

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ КОНВЕЄРІВ**Петро Коруняк, к. т. н., Сергій Баранович, к. т. н., Ігор Власюк***Львівський національний аграрний університет,**вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Жовківський р-н, Львівська обл., Україна,**e-mail: baranovich1977@ukr.net, vlasdr@ukr.net*<https://doi.org/10.31734/agroengineering2018.01.086>

Постановка проблеми. Високоєфективним сучасне виробництво не може бути без правильно організованої та надійної роботи засобів виробничого транспорту. На підприємствах різних галузей завдяки їм відбувається переміщення сировини, напівфабрикатів між технологічним обладнанням і об'єктами, а також видалення відходів виробництва.

Тісний зв'язок конвеєрів із загальним технологічним процесом виробництва зумовлює їх високу відповідальність. Порушення роботи хоча б одного з конвеєрів у загальній транспортно-технологічній системі спричинює порушення роботи всього комплексу машин системи і підприємства в цілому [2; 14; 16].

Аналогічні проблеми стосуються також підприємств агропромислового комплексу, який охоплює як великі підприємства масового виробництва продукції, так і невеликі суб'єкти господарської діяльності, в яких задіяне обладнання має багатофункціональне призначення. Транспортувальні машини можна застосовувати не лише для виконання їх основної операції – транспортування, а й для допоміжних технологічних операцій (наприклад, сушіння, живлення, сепарування, дозування тощо), де умови й режими їх роботи необхідно змінювати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Небагато можна назвати типів транспортувальних засобів, які б відповідали цим вимогам. До найефективніших у цьому сенсі, на нашу думку, належать вібраційні транспортувальні машини. Суттєвою особливістю віброконвеєрів є те, що переміщення вантажів здійснюється не в результаті їх сумісного руху з робочим органом, а внаслідок вібрації останнього. Тому вплив на це явище та керування цим ефектом породжує нові ідеї в проектуванні нової техніки. Ця обставина визначає низку важливих технологічних та експлуатаційних переваг вібраційного способу транспортування над іншим [2; 10].

Переміщення різноманітних вантажів уздовж вібривальної поверхні може здійснюватись як у відривному, так і в безвідривному режимах. Вибравши схему коливальної системи і джерело механічних коливань, не завжди можна одержати ефективне вібраційне транспортування виробів. Для забезпечення заданого відповідного до технологічного процесу руху вздовж транспортувального органа вони повинні задовольняти специфічні вимоги, до яких належить забезпечення постійності вертикальної складової амплітуди коливань уздовж усієї довжини транспортувального органа, достатньої жорсткості його поперечного перерізу, надійної віброізоляції всієї конструкції конвеєра. Спроекований без урахування цього конвеєр, як правило, буде мати «паразитні» крутильні коливання, від яких різко залежать значення і напрям амплітуд коливань уздовж робочого органа, що робить його непридатним, зокрема, для транспортування орієнтованих виробів [6; 8; 10; 18].

Як відомо, усі режими вібраційного транспортування виробу можна розділити на дві основні групи: безвідривні, під час яких виріб постійно перебуває в контакті з поверхнею транспортувального органа, і відривні – коли виріб на певній частині кожного циклу не торкається поверхні транспортування. Існує низка різновидностей безвідривних і відривних режимів руху, які забезпечують різну ефективність вібраційного переміщення виробів [2; 10–12].

На практиці найбільшого застосування набули способи вібротранспортування, які реалізуються в резонансних коливальних системах, тобто здійснюються під дією гармонічних коливань транспортувальних органів вібраційних машин.

Прямолінійні траєкторії гармонічних коливань, які здійснюються під кутом до поверхні робочого органа, можна реалізувати налаштуванням коливальної системи з пружними елементами у вигляді прямолінійних похилих стрижнів на режим роботи, близький до резонансного. За такого налаштування достатньо мінімальних зусиль віброзбудників.

