

УДК 621.01:531.395

© А.В. Силивонюк

Луцький національний технічний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН З ДЕБАЛАНСНИМИ ЗБУДНИКАМИ

Експериментально підтверджено можливість покращення динамічних та енергетичних характеристик вібромашин з кількома дебалансними збудниками за рахунок використання явища самосинхронізації та ефекту вібраційного підтримання обертання.

САМОСИНХРОНІЗАЦІЯ, ВІБРАЦІЙНА МАШИНА, ДЕБАЛАНСНИЙ ЗБУДНИК, ВІБРАЦІЙНЕ ПІДТРИМАННЯ ОБЕРТАННЯ, ПОЧЕРГОВИЙ ПУСК.

Постановка проблеми. Вібраційні машини та технології в наш час використовуються в різноманітних галузях промисловості та господарства країни. Найбільш розповсюдженим приводом таких машин є дебалансний, який з успіхом використовується в різноманітних вібромашинах, що серійно випускають у багатьох країнах світу. Вібраційна техніка як відомо є досить енергоємна. Використовуючи явище самосинхронізації можна не лише покращити енергетичні та динамічні характеристики нових машин, але й підвищити ефективність існуючих, діючих машин.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Самосинхронізація – це явище, яке вивчене досить повно. Розроблені теоретичні та методичні рекомендації для розрахунку вібраційних машин із збудниками, що самосинхронізуються [1, 2]. Однак у відомих роботах зовсім не розглядувався почерговий пуск вібраційних машин із збудниками, що самосинхронізуються. Ефект вібраційного підтримання обертання не застосовується. У цих роботах результатів експериментальних досліджень не наведено, а констатовано лише факт можливості використання таких ефектів.

Мета дослідження. Метою експериментального дослідження є підтвердження адекватності результатів аналітичних досліджень та результатів чисельного моделювання [3, 4].

Результати дослідження. Для досягнення основної мети дослідження було спроектовано та виготовлено лабораторну вібраційну машину та розроблено методику для проведення експериментальних досліджень.

Основні задачі експериментального дослідження:

– експериментально одержати віброграми кутових швидкостей роторів віброзбудників під час почергового пуску вібраційної машини, у випадку вібраційного підтримання обертання та порівняти їх з часовими залежностями, які були одержані в результаті чисельного моделювання;

– експериментально одержати віброграми пришвидшення центра мас несучого тіла вібраційної машини, максимальні резонансні амплітуди коливань пришвидшення у вертикальному та горизонтальному напрямку і порівняти їх з результатами аналітичних досліджень і комп’ютерного моделювання;

– експериментально одержати значення переміщення центра мас робочого органу вібраційної машини у вертикальному та горизонтальному напрямках та порівняти їх з результатами чисельного моделювання;

– експериментально одержати значення пускового та номінального струму та напруги асинхронних двигунів установки та порівняти їх з результатами чисельного моделювання.

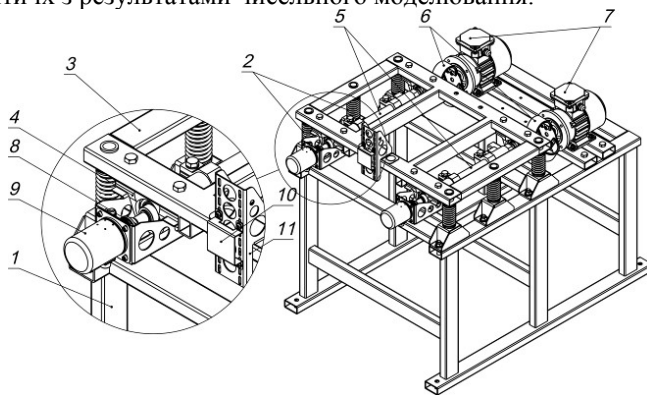


Рис. 1 – Вібраційна машина з двома віброзбудниками, що самосинхронізуються для дослідження пускових перехідних процесів

Вібраційна машина для дослідження пускових перехідних процесів наведена на рис. 1, 2. На даній машині досліджувався одночасний пуск, почерговий пуск та вібраційне підтримання обертання.

