружних характеристик відновлюючих сил, зміною пружних характеристик у часі. Застосування такого підходу передбачає адаптацією амплітудно-частотного спектру машини до створюваного напружено-деформованого стану середовища, що забезпечує максимальний ефект вібраційної дії. Ефективність вібраційної дії може бути визначена на основі застосування критеріїв, які лежать у полі задач системного аналізу із застосуванням синтезу структурних та динамічних систем [4, 5].

Реальні фізичні процеси, які відбуваються у складних системах адекватно можуть бути описані лише нелійними диференціальними рівняннями, пояснюється це тим, що в природі завжди є складова, яка носить нелінійний характер зміни властивостей. Так при вивченні систем з розсіюванням енергії, як правило, приймають лінійність сил опору, що в свою чергу приводить до хибних результатів і відповідно застосуванні експериментальних даних у математичних моделях (емпіричні залежності). При цьому параметри дисипації визначаються при доволі простих законах зміни напружено-деформованого стану – вільні коливання, або явища резонансу, при цьому реалізується деяка хибна концепція про поведінку дисипативних сил, які мають складну природу.

Так при виконання експериментальних вимірювань і параметрів руху елементів складних конструкцій в реальному часі були отримані віброграми руху (рис. 1). При аналізуванні отриманих результатів виявилось, що на дію спричинену збуренням гармонійного закону зміни у часі, конструкції відповідає коливаннями із відмінними за частотою і характером навантаження. З віброграм випливає про наявність складних динамічних процесів у конструкції та накладанні чинників різної природи на рух конструкції.

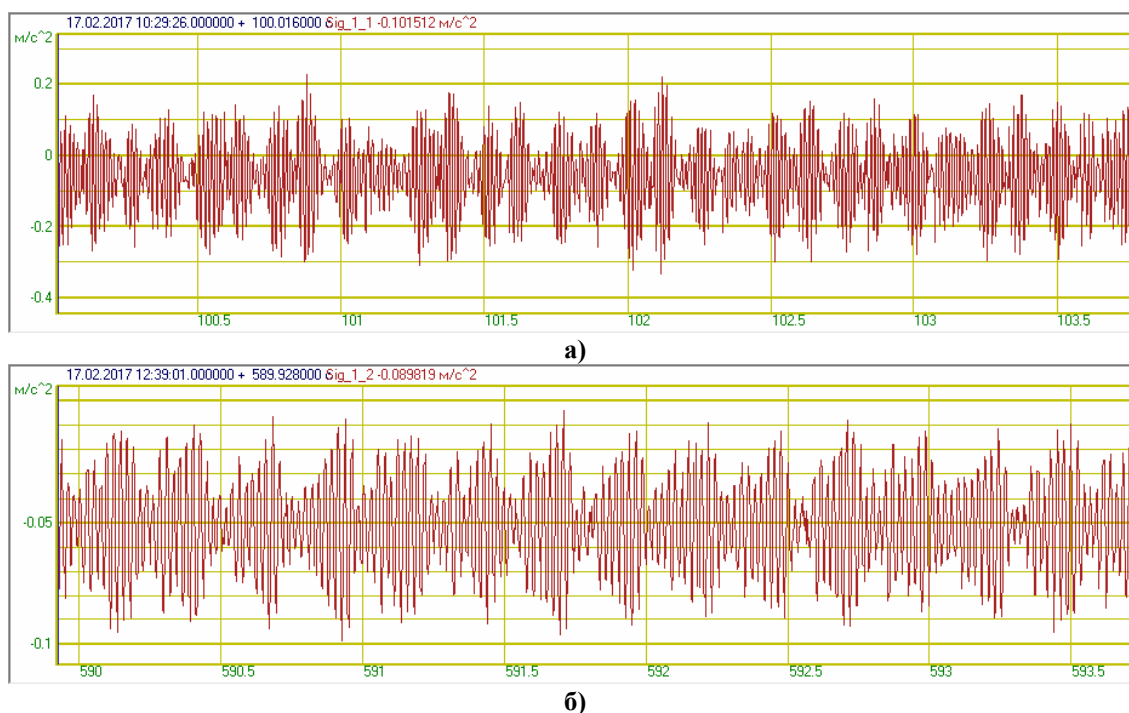


Рис. 1. Віброграма коливань складної системи при динамічній дії: а – вертикальні коливання; б – горизонтальні коливання

Так у вертикальній площині конструкція здійснює режим, близький до резонансного, а в горизонтальній площині – коливання відбуваються з певним затуханням, що свідчить про наявність не лінійності у конструкції системи.