Найефективнішими режимами транспортування стали відривні режими, що забезпечують максимальні ККД процесу та достатньо високі і стабільні швидкості руху. Проте для цього необхідно дотриматись умов динамічної рівноваги коливальної системи конвеєра. Їх реалізація, тобто відсутність «паразитних» крутильних коливань, відбудеться з однієї сторони, коли лінія, що з'єднує центри мас транспортувального органа і реактивного елемента, збігатиметься з напрямом коливань, або з іншої – коли центри мас транспортувального органа і реактивного елемента суміщені [6; 7; 10].

Набагато складнішим є питання модернізації вібраційних конвеєрів з рознесеними центрами мас їх коливальної системи, оскільки ефективність їх роботи (транспортування виробів чи виконання якоїсь технологічної операції) можлива лише за умови, коли лінія центрів мас збігається із заданим напрямом коливань [1; 20]. Запропоновані новації можна використати лише під час налаштування обладнання, а всі інші конструкторські рішення призводять до створення нового обладнання.

Цілковите усунення або вплив на розмах «паразитних» кутових коливань робочого органа можна реалізувати в конструкції з пружною системою, яка складається з декількох непаралельних плоских пружин, осі яких перетинаються в одній точці, розташованій зі сторони реактивного вантажу [17]. Це значно спрощує конструкцію і налаштування віброконвеєра, зменшує масу транспортувального органа і конструкції загалом.

Крім того, у деяких випадках технологічно доцільно одержати рівномірний рух, що умож-

ливіється за рахунок змінного (регульованого) встановлення плоских пружин. Для забезпечення рівномірного руху виробу вздовж транспортувальної поверхні за такого розташування пружних елементів (рис. 1) необхідно, щоб їх осі перетиналися в заданій розрахунковій точці, яка залежить від параметрів механічної системи [9].

Розв'язання поставленої технічної задачі можливе за допомогою використання запропонованої конструкції опорного вузла (кронштейна) для кріплення кінців плоских пружин.

Сутність конструктивного вирішення полягає в тому, що регулювання «паразитних» кутових коливань механічної системи і кута нахилу плоских пружин 4 здійснюється за допомогою повороту осі шарнірних кронштейнів 5 [5; 9; 19]. Використовуючи цей прийом налаштування віброконвеєра, можна забезпечити задані умови й напрям переміщення вантажу вздовж транспортувального органа конвеєра.

Ефективне вібротранспортування виробів у безвідривних режимах забезпечується еліптичними траєкторіями гармонічних коливань. У резонансних конструкціях еліптичні траєкторії реалізуються під час незалежного збудження зсунутих за фазою поздовжніх і нормальних до поверхні синхронних прямолінійних гармонічних коливань. У низці праць [2; 10] викладено результати досліджень динамічної рівноваги коливальних систем, причин та способів впливу на амплітуду і форму коливань точок поверхні транспортувального органа.

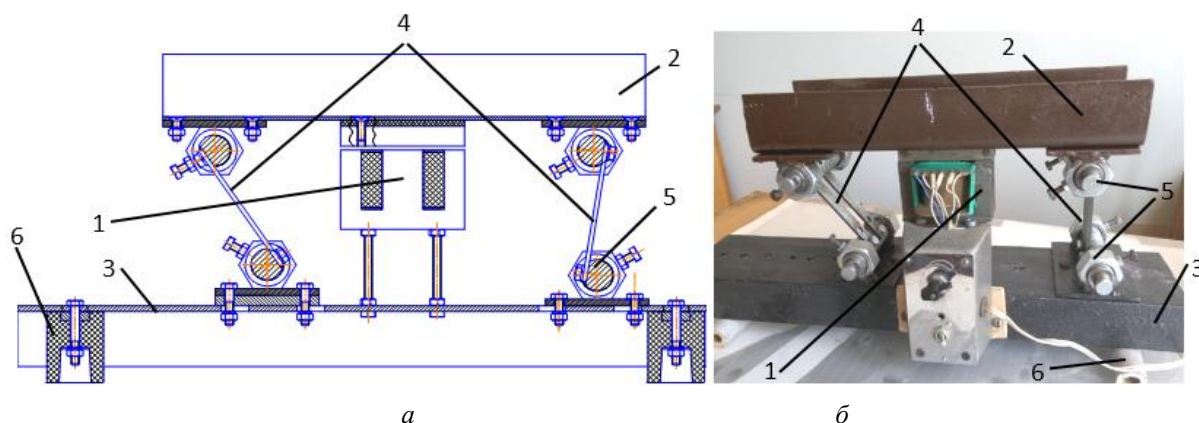


Рис. 1. Вібраційний конвеєр з довільно розташованими плоскими пружинами:

a) конструктивна схема; *б)* дослідне обладнання:

