



Чубик Р. В.

*Дрогобицький
державний
педагогічний
університет*

Горбатюк Р. М.

*Вінницький
національний
аграрний
університет*

УДК 62-521:62-868:62-531.7

ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АДАПТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН ДЛЯ ВІБРОАБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Проведен анализ тенденций развития управляемых вибромашин и технологий для виброабразивной обработки деталей, которые применяются в гибких автоматизированных производственных системах промышленности. Предложены идеологически новые принципы управления виброповодами адаптивных машин, которые позволяют обеспечивать минимальные энергозатраты на привод машин при стабильном заданном технологически оптимальном уровне производительности (интенсивности) виброобработки и произвольной массе загрузки рабочего органа машины деталями и обрабатывающей средой.

Ключевые слова: управляемый вибропривод, виброабразивная обработка, адаптивное управление.

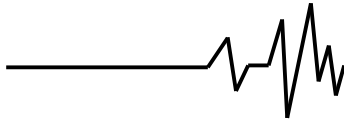
The analysis of progress of the guided vibromachines and technologies trends is conducted for vibroabrasive treatment of details which are used in flexible production CASS of industry.

New principles of management of adaptive machines which allow to provide minimum energyexpenses on the occasion of machines at the stable set technologically optimum level of the productivity (intensities) of vibrotreatment and arbitrary mass of load of working organ of machine by details and processing environment vibrooccasions are offered ideological.

Keywords: guided vibrodrive, vibroabrasive treatment, adaptive control.

Постановка проблеми. Розуміння природи явищ, що виникають при дії вібрації являється основою її ефективного застосування в технологічних цілях та для створення вібраційних технологічних машин (ВТМ). В ряду випадків вібрація відіграє роль каталізатора та призводить до суттєвої інтенсифікації технологічних процесів та підвищення їх якісних показників, а в деяких випадках певні технологічні процеси можуть бути реалізовані завдяки тільки вібрації. Фізична природа процесів вібраційних технологій [1, 2, 3] достатньо складна та пов'язана із такими явищами як удар, кавітація, абразивне зношування, багато контактна взаємодія оброблюваних предметів, хвильові процеси (взаємодією ударних хвиль із матеріалом та обробляючим середовищем), адгезивні явища, вібраційне кипіння [4]

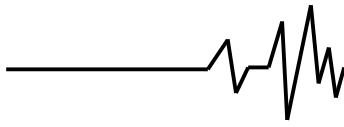
дисперсного обробляючого середовища (та оброблюваного середовища). В основі природи вібраційних технологічних машин (ВТМ) лежать своєрідні ефекти, що виникають при накладанні дії вібраційного поля на нелінійні характеристики тепломасообмінних та механко-фізико-хімічних процесів котрими реалізують певну технологічну дію. Академік К.В. Фролов у роботі [5], вібраційні технології та процеси на їх основі за свій потенціал називає технологією майбутнього. В середині ХХ століття в колишнім СРСР практично одночасно зародилися потужні наукові школи, були створені науково-дослідні інститути та проектні організації (ВПТИелектро – Всесоюзний проектно-конструкторський інститут технологій і електротехнічного виробництва - м. Ленінград, Експериментальний науково-дослідницький інститут металорізальних верстатів ЭНИМС –



