

Розділ 2

МАШИНИ ТА РОБОЧІ ПРОЦЕСИ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 62-521:62-868:62-531.7

ДИСТАНЦІЙНЕ НАЛАШТУВАННЯ РОБОЧИХ РЕЖИМІВ ІНЕРЦІЙНОГО ПРИВОДУ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

*Петро Коруняк, к. т. н., Роман Шеремета, к. т. н.,
Сергій Березовецький, к. т. н., Олексій Швець, к. т. н.*

*Львівський національний університет природокористування,
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна
e-mail: petrokorunyak@gmail.com; romansheremeta@ukr.net*

<https://doi.org/10.32718/agroengineering2025.29.16-21>

Коруняк П., Шеремета Р., Березовецький С., Швець О. Дистанційне налаштування робочих режимів інерційного приводу вібраційних машин для оброблення деталей

У роботі розглянуто актуальне завдання вдосконалення конструкції одновального дебалансного віброприводу для вібраційних машин, що застосовуються у сучасному машинобудуванні для інтенсифікації процесів механічного оброблення деталей. Запропоноване конструктивне рішення забезпечує можливість дистанційного та автоматизованого регулювання амплітуди коливань робочого органа завдяки зміні взаємного кута між дебалансами, розташованими на валу приводу. Використання промислового мікроконтролера дозволяє здійснювати налаштування режимів вібраційного оброблення як перед початком технологічної операції, так і безпосередньо під час робочого циклу, що значно підвищує гнучкість та ефективність процесу.

Аналіз сучасних досліджень показує, що ефективність віброоброблення визначається комплексом параметрів – амплітудою, частотою та формою коливань, а також характеристиками деталей і робочого середовища. Традиційні дебалансні приводи мають обмежені можливості регулювання, що знижує якість поверхні та скорочує ресурс обладнання. Запропонована конструкція усуває ці недоліки завдяки застосуванню електромагнітного приводу та крокового двигуна, які забезпечують точне позиціонування рухомих дебалансів і стабілізацію амплітуди коливань. Це дозволяє підтримувати оптимальні технологічні режими, уникати перевантажень та забезпечувати високу якість обробленої поверхні навіть для деталей складної конфігурації.

Впровадження розробленого рішення у конструкцію віброзбудувача відкриває можливості для створення нового покоління вібраційних машин з автоматизованим керуванням параметрами процесу. Такий підхід сприяє підвищенню енергоефективності, розширенню технологічних можливостей обладнання та забезпечує перспективи його використання у багатоцільових виробничих комплексах. Результати дослідження можуть бути застосовані як для модернізації існуючих машин, так і для розроблення нових зразків вібраційної техніки з покращеними техніко-економічними показниками.

Ключові слова: налаштування, вібрація, амплітуда, дебаланс, частота, електромагніт.

Koruniak P., Sheremeta R., Berezoetskiy S., Shvets O. Remote adjustment of operating modes of the inertial drive in vibratory machines for part processing

The paper addresses the urgent task of improving the design of a single-shaft unbalanced vibration drive for vibration machines used in modern mechanical engineering to intensify processes of mechanical treatment of parts. The proposed structural solution provides the possibility of remote and automated adjustment of the oscillation amplitude of the working body by changing the relative angle between the unbalances mounted on the drive shaft. The use of an industrial microcontroller enables the tuning of vibration treatment modes both before the start of a technological operation and directly during the working cycle, which significantly increases the flexibility and efficiency of the process.

The current research shows that the effectiveness of vibration treatment is determined by a complex of parameters - amplitude, frequency, and oscillation form, as well as the characteristics of the parts and the working medium. Traditional unbalanced drives have limited adjustment capabilities, which reduces surface quality and shortens equipment service life. The proposed design eliminates these drawbacks through the use of an electromagnetic actuator and a stepper engine, which ensure precise positioning of the movable unbalances and stabilization of the oscillation amplitude. This allows maintaining optimal technological regimes, avoiding overloads, and ensuring high surface quality even for parts with complex configurations.