Конструктивно вібраційна машина складається з масивної станини 1, на яку встановлено гвинтові циліндричні пружини 2. Вібруючий робочий орган (несуче тіло) 3 кріпиться до гвинтових циліндричних пружин. У підшипникових опорах 4, жорстко з’єднаних за допомогою болтових з’єднань із робочим органом 3, розміщено два паралельних кінематично незв’язаних дебалансних віброзбудники 5, які

через еластичні (компенсаційні) муфти 6 з'єднані з валами трифазних електродвигунів 7 асинхронного типу, які закріплені на станині 1. Зазначимо, що в розглядуваних конструкціях вібраційної машини робочий орган опирається на досить м'які пружини, що забезпечує незначне передавання динамічних навантажень на станину та нерухому основу.

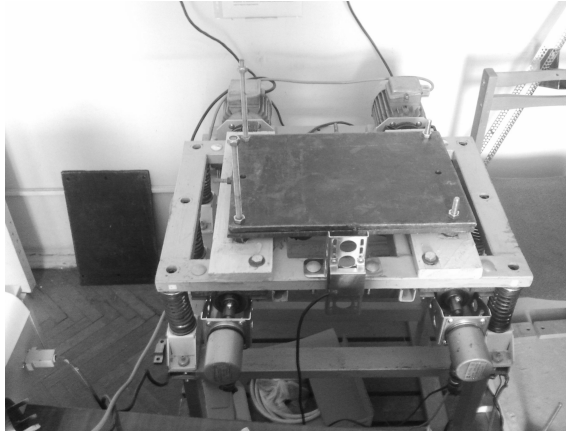


Рис. 2 – Загальний вигляд вібраційної машини та датчиків

Осі роторів є перпендикулярними до площини, в якій відбувається рух несучого тіла. Осі збудників є рівновіддалені від центру мас несучого тіла. Вібраційна машина має можливість для встановлення додаткових дебалансів для зміни амплітуди коливань. З метою реалізації високонавантажених режимів роботи установки, передбачено можливість встановлення від одного до чотирьох додаткових з'ємних дебалансів. Крім того, шляхом попарного (один навпроти одного) встановлення з'ємних дебалансів можна збільшувати сумарний момент інерції ротора збудника.

До осей віброзбудників 5 через еластичні муфти 8 кріпляться енкодери 9, які дозволяють з високою точністю визначати кутові положення та кутові швидкості валів віброзбудників. Датчик пришвидшення 10 за допомогою кронштейна 11 жорстко кріпиться до робочого органу 3. Кронштейн дозволяє точно встановити датчик пришвидшення в центр мас робочого органа 3.

При обертанні дебалансів виникають відцентрові сили інерції. Під дією яких збуджуються малі вимушені коливання несучого тіла і

воно здійснює плоский рух. Звичайно, для вивчення руху робочого органа достатньо вивчити рух його плоского перерізу у своїй площині.

При проведенні експериментальних досліджень і вимірюванні параметрів коливної системи були використані наступні прилади:

- годинниковий тахометр ТЧ-10Р – використовувався для визначення частоти обертання ротора збудника;

- зовнішній модуль АЦП/ЦАП/ТТЛ загального призначення Е14-440 – застосовувався для побудови багатоканальних вимірювань, вводу, виводу і обробки аналогової і цифрової інформації у складі персонального IBM-сумісного комп'ютера;

- електронного стробоскопа МТ 565 – використовувався для визначення частоти обертання ротора збудника;

- випробувальна машина МІ-40КУ, яка призначена для дослідження матеріалів на розтягування і стиснення;

- два фотоелектричні енкодери моделі ВЕ178А5 для визначення часових залежностей положення і кутових швидкостей роторів віброзбудників ;

- прецизійний інтегральний датчик Allegro ACS712 – застосовувався для вимірювання фазного струму та відповідно потужності;

- акселерометр ММА7260Q використовувався для визначення вібраційного пришвидшення;

- SF-0029 – крос-плата застосовувалась для перетворення цифрових сигналів від енкодерів в аналогові сигнали сумісні з Е14-440.