1 – електромагнітний вібратор; 2 – транспортувальний орган; 3 – нижня маса;

4 – плоскі пружини; 5 – кронштейн; 6 – амортизатор

Fig. 1. Vibration conveyor with arbitrary flat springs:

a) design diagram; *b)* experimental equipment:

1 – electromagnetic vibrator; 2 – transportation authority; 3 – lower mass;

4 – flat springs; 5 – bracket; 6 – shock absorber

Аналізуючи режими роботи віброконвеєрів з прямолінійними й еліптичними траєкторіями коливань і варіанти їх вдосконалення, можна зробити такі висновки.

По-перше, найкомпактнішими є конструкції конвеєрів зі суміщеними центрами мас. Ця обставина набагато полегшує завдання модернізації такого типу конвеєрів з погляду універсальності і багатофункціонального їх застосування. До таких транспортних засобів слід зарахувати віброконвеєри з незалежними коливаннями. Завдяки зміні параметрів і режиму роботи можна одержати необхідні форму коливань і напрям руху. Проте, по-друге, експлуатація такого обладнання вимагає високої інженерної та технічної підготовки персоналу, який його обслуговує.

Простіші в технологічній підготовці до роботи та обслуговуванні віброконвеєри, які працюють у відривному режимі, зі суміщеними центрами мас. У цьому разі в конструкції конвеєра необхідно передбачити можливість регулювання кута та зміни напрямку нахилу пружної підвіски.

Постановка завдання. Метою роботи є обґрунтування параметрів роботи та конструкцій віброконвеєрів з можливістю регулювання положення їх пружних елементів, що дасть змогу впливати на технологічні та функціональні можливості обладнання, де застосовуються такі віброконвеєри.

Виклад основного матеріалу. На рис. 2 показано конструктивну схему трубчастого конвеєра зі суміщеними центрами коливальних мас. Він складається з коаксіально розташованих робочої маси 1 (транспортувального органа) і реактивної маси 2 та електромагнітного вібратора, що складається зі статора 3 і якоря 4.

Конвеєр оснащений двома спареними вібраторами, підключеними за двотактною схемою. У двотактних вібраторах два електромагніти, одним із яких якорі притягується, а другим відштовхується. Це означає, що збурювальна сила електромагнітів (притягувальна сила) діє в обох напрямках, завдяки чому не виникають додаткові навантаження на його пружну систему. Тому вони вважаються досконалішими, оскільки дозволяють зберегти симетричність струму, що унеможливає внесення викривлень у мережу живлення та підвищує потужність вібраційної машини.

Обидві коливальні маси пов'язані між собою пружними елементами у вигляді плоских пружин 5, які одним кінцем, у даному виконанні, кріпляться до нерухомого шарнірного кронштейна 6 на реактивній масі 2, а другим – до рухомого шарнірного кронштейна 7 на робочому органі 1. Переміщенням останнього вздовж напрямних та поворотом їх осі з подальшим фіксуванням можна плавно змінювати кут нахилу плоских пружин 5.