Обробка отриманих віброграм методом розкладання в ряд Фур'є та отримані спектри коливань підтвердили наявність чинників появи коливань з різними частотами.

Реалізація режиму коливань відбувається на декількох частотах (рис. 2), про що свідчать наявні піки на спектрограмах. Наявність високих частот свідчить про наявність резонансу елементів конструкції, які мають безпосередній контакт з оброблюваним середовищем.

Завдяки такому режиму ущільнення буде забезпечена можливість передачі максимальної енергії від робочого органу до оброблюваного середовища. А також зниження енергоємності процесу ущільнення за рахунок вкладу вищих гармонік. При цьому відбувається зниження амплітуди коливань несучих конструкцій вібоустановки.

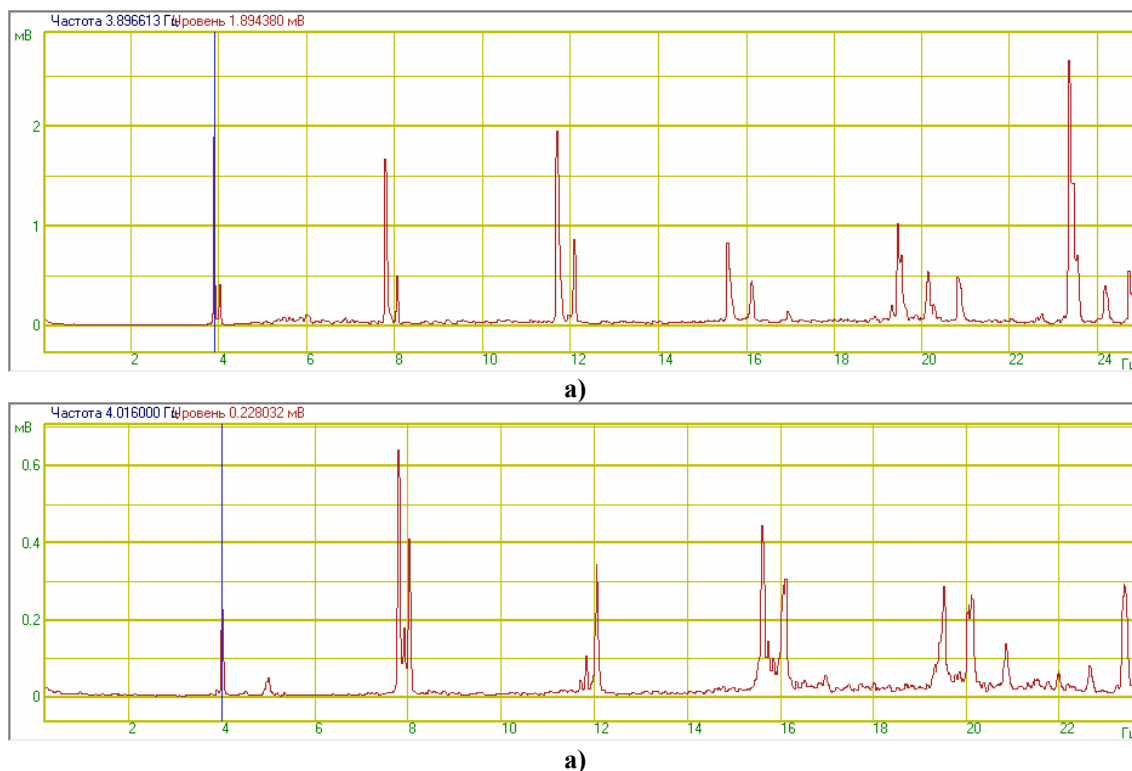


Рис. 2. Спектрограми коливань а – вертикальні коливання; б – горизонтальні коливання.