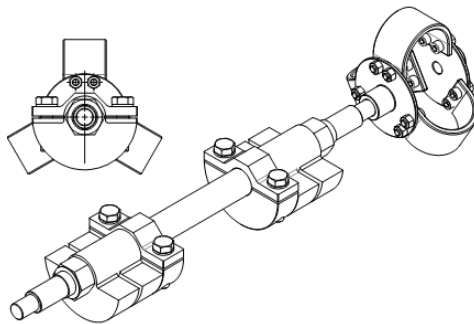


Рис. 3 – Твердотіла модель дебалансного віброзбудника

Для визначення параметрів коливної системи було створено трьохмірну твердотілу модель вібраційної установки за допомогою програми SolidWorks 2011. В тій же програмі, було визначено параметри віброзбудників (рис. 3) такі як момент інерції, ексцентриситет, маса.

Коефіцієнт жорсткості пружини на розтяг-стиск та зсув визначався на випробувальній машині МІ-40КУ (рис. 4), а також за формулами опору матеріалів.

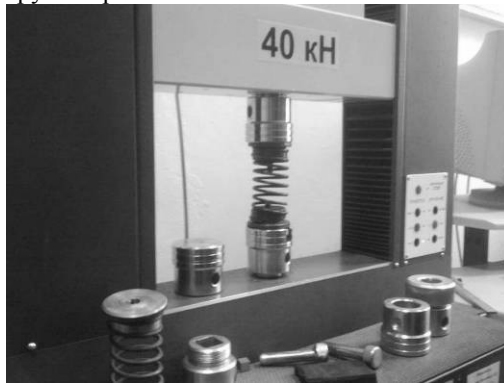


Рис. 4 – Визначення жорсткості пружини на розтяг-стиск на лабораторному стенді МІ-40

Для отримання часових залежностей кутової швидкості ротора віброзбудника, віброграми пришвидшення та переміщення центра мас і зазначення пускового, номінального струму і напруги асинхронних двигунів було використано зовнішній модуль АЦП/ЦАП/ТТЛ загального призначення Е14-440 виробництва ЗАТ «L-CARD» (Росія).

До зовнішнього модуля Е14-440 через корос-плату (додаток Б) під'єднуються енкодери, датчик струму, датчик пришвидшення.

Для визначення часових залежностей положення і кутових швидкостей роторів віброзбудників було використано два фотоелектричні енкодери моделі ВЕ178А5 (застосовується у системах автоматичного регулювання верстатів, для інформаційного зв'язку за положенням між виконавчими механізмами верстату і пристроєм числового програмного керування). Кожен з цих енкодерів видають 1024 імпульси за один повний оберт.

Для визначення вібраційного пришвидшення було використано акселерометр ММА7260Q. Даний датчик реагує на прискорення (в тому числі і на прискорення тяжіння) і як наслідок з другого закону Ньютона, на рівнодіючу силу, прикладену до датчика. Тобто, з його допомогою можна вимірювати вібрації, рух, удари, кути крену і тангажу. ММА7260Q являється 3-х осьовим датчиком з аналоговим виходом, тобто він перекриває весь 3-х вимірний простір. Для побудови часових залежностей переміщення центра мас робочого органа використовувався оптичний давач переміщення РАВ3102DB.

Для вимірювання струму було використано економічний і прецизійний інтегральний датчик струму Allegro ACS712, принцип роботи якого заснований на ефекті Холла.