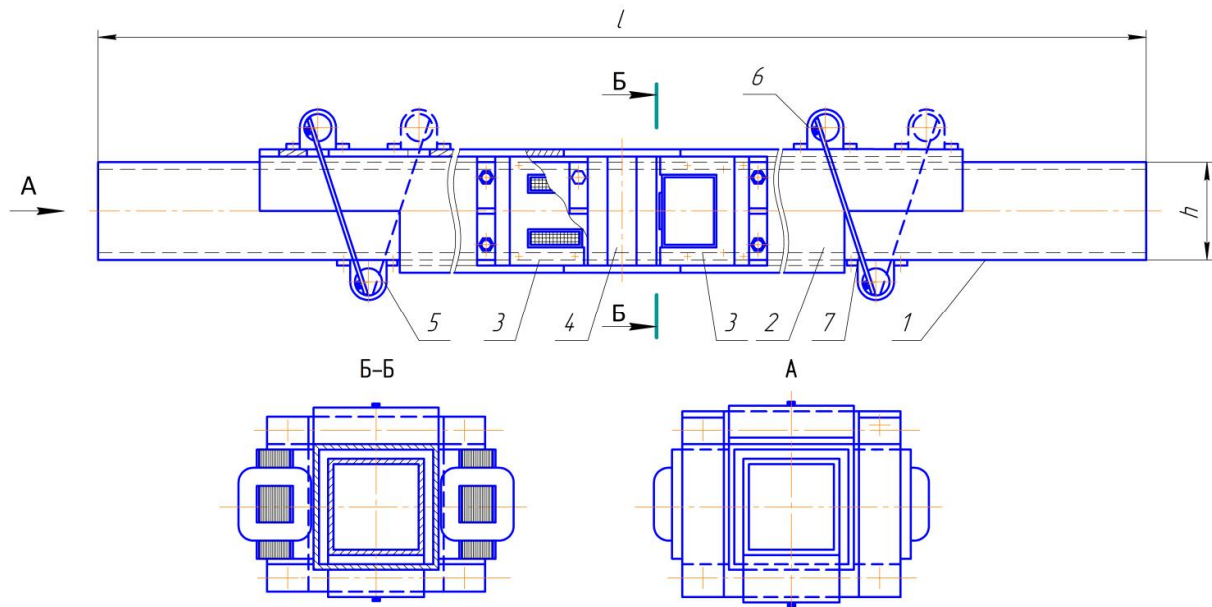


Рис. 2. Конструктивна схема трубчастого конвеєра зі суміщеними центрами коливальних мас: 1 – транспортувальний орган; 2 – реактивна маса; 3 – статор та 4 – якорь електромагнітного приводу; 5 – плоскі пружини; 6 – нерухомий шарнірний кронштейн; 7 – рухомий шарнірний кронштейн

Fig. 2. Constructive scheme of a tubular conveyor with combined centers of oscillatory masses: 1 – transportation authority; 2 – reactive mass; 3 – stator and 4 – anchor of electromagnetic actuator; 5 – flat springs; 6 – fixed hinged bracket; 7 – movable hinged bracket

Для аналізу роботи описаної конструкції конвеєра розглянемо рух тіла вздовж горизонтальної вібрувальної поверхні [15; 16]. Під дією гармонічних коливань, які реалізуються електромагнітним приводом, рівняння його коливань мають такий вигляд:

переміщення

$$S = \frac{A_0}{2} (1 - \cos \omega t); \quad (1)$$

швидкість переміщення

$$u = \frac{A_0 \cdot \omega}{2} \sin \omega t; \quad (2)$$

прискорення

$$a = \frac{A_0 \cdot \omega^2}{2} \cos \omega t; \quad (3)$$

де A_0 – розмах коливань, мм; $\omega = 2\pi\nu$ – колова або циклічна частота коливань; ν – частота коливань, 1/с; t – час, с.

На тіло, що розташоване на вібрувальній поверхні, діють такі сили: сила тертя F , сила опору, яка намагається змитити тіло разом з поверхнею, сила інерції $F_{ин}$, рушійна сила, сила тяжіння.

Сила тертя

$$F = Rf = f(mg \pm masin a), \quad (4)$$

де R – реакція сил, що діють на поверхню; f – коефіцієнт тертя спокою тіла; α – кут нахилу підвіски (пружин).

