

В.М. ГУРСЬКИЙ

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра механіки та автоматизації машинобудування

РОЗРОБЛЕННЯ УНІФІКОВАНОГО МОДУЛЯ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН З НАПРЯМЛЕНИМИ КОЛИВАННЯМИ РОБОЧОГО ОРГАНА

© Гурський В.М., 2012

Описано недоліки використання типових електромагнітних приводів та модулів у двомасових резонансних системах. Розроблено прототип уніфікованого вібраційного модуля для розширення технологічних можливостей вібраційних систем використанням кусково-лінійних пружних характеристик щодо реалізації двочастотних резонансних режимів роботи.

The article describes the lacks of the use of typical electromagnetic vibratory and modules in the two-mass resonance systems. Development of prototype of the compatible vibratory module is conducted for expansion of technological possibilities of the vibratory systems by the use of cobbed-linear stiffness descriptions for realization of twofrequency resonance office hours.

Вступ. У сучасних виробничих системах актуальним є використання різноманітних уніфікованих технологічних модулів, здатних доповнити чи розширити роботу діючих механічних систем з погляду підвищення їхньої технологічної ефективності. Окрім того, реалізація нових проектів спонукає інженерів до використання сучасних гнучких автоматизованих систем проектування, здатних не тільки раціонально реалізувати конструкторську ідею, але й оцінити ефективність та перевірити реальність впроваджуваного проекту.

Постановка проблеми. Для малих та середніх виробництв доволі часто виникає потреба в устаткуванні, яке б можна було застосовувати на різних технологічних позиціях, його конструктивним перетворенням чи введенням уніфікованих вузлів. Такий підхід, як правило, викликаний частими змінами продуктивності та технології виробництва. Дуже часто можна зустріти варіант компонування взаємозамінного устаткування на різних ділянках виробництва. Тому виникає необхідність у розширенні спектра режимів роботи обладнання з можливістю переходу на різні технологічні режими.

Типові вібраційні модулі у своєму компонуванні здатні реалізувати тільки один гармонійний режим роботи. Можливість розширити спектр коливань системи вимагає конструктивних перетворень, оскільки спроектований модуль не передбачав структурних змін стосовно номенклатури чи режиму роботи обладнання. З цієї причини виникає необхідність розроблення уніфікованих вузлів, придатних до структурних і параметричних змін, враховуючи належний режим роботи установки. Тому під час розроблення необхідно врахувати здатність нового вузла до реалізації різноманітних режимів роботи. Практичнішим в цьому сенсі є підхід до проектування, що здатний реалізувати конструкцію з можливістю параметричних змін однієї із ланок модуля. У практиці використання вібраційних систем найкраще зарекомендував себе варіант вибору пружних параметрів із наперед закладеного набору можливих параметрів стосовно діапазону зміни масових та динамічних параметрів коливальної системи.

Аналіз останніх досліджень. У теоретичному плані електромагнітні віброзбуджувачі (ЕМВ) як системи приводів двомасових механічних коливальних систем вивчені досконало [1–7]. На велику

увагу заслуговує аналіз практичних розробок у цьому напрямку. Так, найбільше в практиці поширені радянські однокатні ЕМВ типу С918А, С920А і С921А [8], розроблені Інститутом ВНИИСтройдормаш для вібраційних живильників типу ПЭВ1, та двокатні – для живильників і грохотів ПЭВ2 з частотами коливань 25, 50 і 100 Гц (рис. 1, а). Закордонні віброзбуджувачі “Aviteq” (рис. 1, б) [9] мають ширший частотний спектр роботи та новішу систему керування, тому працюють на фіксованих частотах 25, 33, 50, 100 Гц за частоти мережі живлення 50 Гц. За наявності сучасних частотних перетворювачів обидва типи віброзбуджувачів можна використовувати у будь-якій частотній області, тим самим легко компенсується вплив конструктивних неточностей, полегшується налагодження системи, а також реалізуються авторезонансні системи, ефективні з погляду технологічної стійкості.

Подальші інженерні розробки спрямовані на створення різноманітних конструктивних варіацій, удосконалення наявних електромагнітних приводів, використання типових та нетипових пружних елементів і їх систем, спрощення налагодження, пристосування у багаторежимних (полічастотних) ударно-вібраційних системах [10–12], ефективних у гірничих та будівельних виробництвах.

