

УДК 621.01:534.1:621.928.3

Віталій Корендій, к.т.н., доц.; Олег Парашин; Тарас Вільчинський; Олександр Янів; Владислав Киричук

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

ПЕРСПЕКТИВНІ КОНСТРУКЦІЇ ВІБРОЗБУДНИКІВ ДЛЯ ВІБРАЦІЙНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Анотація. Розглянуто основні типи віброзбудників для вібраційного технологічного обладнання. Акцентовано на перспективних конструкціях із регульованими параметрами, багаточастотним збудженням та здатністю до синтезу керованої траєкторії руху робочого органа. Узагальнено переваги та обмеження їхнього застосування у ключових вібраційних технологічних процесах.

Ключові слова: віброзбудник, вібраційне технологічне обладнання, інерційний привід, електромагнітний привід, планетарний механізм, траєкторія коливань, самосинхронізація, параметричний синтез.

Vitaliy Korendiy, Ph.D., Assoc. Prof.; Oleh Parashchyn; Taras Vilchynskyi; Oleksandr Yaniv; Vladyslav Kyrychuk

ADVANCED DESIGNS OF VIBRATION EXCITERS FOR VIBRATORY TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Abstract. The main types of vibration exciters for vibratory technological equipment are considered. Emphasis is placed on promising designs featuring adjustable parameters, multi-frequency excitation, and the capability to synthesize controlled motion trajectories of the working member. The advantages and limitations of their application in key vibratory technological processes are summarized.

Keywords: vibration exciter, vibratory technological equipment, inertial drive, electromagnetic drive, planetary mechanism, oscillation trajectory, self-synchronization, parametric synthesis.

Вібраційне технологічне обладнання широко використовується у машинобудуванні, гірничій, будівельній, харчовій, фармацевтичній, аграрній та переробній промисловості для транспортування, дозування, сепарації, ущільнення, змішування, сортування, очищення та фінішної обробки матеріалів. Ефективність таких машин значною мірою визначається конструкцією віброзбудника, оскільки саме він формує силове або кінематичне збудження, що задає амплітудно-частотні характеристики, напрям дії збуджувальної сили та траєкторію руху робочого органа.

Традиційні конструкції віброзбудників найчастіше формують гармонічне або близьке до гармонічного збудження. Такий підхід є конструктивно простим, але не завжди забезпечує оптимальну взаємодію робочого органа з оброблюваним середовищем. Для різних технологічних процесів бажані різні режими руху: майже прямолінійні коливання доцільні для спрямованого транспортування; еліптичні траєкторії – для інтенсивного перемішування, сепарації та просіювання; кругові або складні замкнені траєкторії – для полірування, віброгалтування, ущільнення чи активації сипких середовищ. Тому сучасна проблема полягає не тільки у створенні збуджувальної сили необхідної величини, а й у цілеспрямованому формуванні траєкторії руху робочого органа.

Особливої актуальності набувають конструкції віброзбудників, які забезпечують регулювання амплітуди, частоти, фазового зсуву, напряму збудження та співвідношення гармонік без істотного ускладнення всієї машини. До таких рішень належать

регульовані дебалансні приводи, співвісні інерційні віброзбудники, планетарні механізми, самосинхронізовані багатodeбалансні системи, електромагнітні приводи з незалежним керуванням коливаннями у різних координатах, а також кулачкові й кривошипно-повзунні механізми з наперед синтезованим законом руху.

У сучасних дослідженнях інерційні віброзбудники розглядаються як найпоширеніший тип приводів для вібраційних машин, що пояснюється їхньою конструктивною простотою, високою питомою потужністю та придатністю до використання у грохотах, віброживильниках, конвеєрах і ущільнювальних машинах. Водночас традиційні дебалансні системи мають низку обмежень: складність точного керування формою траєкторії, можливість появи паразитних кутових коливань, підвищені динамічні навантаження під час пуску й вибігу, а також чутливість до резонансних режимів. Огляд сучасних інерційних віброзбудників показує, що перспективними є планетарні, саморегульовані та багатоланкові схеми, здатні генерувати лінійні, еліптичні, кругові й складні замкнені траєкторії [1].

Окремий напрям становлять співвісні інерційні віброзбудники з двома механічно синхронізованими дебалансами. У таких конструкціях один електродвигун може приводити два незрівноважені ротори, а зміна співвідношення їхніх кутових швидкостей і фазового зсуву дає змогу формувати кругові, еліптичні або складні багаточастотні траєкторії робочого органа [2]. Перевагою такого підходу є примусова кінематична синхронізація дебалансів, що усуває проблеми, характерні для багатопровідних систем.