The implementation of the developed solution into the design of the vibration exciter opens up opportunities for creating a new generation of vibration machines with automated control of process parameters. Such an approach contributes to increased energy efficiency, expanded technological capabilities of equipment, and provides prospects for its use in multipurpose production complexes. The findings of the study can be applied both to update existing machines and to develop new samples of vibration technology with improved technical and economic indicators.

Keywords: adjustment, vibration, amplitude, unbalanced weight, frequency, electromagnet.

Постановка проблеми. У сучасному машинобудуванні широко використовується вібраційне оброблення деталей. Використання вібраційних методів оброблення та відповідного обладнання сприяє інтенсифікації технологічних операцій, підвищує рівень механізації та автоматизації багатьох трудомістких виробничих процесів.

Вібраційне оброблення – це спосіб механічного оброблення частини або всієї поверхні деталей, розміщених у вільному або закріпленому стані в робочій камері вібраційної машини, яка заповнюється оброблювальним середовищем. У результаті проведених досліджень встановлено, що використання методів вібраційного оброблення не тільки зменшує шорсткість деталі, а й приводить до зростання продуктивності машин і забезпечує автоматизацію технологічних процесів. Особливо доцільно застосовувати віброоброблення на операціях фінішного доведення поверхонь деталей складної поверхневої конфігурації та форми.

Простота конструкції та енергоефективність розширює технологічні можливості вібраційних машин, забезпечує високу продуктивність виконуваних ними операцій. Це дозволяє зарахувати цей вид технологічного процесу до найсучасніших і перспективних методів оброблення деталей машин та приладів і сприяє вдосконаленню та розробці нових взірців обладнання з підвищеними техніко-економічними показниками [3; 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За характером коливань робочої камери (контей-

нера) у виробничих процесах використовується дво- або трикомпонентна вібрація. Двокомпонентна характерна тим, що кожна точка її здійснює гармонічні коливання в площині, перпендикулярній до осі обертання віброзбудувача, а у випадку трикомпонентної вібрації коливання мають просторовий характер [1; 3; 5].

Вібраційні машини з дебалансним віброприводом (рис. 1) для механічного оброблення деталей бувають з горизонтальною і вертикальною віссю. Вібромашини з горизонтальною віссю і з площинною вібрацією робочої камери переважно виконують U-подібної або циліндричної форми. Вібромашини з об'ємним рухом мають тороїдальні або тороїдально-гвинтові робочі камери.

Під час розроблення технологічних процесів вібраційного оброблення деталей важливе значення мають їх матеріал та робоче середовище, яке складається з наповнювача і технологічної рідини. Залежно від призначеної операції, матеріалу деталей та застосованого способу оброблення (сухий або безперервним промиванням), склад робочого середовища може бути різним.

Основними технологічними параметрами, що визначають ефективність робочого процесу (продуктивність та якість оброблюваної поверхні) під час об'ємного вібраційного оброблення в гармонійно збудованих робочих камерах, є частота та амплітуда коливань. Достатньо важливу роль у цьому відіграють також форма коливань, розміри і характеристики оброблюваних деталей, робоче середовище.