Під час руху вперед (рис. 3, а)

$$R = mg - masin a, \quad (5)$$

тоді

$$F = f(mg - masin a). \quad (6)$$

Проковзування тіла відносно поверхні вперед відбувається тоді, коли сила інерції є більшою від сили тертя:

$$macosa > f(mg - masin a). \quad (7)$$

Максимальне прискорення вібрувальної поверхні залежить від амплітуди її коливання. Значення прискорення (критичне), за якого починається переміщення, визначається з виразу

$$macosa = f(mg - masin a), \quad (8)$$

звідки

$$a_{kp} = \frac{gf}{\cos a + f \sin a}.$$

Коли ж прискорення змінює свій напрям, умова проковзування набуває вигляду (рис. 3, б):

$$macosa > f(mg + masin a), \quad (9)$$

а проковзування тіла відносно поверхні назад відбувається за умови критичного прискорення

$$a'_{kp} = \frac{gf}{\cos a - f \sin a}. \quad (10)$$

Найзручнішим критерієм оцінювання режиму переміщення виробу вібрувальною поверхнею є амплітудний, тобто значення амплітуди коливання в горизонтальній площині A_2 . І дійсно, якщо прискорення в горизонтальній площині

$$a \cos a = \frac{A_0 \omega^2 \cos a}{2}, \quad (11)$$

тоді за амплітуди коливання

$$A_{2max} = \frac{A_0 \cos a}{2} \quad (12)$$

будемо мати

$$a \cos a = A_{2max} \omega^2.$$

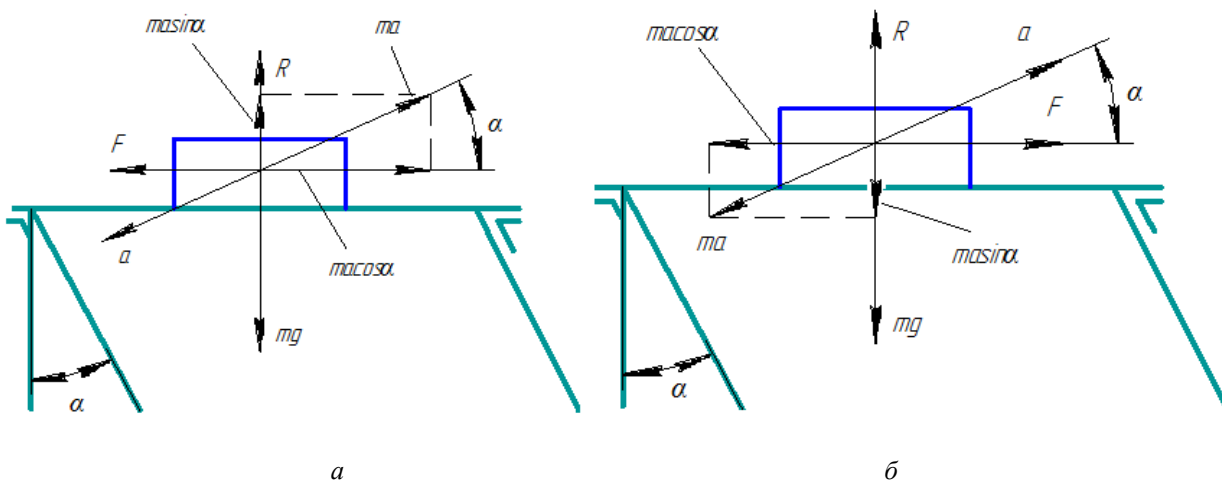


Рис. 3. Схема сил, що діють на транспортоване тіло
Fig. 3. Scheme of forces acting on the transport body

Критична амплітуда коливання, за якої деталь починає проковзувати вперед площиною, становить

$$A^* = \frac{gf}{w^2(1+ftga)}. \quad (13)$$

У разі зміни напрямку прискорення вібраторної площини

$$A^* = \frac{gf}{w^2(1-ftga)}. \quad (14)$$

Проаналізувавши наведені аналітичні залежності, можна зробити висновок, що зі зміною кута нахилу пружної підвіски змінюється не лише динамічне навантаження, а також і значення та напрями швидкостей, прискорень і сил.

Використовуючи цей прийом налаштування віброконвеєра, можна досягти заданих умов розміщення, а також компенсувати деякі його теоретичні й конструктивні хиби. Крім того, заміна напрямку нахилу пружин на протилежний уможливує зміну параметрів руху об'єкта транспортування.