м. Москва, (Інститут геотехнічної механіки академії наук) ІГТМ АН УСССР – м. Дніпропетровськ, Рижський політехнічний інститут – Латвія, АН ЛитССР–м. Каунас, Львівський політехнічний інститут – м. Львів, НДІ «Вібротехнології» – ДГТУ м. Ростов-на-Дону, Вибромаш – м. Ростов-на-Дону, Полтавський інженерно-будівельний інститут – м. Полтава, та інші. Серед закордонних фірм розробників та виробників вібраційних технологічних машин слід відмітити "Wibral" (Франція), "Sweco" (Швеція), "Pangborn CO", "Almco", "Abrodo-Finichers", "Roto-Finish", (США), "Vijimech" (Індія), "Walther Trowal" (Німеччина), "William Boulton Zimilted", "Almco" (Англія) котрі вирішували теоретичні та прикладні аспекти по використанню вібраційних технологій в багатьох галузях промисловості. Зокрема за допомогою ВТМ вирішуються такі задачі: розділення (сепарація) насипних та багатофазних середовищ, деформування та мікрорізання металевими та абразивними інструментами та середовищами (оздоблювально-зачисна, оздоблювально-зміцнювальна та стабілізуюча віброобробка), руйнування та дроблення, підвищення ефективності механічних, фізико-механічних та металургійних процесів, створення вібророзрідженого (віброкип'ячого) шару, ущільнення, переміщення та транспортування, бункеризація, розфракціонування, дозування, пресування, інтенсифікація гальванічних та хімічних процесів. По характеру всі вібраційні процеси можна розділити на ряд узагальнених технологічних напрямків [1, 2, 3]: вібраційний вплив середовища на насипні та дисперсні системи; заглиблення віброуючих елементів в ґрунт, матеріал, породу; деформування та руйнування (різання); дроблення та подрібнення; відділення різного роду нашарувань (забруднень, покриттів), миття, очистка. Згаданими науковими школами (організаціями) проводились та проводяться дослідження направлені на підвищення інтенсивності, продуктивності, отримання якісно нових результатів обробки, автоматизацію вібраційних процесів та створення нових автоматизованих засобів для технологічного оснащення промисловості. Для розв'язування поставлених задач, науковцями проводились фундаментальні дослідження закономірностей вібраційних процесів, інтенсифікація та оптимізація динамічних параметрів обробляючих середовищ, керування їх станом та переміщенням (траєкторією). Вдосконалення і створення нових форм робочих органів (камер, бункерів, контейнерів), диференціація або інтеграція особливостей роботи їх

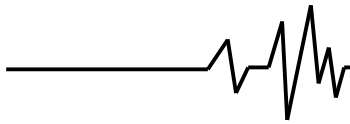
елементів, керування параметрами їх коливних рухів [6]. Вдосконалення характеристик і властивостей обробляючих середовищ, зокрема: вагових розмірних, структурних, технологічних та економічних. Досліджувалась механохімія вібраційних технологій, зокрема явища адгезії, адсорбції, дифузії та хімічної взаємодії в умовах вібраційного процесу. Вивчалось використання фізичних ефектів енергетичного впливу електричного, магнітного, акустичного, теплового полів та хімічних реакцій для інтенсифікації вібраційних процесів і розширення їх технологічних можливостей. Проводилась розробка нових видів віброприводу. На основі перелічених теоретичних та експериментальних досліджень вібраційних технологічних процесів розроблено фундаментальні основи, що визначають ідеологію та закладають принципи проектування вібраційних технологічних машин.

Аналіз останніх досліджень. На сучасному етапі розвитку вібраційних технологічних процесів та машин науковцями (Баби́чев А.П., Ша́їнський М.Е., Політов І.В., Повідайло В.А., Гончаревич І.Ф., Фролов К.В., Самодумський Ю.М., Копилов Ю.Р., Берник П.С., Лубенська Л. М., Брандт В.Е., Матсунага М., Устінов В.П., Юркевич В.Б., Ромашов А.А., Матюхин Е.В., Лебедев В.А.) розкрито механізми взаємодії елементів коливної системи, що складається із робочого органу, обробляючого середовища та оброблюваної деталі. Вивчено фізико-технологічні властивості віброуючих середовищ із різними характеристиками, що в кінцевому випадку визначають технологічні можливості процесу віброобробки. Досліджено вплив ударно хвильових процесів при вібраційному технологічному впливі на суцільні та сипучі середовища. З'ясовано, що при загальній оцінці технологічний процес віброобробки являє складний комплекс тепломасообмінних та механо-фізико-хімічних явищ, що суттєво впливають на стан поверхні та поверхневого шару деталі та обробляючого середовища. Фізична суть технологічного впливу вібраційного поля робочого органу, визначається комплексним впливом на оброблювану деталь цілого ряду факторів та наявність певної (специфічної) характеристики у робочого середовища. Основними серед даних факторів є: велика кількість мікроударів частинок робочого середовища в різних напрямках (це забезпечує рівномірний всесторонній вплив на деталі та оброблювані матеріали, в залежності від характеристик частинок обробляючого середовища та його складу створюються умови для технологічних