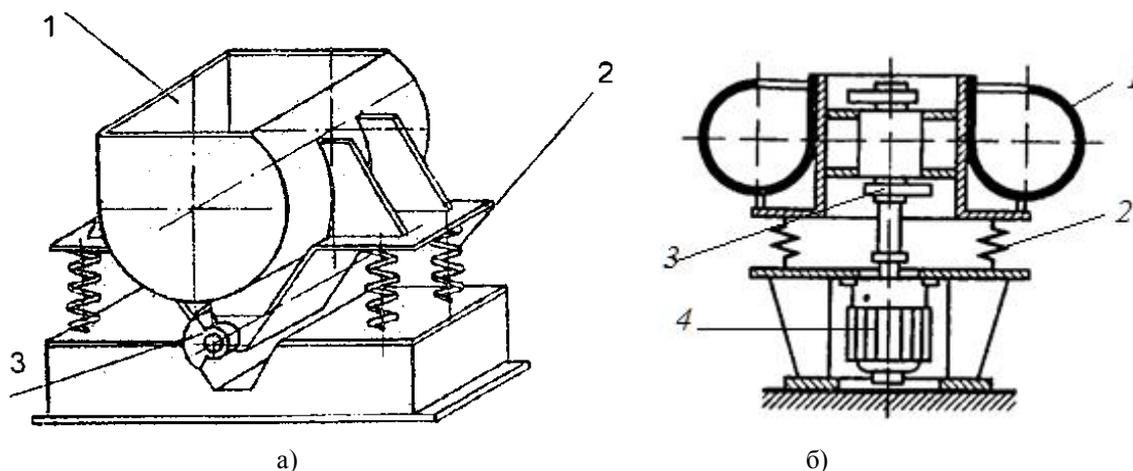


Рис. 1. Вібраційні машини з дебалансними віброзбудувачами: 1 – робоча камера; 2 – пружини; 3 – дебалансний віброзбудувач; 4 – електродвигун; а – з U-подібною робочою камерою; б – з тороїдальною робочою камерою;

Fig. 1. Vibration machines with unbalanced exciters: 1 – working chamber; 2 – springs; 3 – unbalanced exciter; 4 – electric engine a – with U-shaped working chamber; b – with toroidal working chamber

Вібраційні процеси, як правило, відбуваються з амплітудами 1...10 мм і частотами коливань 16...50 Гц [5; 6]. Важливо зауважити, що в літературі немає чітких рекомендацій щодо вибору режимів оброблення, оскільки вони залежать від багатьох чинників. Так, інтенсивність знімання матеріалу зростає лінійно зі збільшенням амплітуди коливань і нелінійно зі збільшенням частоти коливань робочої камери. Тому основним критерієм збільшення продуктивності вібраційних машин є підвищення швидкості взаємодії деталей з робочим середовищем. З іншого боку, зі зростанням амплітуди погіршується якість поверхні (можуть утворюватися забоїни), збільшуються навантаження на конструктивні елементи обладнання, що зменшує його термін служби.

Що стосується частоти коливань, то слід зазначити, що зміна її поза межами рекомендованих значень погіршує циркуляцію завантаження або вона зовсім зникає, а цей чинник є необхідною умовою виконання робочого процесу.

На підставі викладеного подальші дослідження в окресленому напрямі є актуальними і перспективними. Це спонукає до ефективного використання, вдосконалення і розроблення нових способів віброоброблення та конструкцій машин, які б забезпечили оптимальний режим роботи. Одним із напрямів реалізації поставленого завдання є плавне і дистанційне регулювання параметрів режимів вібраційного оброблення деталей. Такий підхід надасть поштовх роботі над створенням вібраційних технічних комплексів, в яких всі робочі і допоміжні операції здійснюються в автоматичному режимі [7–13].

Постановка завдання. Наше завдання – для забезпечення багатоцільового технологічного використання вібраційних машин загального призначення запропонувати конструктивне рішення оновального дебалансного віброприводу, що дає

зможу в автоматичному режимі дистанційно керувати параметрами коливання впродовж усього робочого циклу віброобробки.

Виклад основного матеріалу. Основним вузлом вібраційних машин, що забезпечує реалізацію робочого руху її камери є вібропривід. Він визначає працездатність, надійність і досконалість машини. Найбільшого розповсюдження набули вібраційні машини з інерційним (дебалансним) та електромагнітним приводом, в яких збурювальна сила генерує робочій камері коливання заданої амплітуди і частоти, які, своєю чергою, визначають параметри руху робочого середовища. Відносна простота конструкції дебалансного віброприводу супроводжується і своїми недоліками. Одним із них є складність регулювання параметрів коливання.

На рис. 2 показані схеми компонування робочої камери з вібратором. У вібромашинах з горизонтальною віссю, тобто площинною вібрацією робочої камери, корпус вібратора кріпиться знизу до неї із симетрично розташованою парою дебалансів в однаковому положенні.

У вібромашинах з кільцевою робочою камерою вібропереміщення маси завантаження відбувається за трьома координатами (об'ємний рух). Таке гвинтове переміщення інтенсифікує процес оброблення, підвищує якість, а в окремих випадках є єдиним способом оброблення тонколистових, крихких і прецизійних деталей.