Основна технічна проблема в існуючих одно- та двокатних електромагнітних приводів є реалізація одночастотного режиму роботи, оскільки: 1) використовуються пружні ланки з лінійною характеристикою; 2) розглядувані двомасові вібраційні системи мають один робочий резонанс (одну робочу власну частоту). Теоретичний аналіз силових характеристик електромагнітного контуру за однокатної схеми збурення вказує на багаточастотний спектр періодичного тягового зусилля [2, 6, 7]. Реально система використовує першу гармонійну складову тягового зусилля приводу, під яку власне адаптована власна частота коливань лінійної механічної системи. Інші гармоніки не можуть вплинути на робочий процес, оскільки відома частотна характеристика коефіцієнта динамічності двомасової системи має один пік. Для ефективного використання реалізованого полічастотного спектра збурювального зусилля можна використати тримасову механічну систему [4]. Однак при цьому ускладнюється конструкція та її налагодження.

Тому проведений огляд вказує на можливість повною мірою використати можливості одно- та двокатних схем – здатність генерувати двочастотний спектр для реалізації технологічно ефективніших машин на основі традиційних резонансних двомасових коливальних систем. Вирішення цього питання ґрунтуватиметься на впровадженні раціональних конструкторських рішень у типових двомасових механічних системах, зокрема використанням пружних ланок з кусково-лінійною асиметричною характеристикою пружності.

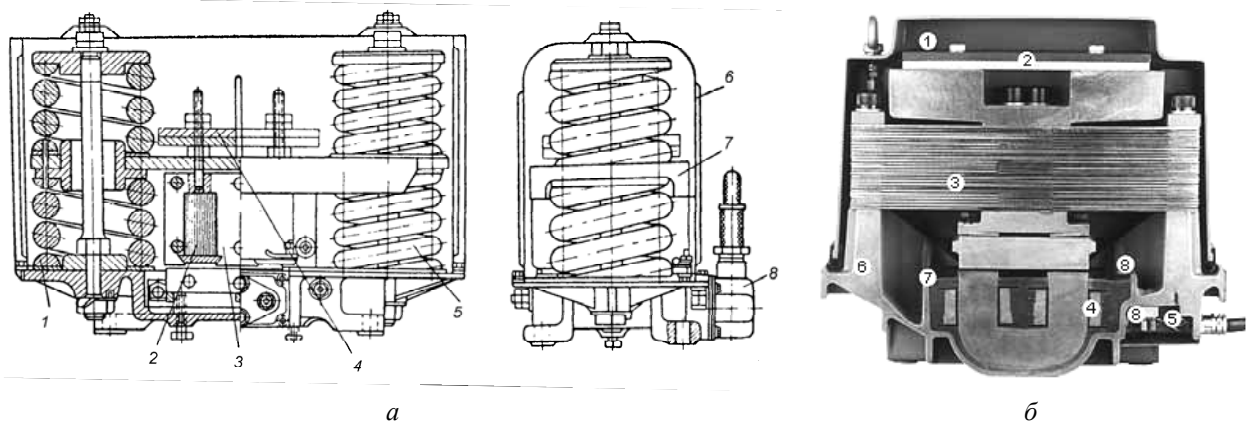


Рис. 1. Типові конструкції поширених однокатних електромагнітних вібраторів моделей С-917—С-921 з циліндричними пружинами (“Вібромашина”, Грузія) (а) та MV, MVC, MVD з плоскими пружинами (“Aviteq Vibrationstechnik GmbH”, Німеччина) (б):

1 – основа; 2 – котушка; 3 – осердя;
4 – налагоджувальні вантажі; 5 – пружина;
6 – кожух; 7 – якор; 8 – клемна коробка з кабелем

1 – кришка; 2 – налагоджувальні вантажі; 3 – пакет плоских пружин;
4 – осердя; 5 – кабель;
6 – основа; 7 – котушка; 8 – давач

Постановка завдання. Розроблення прототипу уніфікованого вібраційного модуля, що являтиме силову механічну коливальну систему з електромагнітним приводом для збурення напрямлених коливань робочих органів вібраційних машин та реалізацію одно- та двочастотних резонансних режимів роботи.