Для досягнення означеної мети були сформульовані основні наукові робочі гіпотези: ефективність вібросистем із кусочно-лінійною характеристикою відновлюючої сили визначається ударним прискоренням і при розрахунку динамічних параметрів системи варто враховувати її власні коливання та вклад вищих гармонік; стабілізація або керування системою здійснюється ціленаправленим спільним використанням активних і реактивних складових сил робочих органів і оброблених середовищ в заданому вібраційному процесі. Серед теоретичних методів вивчення складних систем можна виділити два напрямки створення математичних моделей. Перший розрахунково-теоретичний полягає у складанні математичних моделей, які що базуються на застосуванні фундаментальних законів механіки дискретних та континуальних систем, виражених аналітичними залежностями. Для реалізації такого підходу використовують загальні методи аналітичної механіки, теорії машин і механізмів, опору матеріалів, теорії коливань тощо. Математичні моделі утворені розрахунково-теоретичним шляхом передбачають наявність повного розуміння та опису фізико-механічних властивостей як конструкційних матеріалів так і зовнішнього середовища, яке має вплив на машину.

Другий – теоретично-експериментальний полягає у вивченні машини на основі співвідношення відомих математичних залежностей і з невідомими параметрами, які

визначаються на основі проведених експериментальних дослідженнях фізичних моделей машин і процесів із застосуванням відповідних масштабних коефіцієнтів. Кожен із напрямків має свої переваги і недоліки, так перший дає можливість без затрат на виготовлення та випробування досліджуваного об'єкту дати відповідь на поставлену задачу, але при цьому потребує достатньо точного опису фізико-механічних властивостей матеріалів, що не завжди відомі; теоретично-експериментальний дозволяє отримати розв'язок задачі на основі закономірностей поведінки реальних фізичних моделей, фізико-механічні властивості яких можуть бути задані узагальненими характеристиками, але такий метод визначення є трудомісткий і передбачає створення натурних моделей, проведення низки експериментальних досліджень тощо.

В будь-якому разі при створення математичної моделі досліджуваної системи необхідно користуватись принципами, які забезпечать простоту та адекватність моделі а також можливість подальших досліджень – розв'язування інших типів задач, зміну вхідних параметрів, властивостей тощо.

Визначення енергії вібросистеми на підтримання коливань здійснювалося із умови її балансу. В результаті рішення рівнянь були отримані амплітудно-частотні характеристики та здійснена оцінка вкладу вищих гармонік в загальний процес руху вібросистеми «машина – технологічне навантаження». Аналізом АХЧ встановлено, що за прийнятими числовими значеннями параметрів отримано раціональне співвідношення показників коефіцієнтів пружності в межах 3-5, а коефіцієнт динамічного підсилення коливань на субрезонансі збільшується в 2 – 3 рази. Виявлено, що на кожній частоті збудження існують свої межові значення сили, за межами яких субгармонійний режим втрачає стійкість. Амплітудно-частотна характеристика супергармонійних коливань вібросистеми засвідчила зміну амплітуди для різних значень ступені межевої несиметрії Δ . Експериментальні дослідження здійснювались на спеціальній установці, де заміряли параметри коливань з фіксацією амплітуд коливань, фази та динамічного тиску. Обробка результатів досліджень підтвердила стійкі комбінаційні режими коливань. За результатами виконаних досліджень розроблено ряд конструкцій нових вібромашин з максимальною передачею енергії робочого органа до робочого середовища із внеском вищих гармонік.

Список літератури:

1. *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 energy and nature use 2013» (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, University of Tuzla, China University of Petroleum). – Budapest, 2014. – P. 146 – 151*
2. *Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем (2-е видання) / І.І. Назаренко // К.: Видавничий Дім “Слово”. 2010. 440с.*
3. *Назаренко И.И. Исследование рабочих процессов вибромашин различного технологического назначения/ И.И. Назаренко, А.Т. Сви́дерский, Н.Н. Ручинский// Материалы международной научно-технической конференции "Интерстроймех – 2013". Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ) –2013. С.151-154.*
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. *Nazarenko I.I. Investigation of vibration machine movement with a multimode oscillation spectrum [Text] // I.I. Nazarenko, V.V. Gaidaichuk, O.P. Dedov, O.S. Diachenko //Eastern European Journal of Enterprise Technologies, Vol 6, No 1 (90), p. 28–36, 2017.*