Зовнішній модуль E14-440 підключається через інтерфейс USB до персонального комп'ютера, де за допомогою штатного програмного забезпечення (LGraph2) зберігається в файлі даних. З даного файлу за допомогою середовища розробки LabVIEW (англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) сигнали оброблялись і виводились у вигляді графічної інформації на дисплей ПК.

Згідно з основними положеннями методики проведення лабораторних досліджень було проведено ряд експериментів, за результатами яких було отримано дані. Деякі дані подано в статті у вигляді графічних залежностей.

Вібраційна машина, на якій проводилась серія експериментів зображена на рис. 1, 2. На цій вібр машині було проведено групу експериментів із змінними параметрами коливної системи. Насам-перед змінювали в установці момент інерції несучого тіла, шляхом зняття/добавляння плити (імітатора вантажу), а також зміна моменту інерції дебалансних віброзбудників та їх мас відповідно. Дані параметри було отримано шляхом побудови трьохмірної твердотільної моделі в програмі Solidworks.

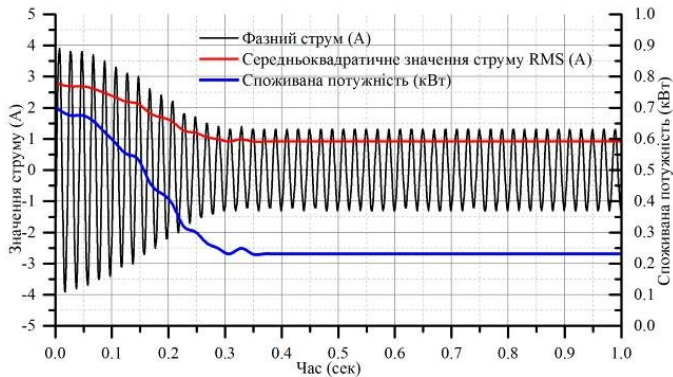


Рис. 5 – Значення фазного та середньоквадратичного струму та потужність під час пуску одночасно двох двигунів

На рис. 5 зображено графік залежності фазного та середньоквадратичного струму від часу за пуску одночасно двох двигунів. Також наведена залежність споживаної потужності електродвигунами від часу. На даному графіку спостерігаємо, що при

одночасному включенні двигунів значно зростають пускові струми, а через деякий час ці струми приймають номінальне значення. Середньоквадратичне значення пускового струму при включенні становить 2,8А, а коли двигуни вийшли на номінальний режим роботи значення струму становить 1,1А. Тривалість перехідного процесу з моменту увімкнення двох двигунів до виходу на усталений режим роботи становить 0,3 сек. Відповідно споживана потужність електродвигунів при старті становить 0,7кВт, а при усталеному режимі роботи 0,24кВт. При цьому, паспортна потужність одного двигуна становить 0,12кВт, а двох відповідно – 0,24кВт.

На рис. 6 наведені віброграми горизонтального та вертикального пришвидшення центра мас несучого тіла під час розбігу та в усталеному режимі руху у реальному часі з частотою вибірки 5кГц. Амплітуда коливань в проекції на вісь x становить $\ddot{x} = 0,29g \approx 2,84 / s^2$, а в проекції на вісь y становить $\ddot{y} = 4,33g \approx 42,47 / s^2$.

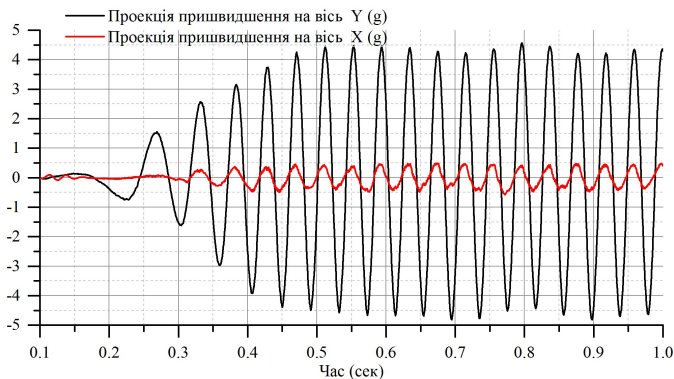


Рис. 6 – Віброграми пришвидшення центра мас несучої рами під час пуску одночасно двох двигунів