Виклад основного матеріалу. Прототип вібраційного модуля (рис. 1) двомасової коливальної системи, виконаний розбірного типу з набору кутників 1–3, комплектується циліндричними пружинами 4, 5. Для генерації коливань використовують електромагнітні віброзбуджувачі 6, якорі яких встановлені на реактивній масі 7. Бічні кутники мають посадочні отвори з можливістю жорсткого кріплення вібраційного модуля до робочих органів для реалізації вібраційних технологічних машин. Центр мас конструкції знаходиться на лінії дії тягового зусилля.

Проект вібраційного модуля передбачає таку реалізацію його конструкторської документації, сумісної з верстатами ЧПК під час використання спеціалізованих САМ-підпрограм.

Вібраційний модуль може бути виконаний різних розмірів та схем живлення (на рис. 2 показаний прототип із двотактною схемою живлення) залежно від реальної маси та потрібної амплітуди коливань робочого органа технологічної установки. За необхідності на основі набору модулів можна формувати вібраційні блоки для реалізації асиметричних коливань за різними траєкторіями (в т.ч. просторових).

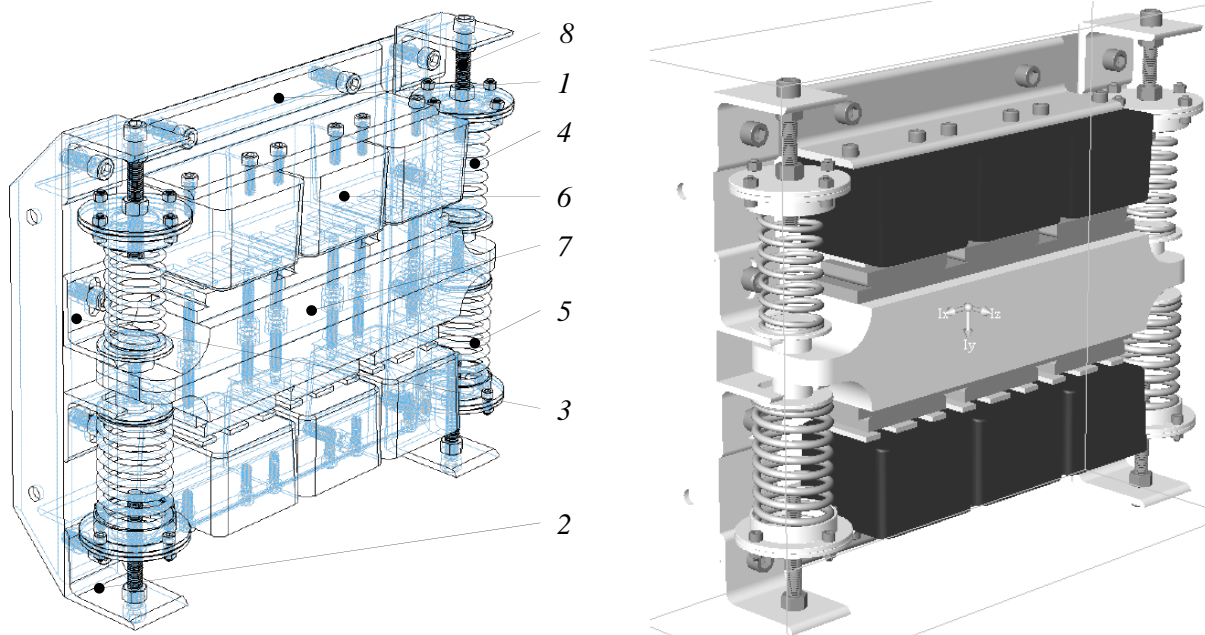


Рис. 2. Загальний вигляд прототипу вібраційного модуля на основі двотактного приводу

Як силову частину модуля використовують електромагніти серії ЭМ68-**М, випущені замість електромагніту ЭМК-2 (** – цифри 5-8 визначають силові характеристики та потужність електромагніту), придатні до неперервного режиму роботи (ТВ=100 %). Технічні характеристики вібраційного модуля (рис. 2) наведено нижче:

Режими роботи (без системи керування), Гц:	
– одночастотний	25, 50, 100
– двочастотний	25/50, 50/100
Маса модуля, кг	50
Приєднана маса робочого органа, кг	до 100
Споживана потужність модуля, Вт	0,9 кВт
Номінальне тягове зусилля на частоті 50 Гц, Н	900 Н
Габаритні розміри, мм:	
висота×ширина×товщина	400×460×150

За структурним компонуванням вібраційний модуль є двомасовою механічною коливальною системою у складі активної та реактивної мас, що зазнають силового електромагнітного збурення (рис. 3). Тому варто, щоб інерційні характеристики коливальних мас та робочого органа були наперед визначені.