Стосовно вібромашин з вертикальною віссю, слід пам'ятати, що для ефективної роботи машини необхідно розташовувати вібратор відносно робочої камери таким чином, щоб верхня пара дебалансів знаходилась у межах рівня її центра мас у завантаженому положенні. Крім того, для забезпечення гвинтоподібного переміщення маси завантаження необхідно, аби результуюча збурювальна сила однієї пари дебалансів була зміщена на певний кут ($60...110^\circ$) відносно результуючої другої пари [1; 2; 4].

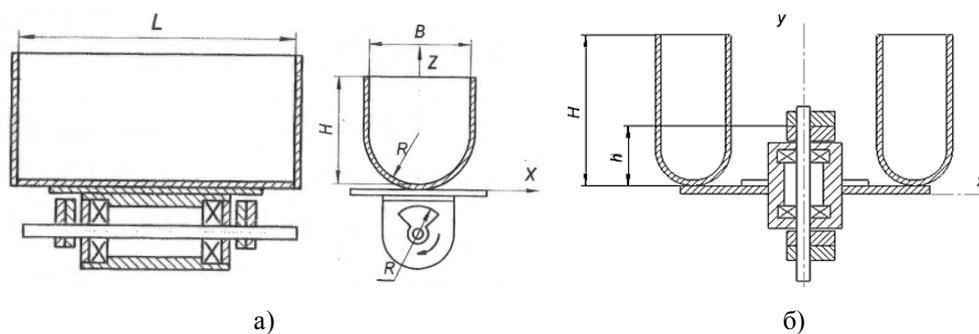


Рис. 2. Схема компонування інерційного вібратора і робочої камери: а – з U-подібною робочою камерою; б – з тороїдальною робочою камерою

Fig. 2. Layout scheme of the inertial vibrator and working chamber: а – with U-shaped working chamber; б – with toroidal working chamber

Загалом інерційний вібратор складається з двох пар дебалансів, які мають взаємне і незалежне регулювання. Зміна величини амплітуди коливання проводиться регулюванням величини збурювальної сили за допомогою суміщення або розведення дебалансів. Під час конструювання необхідно дотримуватись того, щоб у кожній парі маса і координата центра мас неврівноваженої частини дебаланса були однакові. Для уможливлення регулювання величини амплітуди коливань від 0 до максимум на кожному кінці вала вібратора розташовано по одній парі взаємно регульованих дебалансів.

Якщо способи регулювання частоти обертання вала вібратора, а отже, змінення частоти коливань, у техніці відомі (механічний – плавний і ступінчастий; електричний – використання постійного струму або частотника змінного струму), то способи дистанційного регулювання амплітуди коливань розвиваються і стоять на порядку

денному. На сьогодні відомі результати досліджень та конструкторські розробки в цьому напрямі низки вчених [7–13]. Надалі пропонується конструктивне вирішення цього питання співробітниками ЛНУП.

На рис. 3 і рис. 4 наведено конструктивну схему і тривимірну модель запропонованого одношального дебалансного віброприводу відповідно. Пристрій складається з корпусу I з підшипниковими опорами, в яких встановлений вал II в зборі. Усі складальні одиниці, що знаходяться на ньому, розташовані симетрично. На кінцях вала закріплені інерційні віброзбурювачі коливань III у вигляді двох пар дебалансів однакової конструкції. Один із дебалансів 2 віброзбурювача закріплений до його несучої основи 7 жорстко болтовим з'єднанням, а інший 3, завдяки диску-поводирю 4, фіксується до неї і має можливість у вільному стані обертатися відносно напрямних навколо осі.