З рис. 7 слідує, що в момент розбігу зростає амплітуда коливань несучого тіла. Ці коливання є відносно невеликими, а їхня величина істотно менша, ніж в усталеному режимі руху; при вибігу має місце поступове зменшення амплітуди з помітним сплеском у зоні резонансу, але величина сплесків не перевищує значення амплітуди в усталеному режимі.

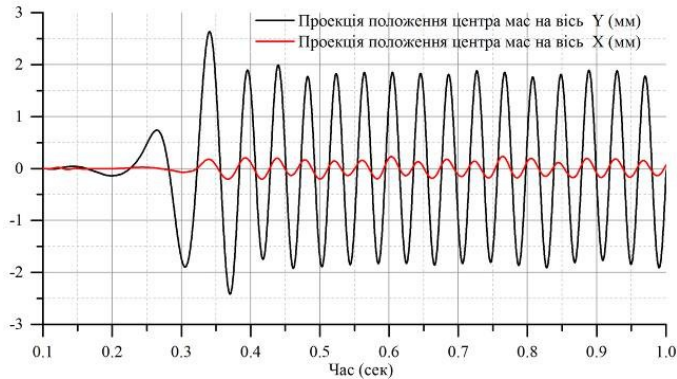


Рис. 7 – Віброграми переміщення центра мас несучої рами під час пуску одночасно двох двигунів

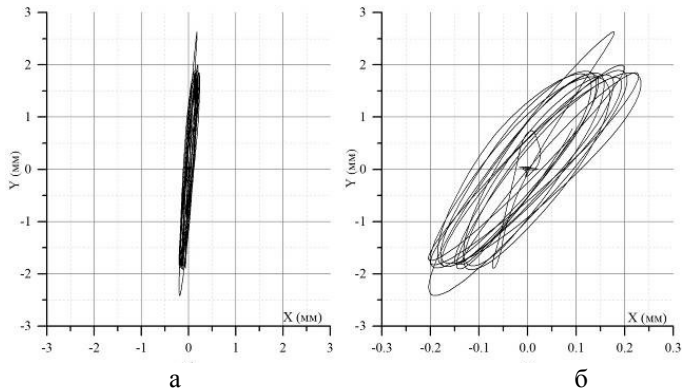


Рис. 8 – Поля траєкторій центра мас несучої рами під час пуску одночасно двох двигунів: а – поле траєкторії реальне; б – поле траєкторії масштабоване по осі X

На рис. 8 зображено поле траєкторії центра мас несучого тіла, яке описує майже пряму лінію. При збільшенні масштабу по осі X, спостерігаємо, що рух несучого тіла є еліптичними коливаннями з незначним нахилом. Цей нахил траєкторії пояснюється лише недосконаlostями у виготовленні вібраційної машини, розбіжністю параметрів пружин, на яких встановлене несуче тіло, нерівномірністю встановлення технологічного вантажу.

На рис. 9 наведено графік значень кута повороту від часу під час пуску одночасно двох двигунів. З даного графіка видно, що дебаланси

чітко обертаються синфазно, при цьому зсув фаз не перевищує 2–5 градуси.