Планетарні віброзбудники є перспективними для вібраційного обладнання, у якому потрібно отримати складні траєкторії без застосування складних електронних систем керування. Завдяки поєднанню переносного та відносного обертання незрівноваженої маси планетарний механізм може генерувати не лише прості гармонічні збурення, але й багаточастотні режими з утворенням еліптичних, прямолінійних, кругових або гіпотрохоїдальних траєкторій [3]. Це відкриває можливості траєкторієорієнтованого синтезу, коли геометричні та кінематичні параметри механізму добираються відповідно до бажаного руху робочого органа.

Електромагнітні віброзбудники широко застосовуються у резонансних віброживильниках, дозаторах і транспортерах. Їхня перевага полягає у відсутності оберткових дебалансів, компактності, високій керованості та можливості зміни режиму роботи через параметри електроживлення. Сучасні дослідження демонструють ефективність мікроконтролерного керування механічною частотою віброживильника шляхом модифікації синусоїдального сигналу живлення; при цьому досягнуто стабільну амплітуду коливань близько 1,5 мм і зміну витрати дозованого матеріалу в межах 0–100 г/с за частоти 1–50 Гц [4]. Інший перспективний напрям – незалежне електромагнітне збурення у горизонтальному та вертикальному напрямках, що дозволяє змінювати фазовий зсув між координатами й формувати прямолінійні або еліптичні траєкторії транспортуючого органа [5].

Питання самосинхронізації дебалансних віброзбудників залишається важливим для багатопровідних вібраційних машин. Праці останніх років показують можливість отримання бігармонічних прямолінійних коливань робочого органа за допомогою двох пар кінематично не зв'язаних дебалансних віброзбудників із кратними частотами обертання [6]. Такий підхід є перспективним для машин, де необхідне підсилення технологічного ефекту за рахунок багаточастотного збурення, але він потребує ретельного аналізу умов стійкості синхронних режимів.

Кулачкові віброзбудники становлять окремий клас механізмів, у яких закон руху робочого органа може бути заданий через профіль кулачка. Сучасні підходи до їх синтезу переходять від прямого аналізу заданого профілю до оберненої задачі:

спочатку задається бажана програма пришвидшення робочої маси, а потім визначається необхідний рух штовхача та профіль кулачка з урахуванням обмежень за кутом тиску, радіусом кривини і недопущенням підрізання [7]. Це робить кулачкові віброзбудники доцільними для машин, у яких потрібно реалізувати спеціальні негармонічні або близькі до віброударних режими.

За фізичним принципом формування збурення віброзбудники для технологічного обладнання доцільно поділити на механічні інерційні, кінематичні, електромагнітні, електрогідравлічні, пневматичні та комбіновані. Механічні інерційні віброзбудники створюють змінну збурювальну силу внаслідок обертання незрівноважених мас. Кінематичні віброзбудники, зокрема кривошипно-повзунні та кулачкові, безпосередньо задають переміщення, швидкість або пришвидшення виконавчої ланки. Електромагнітні приводи формують коливання за рахунок періодичної взаємодії електромагніта та якоря, а електрогідравлічні – через пульсацію тиску або витрати робочої рідини.



Рисунок 1. Загальна класифікація віброзбудників вібраційного технологічного обладнання

Інерційні віброзбудники у своєму базовому виконанні (одно- та дводебалансні системи) забезпечують генерування кругових, еліптичних або прямолінійних коливань. Розширення їхньої функціональності досягається за рахунок застосування регульованих конструкцій, що дозволяють безступінчасто змінювати амплітуду шляхом керування фазою дебалансів. Значний потенціал мають також співвісні механізми, здатні формувати складні траєкторії та двочастотні режими роботи від єдиного привода, що суттєво підвищує технологічні можливості обладнання.

Планетарні механізми збудження дозволяють формувати складні замкнені траєкторії руху робочого органа завдяки кінематичному накладанню переносного руху водила та відносного обертання сателіта з незрівноваженою масою. Така просторова кінематика створює умови для цілеспрямованої оптимізації динамічної взаємодії робочих поверхонь із сипким або в'язким середовищем, покращуючи процеси просіювання та ущільнення.