процесів: мікрорізання, багатократного пружно-пластичного деформування, стираючого згладжування); наявність перемінних прискорень, що викликають ударно хвильові процеси та згинальні напруження; наявність в робочій камері (у вібраційному полі) хімічно активних і поверхнево активних речовин, що обумовлюють фізико-хімічні процеси; наявність інтенсивного напрямленого переміщення оброблюваних деталей та матеріалів. Розкрита фізична суть всіх існуючих нині видів технологічних процесів віброабразивної обробки. Зокрема для такого виду віброабразивної обробки, як віброзачистка (ВіЗ) (видалення облою, задирів, округлення кромки) встановлено [1, 2, 3], що видалення облою із кольорових металів та сплавів передбачає два технологічні процеси послідовно протікаючи один за одним: обламання облою окремими пластинками з утворенням біля його основи порожнини з характерними ознаками крихкого надлому і окремими виступами трикутної форми (залишками облою) та зачистка залишків облою, гострих кромки, що утворилися в місці надлому частинками робочого середовища. Встановлено, що фізична суть видалення задирів та заокруглення кромки ґрунтується на ряді особливостей технологічного процесу віброабразивної обробки, зокрема на властивості текучості робочого середовища під дією вібраційного поля та його інтенсивним перемішуванні. Це, забезпечує неперервність "протікання" частинок робочого середовища, проникнення їх в усі отвори, пази, контакт їх із усіма елементами оброблюваної поверхні та різну (випадкову та змінну в часі) орієнтацію деталей відносно руху потоку частинок обробляючого робочого середовища. Основою процесу видалення облою, задирів, заокруглення кромки та полірування кромки є мікрорізання, що супроводжується зняттям мікроскопічних частин металу, його оксидів та тонким пластичним деформуванням поверхневого шару оброблюваної деталі. Видалення задирів, округлення кромки переважно супроводжується мікрорізанням із зняттям мікроскопічних частин матеріалу деталі, а полірування кромки деталі може реалізовуватися як мікрорізання так і зняттям оксидів матеріалу деталі так і тонким пластичним деформуванням. Також експериментальними дослідженнями ВіЗ технології встановлено [4], що підвищення інтенсивності процесу віброобробки кромки та задирів можливе зменшенням площі контакту частинок робочого середовища з оброблюваною поверхнею та збільшенням

тиску і глибини входження абразивних зерен в матеріал оброблюваної деталі. Встановлено, що основою технологічного процесу віброабразивного шліфування є інтенсивне мікрорізання (царапання) оброблюваної поверхні частинками робочого середовища котре супроводжується зміною початкової шорсткості поверхонь деталей внаслідок зняття мікроскопічних частинок металу або його оксидів та пластичного деформування. Найбільш інтенсивно піддаються обробці відкриті поверхні до котрих є вільний доступ частинок робочого середовища. Технологічний процес утворення мікрорельєфу поверхонь при вібраційному шліфуванні є результатом взаємного притирання поверхонь оброблюваних деталей та частинок обробляючого середовища при взаємному переміщенню під дією напрямлених вібрацій. Дане твердження однаково стосується як процесу шліфування так і процесу полірування з використанням в якості робочого середовища твердих абразивних та металевих тіл або м'яких матеріалів із додавання різного роду паст, суспензій, емульсій. З'ясовано, що фізичною основою технологічного процесу віброабразивного полірування та глясування в середовищі м'яких поліруючих тіл є механо-хімічний процес видалення із оброблюваної поверхні мікроскопічних частинок матеріалу деталі. В зв'язку із тим, суттєву роль для інтенсифікації та керування процесом віброабразивного полірування та глясування є застосування різного роду поверхнево та хімічно активних середовищ на фоні заданого технологічно оптимального значення параметрів вібраційного поля робочого органа. Встановлено, що фізичною суттю технологічного процесу віброзміцнення (ВіЗМ) (підвищення мікротвердості; створення залишкових напружень) в середовищі металевих тіл є пластичне деформування елементарних ділянок оброблюваної поверхні деталі, що також визначає можливість зміни мікрорельєфу. Встановлено, що інтенсивність протікання технологічного процесу віброзміцнення залежить від параметрів котрі визначають величину сили мікроударів (амплітуди та частоти коливань робочого органа, маси частинок робочого середовища, величини площі контакту частинок робочого середовища із оброблюваною поверхнею). Основою технологічного процесу *віброзміцнення* являється динамічний характер його протікання супроводжуваний великою кількістю мікроударів частинок робочого середовища по поверхні деталі, що забезпечує пластичне деформування поверхневого шару,