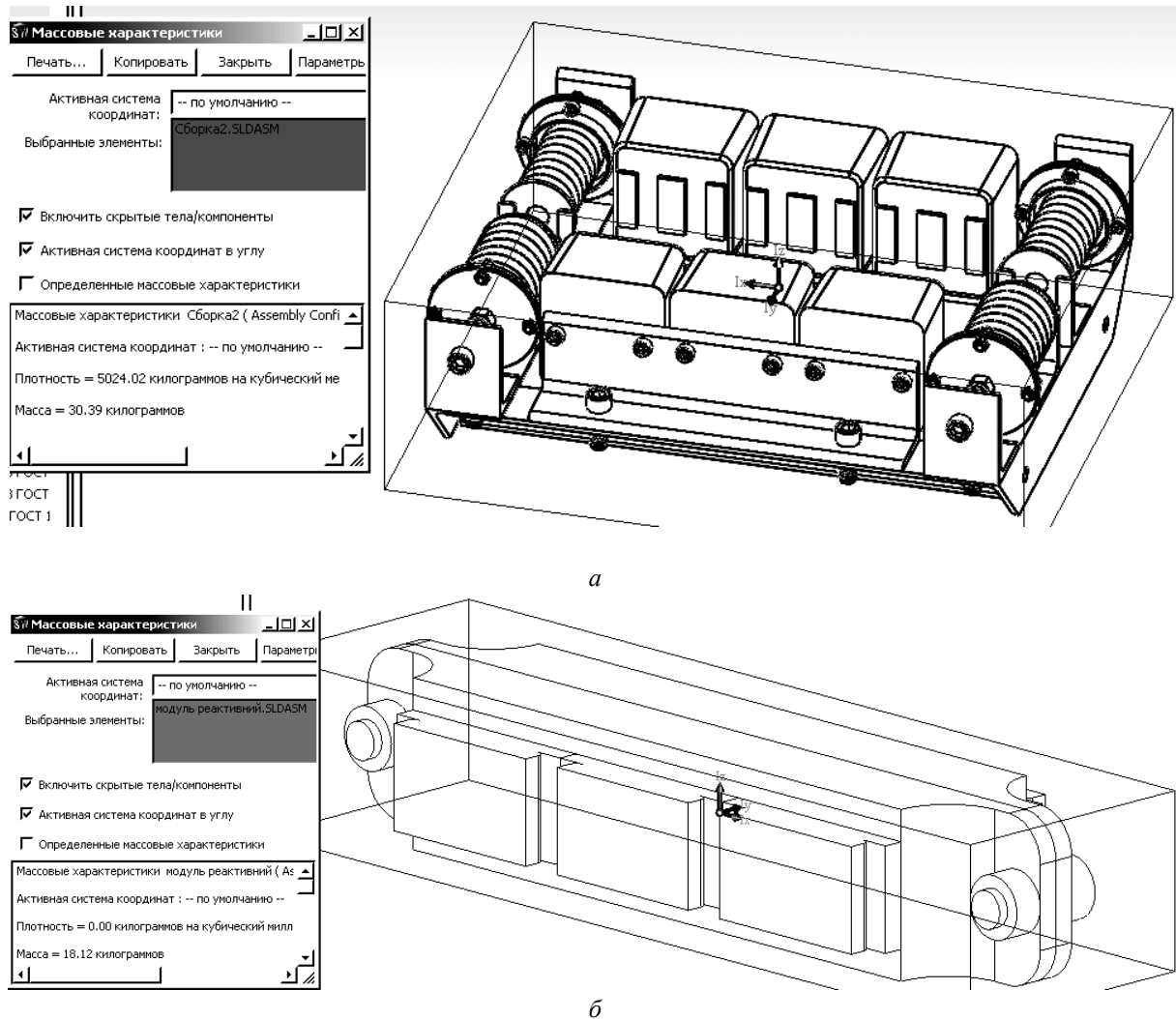


Рис. 3. Інерційні характеристики складальних одиниць вібраційного модуля: активної m_a (а) та реактивної m_p мас (б)

Основне завдання уніфікованого вібраційного модуля – це розширення спектра коливань двомасових резонансних вібраційних систем реалізацією двочастотного резонансного режиму з кратними власними частотами на основі типової схеми включення та асиметричних пружних характеристик пружин з можливістю зміни їхнього попереднього натягу (з метою регулювання амплітудних значень на відповідних гармоніках двочастотного режиму коливань).