Кривошипно-повзунні віброзбудники відрізняються жорстким кінематичним зв'язком, що гарантує високу точність повторюваності переміщень і стабільність періодичного збурення. Це робить їх оптимальним вибором для вібропресувального обладнання та випробувальних стендів. Кулачкові механізми володіють найвищим потенціалом щодо синтезу наперед заданих негармонічних, зокрема віброударних, законів руху. Проте їхнє ширше практичне застосування лімітується високими контактними напруженнями та ризиком інтенсивного зношування робочих профілів.

Електромагнітні віброзбудники демонструють найвищу ефективність у резонансних системах малої та середньої потужності. Завдяки конструктивній простоті

механічної частини та можливостям високоточного електронного керування вони є базовим рішенням для дозувального та живильного обладнання.

Електрогідравлічні системи характеризуються значною силовою здатністю в діапазоні низьких частот збурення. Ця властивість робить їх практично безальтернативним рішенням для приводу важкого великогабаритного обладнання та потужних стендів, незважаючи на загальну складність конструкції та залежність ефективності від динамічних втрат і жорсткості рідини у гідромагістралях.

Проведений огляд показує, що розвиток віброзбудників для технологічного обладнання переходить від традиційного завдання створення періодичної збурювальної сили до задачі керованого формування траєкторії руху робочого органа. Такий підхід є особливо важливим для процесів транспортування, сепарації, просіювання, ущільнення, дозування, змішування та фінішної обробки, де технологічний ефект визначається не лише амплітудою і частотою, а й формою руху.

Найбільш поширеними залишаються інерційні дебалансні віброзбудники, однак їхні перспективні модифікації пов'язані з регулюванням фазового зсуву, застосуванням співвісних дебалансів, багаточастотним збуренням і кінематичною синхронізацією. Планетарні віброзбудники є особливо перспективними для траєкторієорієнтованого синтезу, оскільки дають змогу формувати складні замкнені траєкторії за рахунок раціонального добору геометричних і кінематичних параметрів. Електромагнітні віброзбудники доцільні для точного дозування та транспортування сипких матеріалів, особливо у резонансних системах із мікроконтролерним або фазовим керуванням. Кулачкові механізми мають переваги для реалізації спеціальних негармонічних законів руху, але потребують ретельної перевірки геометричних і контактних обмежень.

Перелік посилань

1. Korendiy V., Augousti A., Lanets O., Vilchynskyi T., Kyrychuk V., Yaniv O., Protasov R. Novel concepts and designs of inertial vibration exciters for industrial vibratory equipment: a review. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*. 2024. Vol. 10, № 4. Pp. 17–33. URL: <https://doi.org/10.23939/ujmems2024.04.017>.
2. Gurskyi V., Korendiy V., Krot P., Zimroz R., Kachur O., Maherus N. On the dynamics of an enhanced coaxial inertial exciter for vibratory machines. *Machines*. 2023. Vol. 11, № 1. Article 97. URL: <https://doi.org/10.3390/machines11010097>.
3. Korendiy V., Parashchyn O., Kachur O., Lozynskyi V., Hrevtsov S., Hembara N. Trajectory-oriented synthesis of a planetary-type vibration exciter for vibratory technological equipment. *Vibroengineering Procedia*. 2026. Vol. 61. Pp. 1–10. URL: <https://doi.org/10.21595/vp.2026.26348>.
4. Kavaliauskas Ž., Šajev I. Control of vibratory feeder device mechanical frequency using the modification of the sinusoidal supply voltage signal. *Journal of Low Power Electronics and Applications*. 2024. Vol. 14, № 1. Article 15. URL: <https://doi.org/10.3390/jlpea14010015>.
5. Gurskyi V., Korendiy V., Krot P., Dyshev O. Determination of kinematic and dynamic characteristics of a reversible vibratory conveyor with an electromagnetic drive. *Vibroengineering Procedia*. 2024. Vol. 55. Pp. 138–144. URL: <https://doi.org/10.21595/vp.2024.24403>.
6. Yaroshevich N., Zabrodets I., Yaroshevich T. Study of self-synchronization of unbalanced vibration exciters of a biharmonic vibration drive. *Vibroengineering Procedia*. 2025. URL: <https://www.extrica.com/article/25204>.
7. Korendiy V., Kyrychuk V., Svidrak I., Kotsiumbas O., Pelo R., Brytkovskyi V. Acceleration-driven cam profile synthesis for a cam-type vibration exciter with an elastically coupled oscillating mass. *Vibroengineering Procedia*. 2026. Vol. 61. Pp. 17–25. URL: <https://doi.org/10.21595/vp.2026.26147>.