Говорячи про конструкторські новації в модернізації існуючого обладнання, слід зауважити, що підвіска віброконвеєра може бути виконана у двох варіантах. Згідно з першим його підвішують за реактивну масу (або встановлюють), а щодо другого, то конвеєр опирається на основу (раму) через «нерухомі» точки плоских пружин [1, 3; 4; 10; 13]. Ці варіанти підвіски забезпечують хорошу віброізоляцію обладнання.

Отже, незначне вдосконалення конструкції конвеєра зі суміщеними центрами коливальних мас дає змогу розширити функціональні можливості та його завантаженість на виробництві.

За результатами досліджень встановлено, що ефективність роботи вібраційних конвеєрів з паралельно розташованими плоскими пружинами залежить від точності визначення геометрично-масових характеристик елементів коливальної системи, їх конструктивних параметрів та технології виготовлення.

Висновки. Запропоновано способи вдосконалення конструкцій двомасових вібраційних конвеєрів, в яких збурювальна сила електромагнітів діє в обох напрямках, що дозволить запобігти виникненню додаткових навантажень у пружній системі. Застосування цього принципу приводу в віброконвеєрах буде досконалішим, оскільки дозволить зберегти симетричність струму, унеможливить внесення викривлень у мережу живлення та підвищить потужність вібраційної

машини. Також застосування такого типу вібро-транспортерів дозволить полегшити їх налаштування та усунути конструктивні й технологічні неточності. Крім того, використання їх дає змогу впливати на характер та напрям руху виробу вібраторною поверхнею.

Бібліографічний список

1. А. с. СССР № 1219488 А. Двухмассный вибрационный конвейер / В. А. Щигель. Опубл. 23.03.1986, Бюл. № 11.
2. Вибрации в технике: справочник / ред. совет: В. Н. Чоломей (председ.) и др. Москва: Машиностроение, 1981. 509 с.
3. Блехман И. И. Вибрационная механика. Москва: Физматлит, 1994. 400 с.
4. Дубровский А. А. Вибрационная техника в сельском хозяйстве. Москва: Машиностроение, 1968. 204 с.
5. Коруняк П., Яцина М., Ніщенко І. Вібраційний конвеєр з довільно розташованими плоскими пружинами. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2016. № 1. С. 150–155.
6. Коруняк П. С., Шенбор В. С., Боровець В. М. Вібраційні транспортери і транспортні системи з електромагнітним приводом для подачі зерна та зернопродуктів. *Механізовані процеси сільськогосподарського виробництва: зб. наук. праць*. Львів: ЛДСГІ, 1995. С. 40–43.
7. Коруняк П., Боровець В., Шенбор В. Дослідження кутових коливань двомасових вібраційних машин. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2010. № 14. С. 317–323.
8. Коруняк П., Шенбор В., Сиротюк С. Розрахунок конструктивних параметрів вібраційного трубчастого конвеєра з електромагнітним приводом. *Вісник Львівського державного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2002. № 6. С. 125–131.
9. Двомасовий вібраційний конвеєр: пат. на корисну модель 113461 Україна: МПК В65 G 27/08, В65 G 27/32. Опуб. 25.01.2017, Бюл. № 2.
10. Пoviдайло В. О. Вібраційні процеси та обладнання. Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2004. 248 с.
11. Пoviдайло В. А. Гибкие вибрационные модули автоматизированных производств. 1989. Вып. 28. С. 97–101.
12. Пoviдайло В. О., Шенбор В. С. Протяжні вібраційні транспортні системи. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: укр. міжвідом. наук.-техн. зб.* Київ, 1999. № 34. С. 23–27.
13. Спиваковский А. О. Вибрационные конвейеры, питатели и вспомогательные устройства. Москва: Машиностроение, 1972. 328 с.

14. Спиваковский А. О. Транспортирующие машины. Москва: Машиностроение, 1968. 487 с.

15. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле. Москва: Машиностроение, 1985. 470 с.