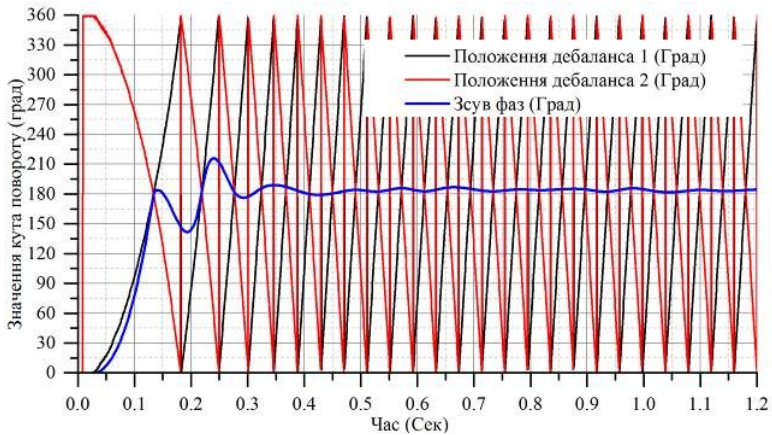


Рис. 9 – Графік значень кута повороту від часу під час пуску одночасно двох двигунів

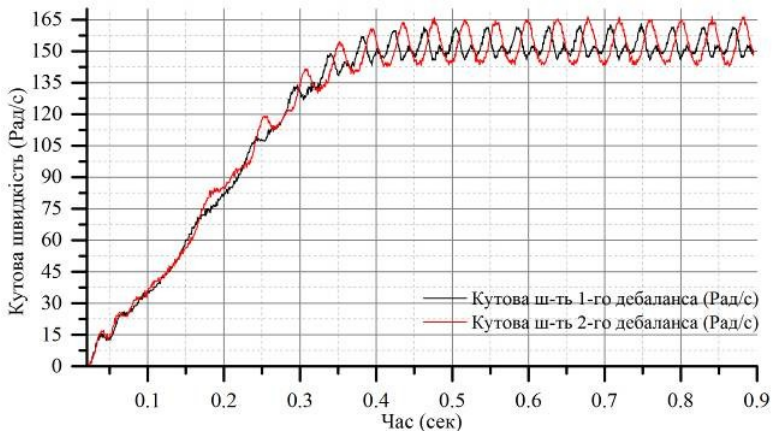


Рис. 10 – Віброграми кутової швидкості ротора віброзбудника під час пуску одночасно двох двигунів

На рис. 10 наведено віброграму кутової швидкості ротора віброзбудника під час розбігу вібраційного стенда при одночасному увімкненні двох двигунів. З графіка видно, що значення кутової швидкості першого дебаланса дещо випереджає значення кутової

швидкості другого. На графіку чітко спостерігається тривалість розбігу вібраційної машини, яка становить $0,45c$.

Такий самий підхід використовувався для дослідження ефекту вібраційного підтримання обертання та в разі почергового пуску вібраційної машини.

Висновки. Проведені експериментальні дослідження показали високу узгодженість з результатами чисельного моделювання [2, 3], що дозволяє зробити висновок про достовірність отриманих результатів і про ефективність запропонованого підходу для синтезу та аналізу вібраційних машин розглянутого класу. Проведені експериментальні дослідження, спрямовані на покращення динамічних та енергетичних характеристик вібраційних машин з дебалансним приводом, що дозволяє зменшити резонансні коливання під час розбігу та знизити необхідну потужність привода.

Література

1. Блехман И.И. Синхронизация динамических систем. – М.: Наука, 1974. – 789 с.
2. Блехман И.И. Синхронизация в природе и технике. – М.: Наука, 1981. – 352 с.
3. Ярошевич М.П. О некоторых особенностях динамики вибрационных машин с самосинхронизирующимися инерционными вибровозбудителями / М.П. Ярошевич, А.В. Сыльвонюк // Вісник національного гірничого університету. – Дніпропетровськ. – 2013. – №4.– С. 70–75.
4. Ярошевич М.П. Динамика разбега вибрационных машин с двумя самосинхронизирующимися дебалансными возбудителями / И.П. Забронец, М.П. Ярошевич, А.В. Сыльвонюк // Вибрации в технике и технологиях /Всеукраїнський науково-технічний журнал. №2(70), 2013. – С.82–87.

Рецензент д.т.н., проф. М.П. Ярошевич