За конструктивного розрахунку синтезуються пружні параметри з визначенням коефіцієнтів жорсткості циліндричних пружин:

$$\begin{aligned} c_1 &= (m_1 m_2 / (m_1 + m_2)) \cdot \Omega_1^2, \\ c_2 &= (m_1 m_2 / (m_1 + m_2)) \cdot \Omega_2^2, \end{aligned} \quad (1)$$

де Ω_1 , Ω_2 – закладені значення власних частот коливань, причому $\Omega_2 = 2\Omega_1 = 2\omega/z$; z – резонансне відлагодження; ω – частота коливань напруги живлення одноконтурного вібратора;

$m_1 = m_{po} + m_a$ – сумарна маса робочого органа та активної маси вібраційного модуля;
 $m_2 = m_p + \frac{1}{3} m_{np}$ – приведена сумарна маса реактивної частини вібраційного модуля та пружної системи. На практиці рекомендують не перевищувати відношення $m_1 / m_2 = 5 \dots 7$. Значення власних частот коливань двомасової резонансної вібраційної системи Ω_1 і Ω_2 приймають такими, щоб вони знаходились в дорезонансному околі до вимушених частот тягового зусилля (25/50 або 50/100 Гц) в межах 2–4 %.

Результуюче тягове зусилля з n числом однокатних¹ ЕМВ подамо у вигляді [7]:

$$F(t) = \Xi(\lambda_0 - \lambda_1 \cos(\omega t) + \lambda_2 \cos(2\omega t)), \quad (2)$$

де $\Xi = \frac{k \cdot n}{288\pi^2} \left(\frac{U_0}{Z\delta_0\omega} \right)^2$, $\lambda_0 = 9\pi^2 + 88 \approx 176,826$, $\lambda_1 = 96\pi \approx 301,593$, $\lambda_2 = 9\pi^2 + 96 \approx 184,826$ –

гармонійні коефіцієнти тягового зусилля для однокатних електромагнітів; $Z = k / 2\delta_0$, $k = \mu_0 S w^2$ – прийняті позначення; U_0 – номінальне значення напруги живлення, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна проникність повітря; r – активний опір обмотки; δ_0 – номінальне значення повітряного проміжку; S – площа поверхні полюсів магніту; w – кількість витків котушки ЕМВ.

З врахуванням закладеної кратності власних частот коливань $\Omega_2 / \Omega_1 = 2$ співвідношення між жорсткостями пружних елементів 5 і 4 набуде вигляду $c_2 / c_1 = 4$. Отже, реалізована двочастотна резонансна вібраційна система характеризується двома основними власними частотами коливань Ω_1 і Ω_2 , реалізованих асиметричною пружною характеристикою, яку можна подати у вигляді:

$$R(x^*(t)) = \begin{cases} R_{01} + c_1 \cdot x^*(t), & x^*(t) > 0; \\ -R_{02} + c_2 \cdot x^*(t), & x^*(t) \leq 0, \end{cases} \quad (3)$$

де R_{0i} – сила попереднього натягу i -ї пружини; $x^*(t) = (x_1(t) - x_2(t))$ – відносне зміщення коливальних мас (робочого органа та реактивної маси). До дійсного переміщення робочого органа можна перейти з врахуванням масових параметрів коливальних мас та їхнього відносного зміщення: $x_1(t) = x^*(t) \cdot m_2 / (m_1 + m_2)$.