наслідком чого являється підвищення мікротвердості, утворення зжимаючих залишкових напружень першого роду та зменшення шорсткості поверхні деталі. При цьому досягається рівномірне ущільнення тонкого поверхневого шару всіх елементів деталі, округлення кромки, плавність переходів, виключається таке явище як "ведення" (перекривлення) котре має місце при вибірковій обробці крупно габаритних деталей. Для віброочистки (ВіО) встановлено. Що основою технологічного процесу віброочистки відливок (металургійна та ливарна промисловість) від формуючої маси являється наявність: страхування, співударів, перемінних прискорень (ударно-хвильових процесів), мікроударів частинок робочого середовища, розклинюю чого впливу робочої рідини. Основний процес очистки деталей і заготовок [7] від окалини, корозії, нагару, накипу є механохімічний вплив обробляючого середовища активований вібраційним полем робочого органу вібромашини. Технологічний процес видалення забруднення при ВіО в загальному випадку обумовлений механічним впливом у вигляді мікроударів частинок обробляючого середовища, розведенням та змочуванням циркулюючою робочою рідиною. На даному етапі вивчення та впровадження технологій на основі вібропроцесів ґрунтовно досліджено [8] динаміку циркуляційного руху робочого середовища, вплив його ущільнення на інтенсивність вібропроцесів при виконанні різних технологічних операцій. В роботі [8] встановлено, що зміна густини віброуючого середовища (котра залежить від параметрів вібраційного поля робочого органу, тобто

амплітуди та частоти його коливань) суттєво впливає на величину в'язкого опору квазіупругого робочого середовища, швидкість циркуляційного руху та величину приєднаної маси частинок робочого середовища до робочого органу ВТМ.

Постановка задачі. Провести аналіз розвитку керованих вібромашин та технологій на їх основі, що використовуються для віброобразивної обробки деталей та застосовуються у гнучких автоматизованих виробничих системах промисловості. На основі аналізу встановити найбільш перспективні для подальшого розвитку типи вібраційних технологічних машин, що дозволяють реалізовувати принципи керування технологічними процесами віброобразивної обробки, які забезпечуватимуть зменшення енергозатрат на привод вібромашин при стабільному заданому технологічно оптимальному рівні продуктивності (інтенсивності) віброобробки та довільній масі завантаження робочого органу вібромашини деталями і обробляючим середовищем.

Виклад основного матеріалу. Усі вібраційні технологічні машини (вібраційні станки), що експлуатуються заразу складі віброоброблюючих центрів (Рис. 1) гнучких виробничих систем промисловості на усіх етапах та стадіях віброобразивної обробки, відповідно до [9], можна поділити на дві групи: універсальні станки загального призначення і спеціальні та спеціалізовані. Також слід зазначити, що промисловістю випускаються автоматичні ВТМ, автоматизовані ВТМ, ВТМ напівавтомати та неавтоматизовані ВТМ.

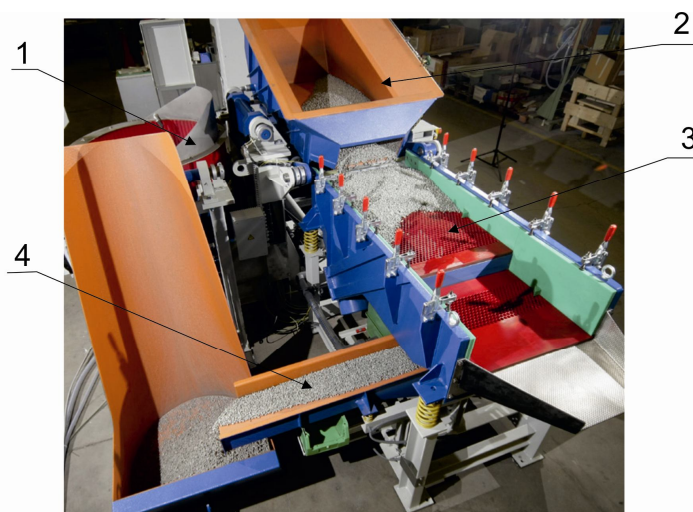
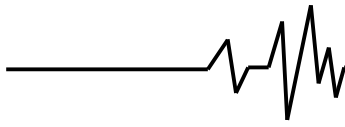