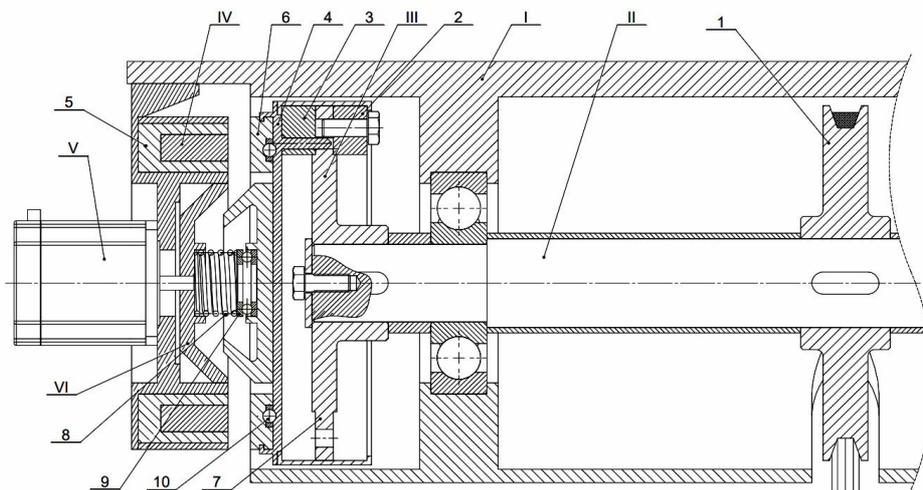


Рис. 3. Конструктивна схема запропонованого одношального дебалансного віброприводу
Fig. 3. Structural scheme of the proposed single-shaft unbalanced vibration drive

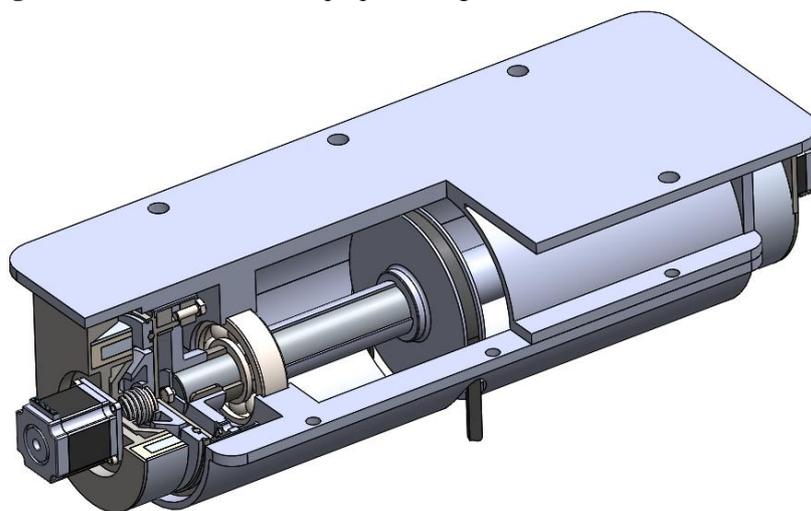


Рис. 4. Тривимірний CAD-модель запропонованого одношального дебалансного віброприводу
Fig. 4. Three-dimensional CAD model of the proposed single-shaft unbalanced vibration drive

Диск-поводир 4 призначений для реалізації двох рухів: обертального (як зазначено вище) і поступального – фіксування рухомого дебалансу 3 у необхідному положенні. Поступальний рух здійснюється завдяки електромагнітному приводу IV, а обертання приводиться в дію від крокового двигуна V, які пов'язані між собою фрикційною конічною муфтою VI. Двигун і статор електромагніту закріплені до корпусу віброприводу.

Працює пристрій таким чином. Інерційний вібраційний привід у зібраному вигляді відповідно до відомих рекомендацій закріплюється до корпусу робочої камери вібраційної машини. Пристрій урухомлюється через пасову передачу 1 привідним електродвигуном (на рисунку не показано). Слід зазначити, що привід вібромашини можна реалізувати за іншою конструктивною схемою із застосуванням вибраних засобів регулювання частоти обертання. Наприклад, таким чином: електродвигун – еластична муфта або пасова передача – контрпривід – зубчаста передача – вал віброзбудувача, або ж іншим чином.

Налаштування амплітуди коливань на заданий режим оброблення деталей здійснюється в такій послідовності. Визначивши для даних конструктивних параметрів дебалансів збудувальне зусилля, яке відповідає проєктному значенню амплітуди, здійснюють встановлення у необхідне положення рухомого дебалансу 3 відносно нерухомого 2. Для цього дистанційно в автоматичному режимі у запрограмованому алгоритмі статор електромагніту 5 притягує якорь 6, який пов'язаний з диском-поводирем 4. Останній, оснащений фіксувальними елементами (штифтами), виводить рухомий дебаланс 3 із зачеплення з основою 7 віброзбудувача. Далі вмикається кроковий двигун V і через фрикційну муфту VI, яка увійшла в дію від попереднього руху, повертає рухомий дебаланс 3 на визначений програмою кут. Після цього електромагніт IV знеструмлюється і якорь 6 з диском-поводирем 4 під дією пружини 8 фіксує його в даному положенні.