На основі залежності (3) вібраційний модуль здатний реалізувати різноманітні, відомі в практиці як кусково-лінійні пружні характеристики (рис. 4). Саме зображена на рис. 4, а пружна характеристика є новою для двомасових резонансних вібраційних систем, яка здатна ефективно реалізувати двочастотні резонансні режими роботи на типовому електромагнітному приводі з двома частотами (2). Розроблений модуль здатний використовувати типові одночастотні симетричні режими роботи, залежно від необхідної частоти коливань (50 Гц – рис. 4, б та 100 Гц – рис. 4, в). Для цього необхідно внести конструктивні зміни, а саме від'єднати опорні кутники 3 (рис. 2). Отже, реактивна коливальна маса буде затиснута між пружинами 4 і 5, як і в традиційних конструкціях електромагнітних приводів (рис. 2, а).

На рис. 5 показано типові структурні схеми двомасових вібраційних машин із стаціонарним (а) та нестаціонарним (б) завантаженням робочого органа, які використовують вібраційний модуль для реалізації двочастотних резонансних режимів. Ефектом від впровадження модуля є асиметрія періодичного руху робочого органа (асиметрія пришвидшення), що значно підвищує якісні та кількісні показники процесів ущільнення, грохочення та транспортування. Під час монтажу вібраційного модуля потрібно традиційно забезпечити положення центрів мас робочого органа та модуля на лінії дії тягового зусилля ЕМВ та високу жорсткість конструкціям робочого органа і вібраційного модуля для виключення будь-яких паразитних коливань на робочому органі.

¹ За двокатних схем включення постійна складова тягових зусиль взаємозрівноважується, а тому $\lambda_0 = 0$.

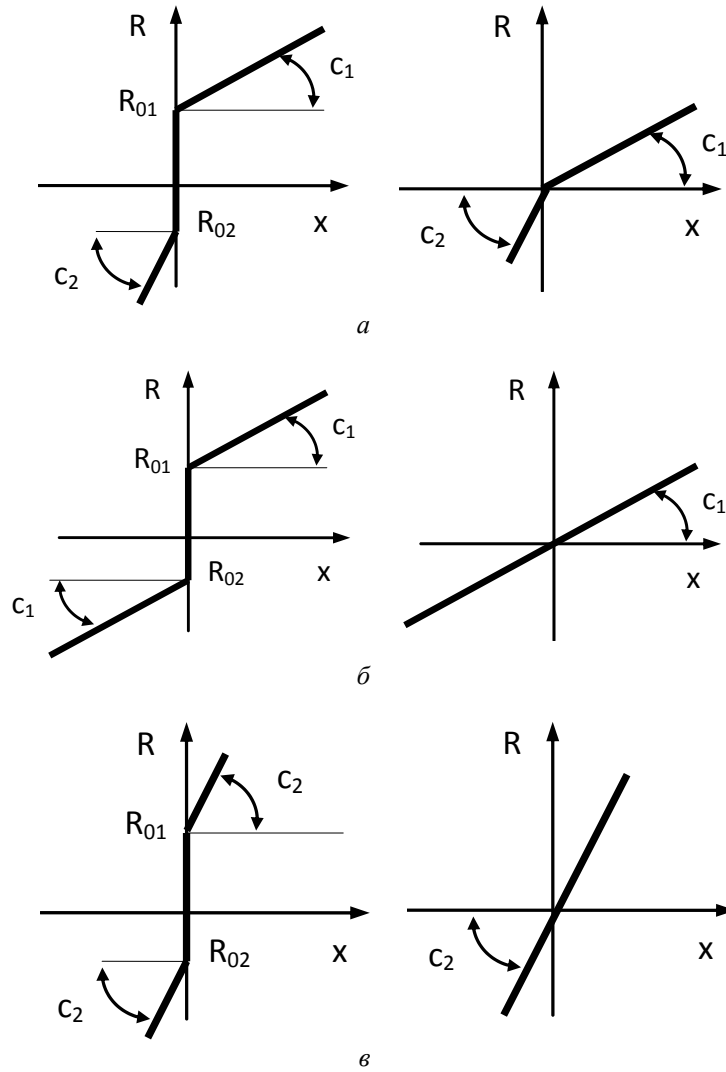


Рис. 4. Типові кусково-лінійні пружні характеристики вібраційного модуля: асиметричні (а) та симетричні (б, в); зліва – з попереднім натягом, справа – без попереднього натягу пружин