Рис. 1. Комплекс фірми "Walther Trowal" для віброобразивної обробки деталей:
1 – тороїдальна вібраційна технологічна машина; 2 – вібраційний бункерний живильник;
3 – вібросепаратори; 4 – вібрлоток



Неавтоматизовані ВТМ виготовляють багатокамерними (багатосекційними) і вони використовуються у тих випадках коли номенклатура оброблюваних деталей на конкретному виробництві є невеликою та є потреба в послідовній віброобробці деталей на очисних, зачисних та оздоблювальних технологічних операціях. Згідно [10, 11] автоматичними вібраційними станками називається вібромашина в котрих дистанційно із пульта відбувається плавне керування параметрами вібраційного поля робочого органу і всі робочі та допоміжні рухи (завантаження та вивантаження, подача робочої рідини) необхідні для виконання технологічного циклу віброобробки деталей механізовані. ВТМ напівавтомати це вібромашина, що мають неавтоматизовані деякі основні або допоміжні рухи (більшості випадків це рухи пов'язані із керуванням режимами віброобробки [6] та завантаженням і вивантаженням) та керування параметрами вібраційного поля робочого органу є ступінчастим та вимагає безпосередньої участі оператора в даному процесі. Згідно [10, 11] автоматизованими вібраційними станками називається вібромашина в котрих всі робочі та допоміжні рухи необхідні для виконання технологічного циклу віброобробки деталей

механізовані. В свою чергу, усі автоматичні та автоматизовані ВТМ із трьох груп можна поділити на два класи: вібромашина безперервної та циклічної дії. Слід також зауважити, що ВТМ безперервної дії можуть працювати в циклічному режимі, а циклічні в безперервному ні. Робочі контейнери автоматизованих та не автоматизованих вібромашин мають як прямокутну так і кільцеву форму та як правило оснащені різними механізмами (системами) для додаткового впливу на технологічний процес.

До останнього часу найбільше розроблено конструкцій одно- (Рис. 2) та багатокамерних (Рис. 3) універсальних неавтоматизованих ВТМ загального призначення. Представниками таких найпростіших ВТМ є моделі: УВГ-100 (маса завантаження 300 кг), УВГ-1000 (маса завантаження 2200 кг) та ВУ-350, ВУ-850, ВУ-1200 (маса завантаження 1800 кг). Дані ВТМ розроблені у НИИТМ (Научно исследовательском институте технологи машиностроения г. Ростов-на-Дону) та РИСХМ.

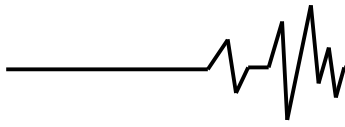
Вібромашина аналогічного класу ВМИ-1003, ВМИ-1004, ВМИ-1004А, ВМИ-1004Б також розроблялись у колишньому ВМИ (Ворошиловградському машинобудівному інституті тепер м. Луганськ).



Рис. 2. Однокамерна універсальна неавтоматизована ВТМ загального призначення фірм SPALECK Oberflächentechnik та WaltherTrowal

Також конструкцій одно та багатокамерних універсальних неавтоматизованих ВТМ загального призначення розроблялись науковцями у Болгарії у ЦНИИТМАШ. Це вібромашина із лінійки ВМ-10, ВМ-480 (маса завантаження 550 кг). Прикладами звичайних циклічних (неавтоматизованих) спеціальних та спеціалізованих вібромашин загального призначення із робочою камерою прямокутної

У – подібної форми є модель ВУ-100 (маса завантаження 150 кг) розроблена для зміцнення твердосплавних різців та модель W фірми "Wibral" яка також має контейнер U – подібної форми і використовується в серійному виробництві для віброобробки невеликих деталей із різних матеріалів та сплавів після механічної обробки чи лиття під тиском. Ширше на практиці використовуються багатокамерні циклічні вібромашина. Класичними прикладами