16. Шаумян Г. А. Комплексная автоматизация производственных процессов. Москва: Машиностроение, 1973. 640 с.

17. Цигель В. А. Динамика двухмассового резонансного вибропитателя с непараллельно расположенными плоскими пружинами. *Известия вузов: машиностроение*. 1988. № 10. С. 91–95.

18. Цигель В. А., Шенбор В. С. Про співвідношення лінійної та кутової амплітуд коливань у двомасовій системі. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: республікан. міжвідом. наук.-техн. зб. Львів: Світ, 1992. № 30. С. 59–63.*

19. Koruniak P., Nishchenko I., Shenbor V., Korendiy V. Two-mass Vibrating Conveyor with Non-parallel Flat Springs. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*. 2016. Vol. 2, No. 1. P. 41–46.

Коруняк П., Баранович С., Власюк І.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ КОНВЕЄРІВ

Висока ефективність сучасного виробництва неможлива без правильно організованої і надійної роботи засобів виробничого транспорту, який забезпечує переміщення сировини, напівфабрикатів між технологічним обладнанням та об'єктами, а також відходів виробництва. Відомі засоби переміщення вантажів, як правило, мають односторонню дію. Тому завданням інженерів-конструкторів є модернізація і вдосконалення існуючих транспортувальних машин та створення нових. Виконання поставленого завдання сприяє підвищенню коефіцієнта корисної дії використання транспортних засобів, оскільки вони можуть застосовуватись не лише для виконання їх основної операції – транспортування, а й для допоміжних технологічних операцій, таких як сушіння, живлення, сепарування, дозування тощо.

До найефективніших транспортувальних засобів, на нашу думку, можна зарахувати вібраційні транспортувальні машини, в яких переміщення вантажів здійснюється не в результаті їх сумісного руху з транспортувальним органом, а внаслідок забезпечення вібрації останнього. Існує ряд типів вібраційних конвеєрів та способів надання робочому органу спрямованих коливань. У роботі запропоновано варіант конструкції віброконвеєрів зі суміщеними центрами мас, які працюють у відривному режимі. Запропоновані конструкції конвеєра передбачають можливість регулювання кута та зміни напрямку нахилу пружної підвіски, що дозволяє змінювати напрям руху вантажу під час транспортування його в технологічному процесі. Таке виконання забезпечує широке й ефективне застосування обладнання в різних галузях виробництва та технологічних процесах. Використання такого типу обладнання забезпечує мінімальне споживання енергії, спрощує процеси технологічних налаштувань та підготовки обладнання до роботи.

Ключові слова: вібрація, конвеєр, транспортування, транспортувальний орган, ефективність.

Koruniak P., Baranovych S., Vlasjuk I.

ENHANCEMENT OF THE EFFICIENCY OF SHAKING CONVEYORS

The high efficiency of modern production is ensured by properly organized and reliably working means of production transport, through which the movement of raw materials, semi-finished products between technological equipment and objects, waste products is carried out. The known means of moving goods, as a rule, are unilateral. Therefore, the task of engineers-designers is to modernize and improve the existing transport vehicles and create new ones. The accomplishment of the task contributes to increasing the efficiency of the use of vehicles, because they can be used not only for their main operation – transportation, but also for auxiliary technological operations such as drying, feeding, separating, dispensing, etc.

In our opinion, the most effective in this regard, we can include vibration transport vehicles, in which the movement of goods is carried out not as a result of their joint movement with the working body, but because of the vibration of the latter. Proper use of the equipment ensures minimal energy consumption. There are a number of types of shaking conveyors and ways to provide a carrying surface with directional oscillation. Some require special preparation in their service, while others – a constructive improvement. Therefore, in this paper a design of shaking conveyor with combined centers of masses, which operate in detachment mode is proposed. Improving the design of the conveyor provides the possibility of adjusting the angle and changing the direction of tilt of elastic suspension. This implementation enables the widespread use of equipment in various industries and their technological processes.

Key words: vibration, conveyor, transportation, carrying surface, efficiency.

Стаття надійшла 27.11.2018