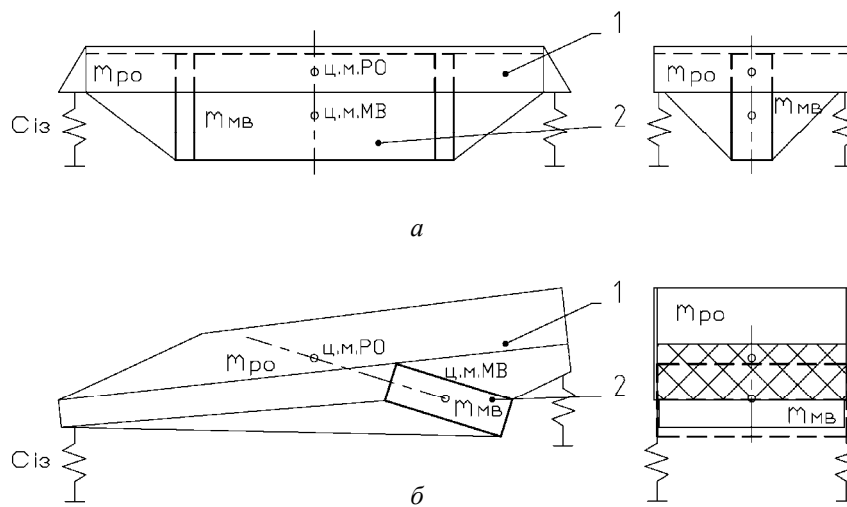


Рис. 5. Типові структурні схеми двомасових вібраційних машин із стаціонарним (а) та нестаціонарним (б) навантаженням робочого органа: 1 – робочий орган (РО); 2 – вібраційний модуль (МВ)

Висновки. Розроблено прототип вібраційного модуля з метою підвищення технологічної ефективності двомасових резонансних вібраційних систем використанням кусково-лінійних асиметричних пружних характеристик, здатних ефективно та повною мірою використати можливості класичних електромагнітних приводів в реалізації двочастотних резонансних режимів роботи. Реалізовано 3D-модель вібраційного модуля та встановлено його масово-інерційні характеристики, що можуть бути використані за синтезу пружних параметрів. Розроблена модель є параметризованою з можливістю реалізації вібраційних модулів різних типорозмірів.

1. Крюков Б. И. Динамика вибрационных машин резонансного типа. – К.: Наук. думка, 1967. – 210 с. 2. Низкочастотные электровибрационные машины / М. В. Хвингия, М. М. Тедошвили, И. А. Питимашвили и др.; под ред. К. М. Рагульскиса. – Л.: Машиностроение, 1989. – 95 с. 3. Скубов Д. Ю., Ходжаев К. Ш. Нелинейная электромеханика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 360 с. 4. Ланець О. С. Високоєфективні міжрезонансні вібраційні машини з електромагнітним приводом (Теоретичні основи та практика створення): монографія. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2008. – 324 с. 5. Бауман В.А., Быховский И.И. Вибрационные машины и процессы в строительстве. – М.: Высш. шк., 1977. – 255 с. 6. Цыфанский С.Л. Нелинейные и параметрические колебания вибрационных машин технологического назначения / С.Л. Цыфанский, В.И. Бересневич, А.Б. Окс. – Рига: Зинатне, 1991. – 230 с. 7. Божко А.Е. и др. Прикладная теория управления электромагнитными вибровозбудителями [текст]: монография / А.Е. Божко, В.И. Белых, Е.М. Иванов, К.Б. Мякохлеб; под ред. А.Е. Божко. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2010. – 320 с. 8. Белоусов А.И., Рекус Г.Г. Вибраторы с электромагнитным приводом. (Обзор). – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1969 – 74 с. 9. <http://www.aviteq.com>. 10. Назаренко І.І. Використання електромагнітних вібраторів на змінному струмі в ударно-вібраційних системах / І.І. Назаренко, Ю.О. Баранов, Т.Ф. Щербина // Теорія і практика будівництва: зб. наук. пр. – 2007. – Вип. 3. 11. А.с. № 113681. Электромагнитный вибрационный привод // А.С. Гридунов, Б.С. Зайковский, А.К. Карелин, П.А. Сергеев и В.А. Прохоров. Заяв. 9 декабря 1957 г. 12. Патенты на изобретение № 2356646, № 2356647, № 2356640. Вибратор резонансного действия с электромагнитным приводом (<http://bd.patent.su/2356000-2356999/pat/servlet/servlet5014.html>).