Для зменшення опору між тертьовими поверхнями деталей у їх відносному русі передбачено включити у конструкцію муфти упорний підшипник 9, а у кільцевий простір між диском і якорем помістити кульові елементи 10.

Налаштування обох віброзбудувачів здійснюється одночасно за визначеною програмою

перед початком робочого процесу. За необхідності зміни режимів оброблення або переходу до оброблення іншого типу деталей переналаштування здійснюється в тій же послідовності.

Під час використання запропонованої конструкції інерційного приводу у вібромашинах з трикомпонентною вібрацією попередньо необхідно забезпечити відповідне взаємне положення віброзбудувачів на валу.

Здійснивши певні конструктивні зміни, його можна впровадити у конструкції вібромашин з горизонтальною циліндричною робочою камерою з одним або двома привідними електродвигунами.

Висновки. Дистанційне налаштування величини амплітуди та частоти циклічно збудувального зусилля одновального інерційного віброприводу дає змогу під час вібраційного оброблення деталей забезпечити та підтримати задані технологічні параметри робочого процесу. Перспективним напрямом подальших досліджень є створення експериментальної моделі вібраційної машини з інерційним приводом та аналіз її функціонування за умов дистанційного налаштування режимів роботи.

Бібліографічний список

1. Бернік П. С., Ярошенко Л. В. Вібраційні технологічні машини з просторовими коливаннями робочих органів / за ред. П. С. Берніка. Вінниця, 1998. 116 с.
2. Боровець В. М. Вібраційний верстат для обробки корпусу макітерки. *Вісник ДУ «Львівська політехніка»*. 1998. № 321. С. 8–12.
3. Боровець В. М., Гаврильченко О. В., Коломієць В. О. Аналіз динаміки вібраційних машин об'ємної обробки деталей. *Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні*. 2000. № 394. С. 104–110.
4. Боровець В. М. Дослідження впливу обробки корпусних деталей на знімання матеріалу. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*: укр. міжвідом. наук.-техн. зб. Львів, 2000. Вип. 35. С. 66–69.
5. Боровець В. М., Коруняк П. С. Дослідження сил між елементами вібраційних машин деталей в обертових пристроях. *Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні*. 2002. № 442. С. 12–15.
6. Карташов И. Н., Шаивский М. Е., Власов В. А. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах. Киев: Вища шк., 1975. 188 с.
7. Керований дебалансний вібропривід спрямованої дії з регулюванням кута напряму вібрації /

А. Тригуба, П. Луб, В. Пташник, Р. Чубик. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження*. 2020. № 24. С. 53–61.

8. Коруняк П. С., Керницький І. С. Вібраційні машини у виробничих процесах та технологіях: навч. посіб. Львів: Сполом, 2019. 346 с.

9. Повідайло В. О. Вібраційні процеси та обладнання. Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2004. 248 с.

10. Спосіб керування роботою машини із коливними рухами робочих органів: пат. 10971 А Україна: В65В G27/24. № 200502375; заявл. 16.03.2005; опубл. 15.12.2005, Бюл. № 12. 4 с.

11. Чубик Р. В., Горбатюк Р. М., Борзов І. Г. Пристрій для автоматизації технологічного процесу віброобробки деталей. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. № 1(93). С. 74–80.

12. Чубик Р. В., Скварок Ю. Ю., Деньщиков О. Ю. Автоматизований вібропривод для тороїдальних вібротриболомашин. *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*. 2014. № 17. С. 58–65.

13. Чубик Р. В., Ярошенко Л. В. Керовані вібраційні технологічні машини: монографія. Вінниця: ВНАУ, 2011. 355 с.

Стаття надійшла 10.02.2025