багатокамерних спеціальних та спеціалізованих ВТМ загального призначення є УВГ-4×10 (маса завантаження 115 кг) (розробник РИСХМ), УВГ-2×50 (маса завантаження 300 кг) (розробник НИИТМ), модернізований варіант даної ВТМ є ВМ-2×50 (маса завантаження 200 кг) і розробником якого виступає РИСХМ. Для даних ВТМ є характерне ручне завантаження та вивантаження оброблюваних деталей. Також до їх недоліків відноситься те, що вони не забезпечують високопродуктивну віброобробку на операціях, які суттєво відрізняються технологічними параметрами. Наприклад, якщо одночасно в одній камері проводиться очистка, видалення облою і задирів, а в іншій полірування, глясування, то забезпечити

технологічно оптимальні параметри вібраційного поля для даних технологічних процесів неможливо. Бо двосекційна камера прямокутної U – подібної форми даної ВТМ одночасно не може коливатись в різних режимах. Також у ВТМ даного типу необхідно рівномірно завантажувати всі секції контейнера, бо недовантаження негативно впливає на характер траєкторії. Фірми "Walther Trowal" випускає багатосекційні ВТМ циклічного типу моделі V32/2 (маса завантаження 50 кг), V300/2 (маса завантаження 400 кг), V300/4 (маса завантаження 400 кг), що забезпечують дистанційне безступеневе регулювання амплітуди та частоти коливань робочого органу.

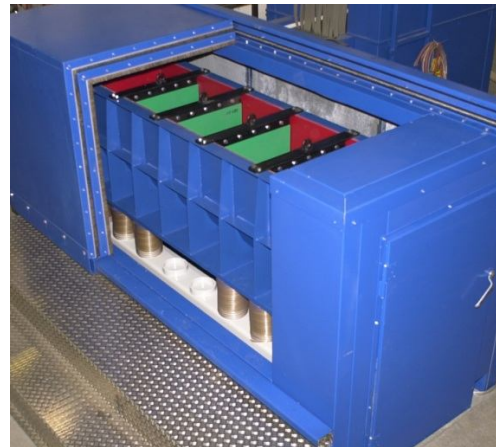


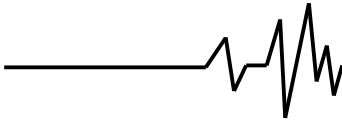
Рис. 3. Багатокамерні універсальні неавтоматизовані ВТМ загального призначення фірми Walther Trowal

Цікавим є конструктивне рішення багатокамерної вібромашини моделі ТА2-145 в якій вібратори розташовані на рівні центру ваги прямокутної камери U – подібної форми, що спрощує керування траєкторією руху робочого органу.

Широкого застосування у приладобудівній промисловості знайшла багатосекційна ВТМ циклічної дії ВУ-25 для віброобробки дрібних деталей (маса завантаження 25 кг). Особливу увагу слід приділити неавтоматизованим вібромашинам із резино кордовими балонами замість спіральних пружин в системі підвіски. Класичним представником даного класу є УВД-1 (маса завантаження 150 кг). У ВТМ такого типу керування амплітудою та формою траєкторії виконується за рахунок зміни тиску у резино кордових балонах.

Класичним та одним із найперших [4, 9] автоматизованих віброоброблюючих комплексів безперервної дії із прямокутною робочою камерою є вібромашина фірми "Pangborn CO".

Українським науковцем П. Д. Денисовим (Львівський лісотехнічний інститут) розроблено цілу лінійку [9] автоматизованих ВТМ загального призначення безперервної дії (СВА-25, СВА-250, ..., СВА-750). Універсальні автоматизовані ВТМ загального призначення розроблялись у радянському союзі в НИИТМ. Основною особливістю їхніх автоматизованих ВТМ УВГ-70М (маса завантаження 210 кг) та УВГ-200М (маса завантаження 600 кг) є те, що вони використовували магнітні розділюючі пристрої. Розділення маси завантаження в даних автоматизованих ВТМ проходило безпосередньо в контейнері. Магнітні вивантажуючі пристрої вивантажували сталеві деталі із контейнера (300 кг за 5-10 хв.) при працюючій ВТМ без вивантаження оброблюваного абразивного середовища. Подібна технологія вивантаження за допомогою магнітних та ситових сепараторів використовувалась у Болгарських ВТМ ВМ-100. Також слід відмітити ряд універсальних і спеціалізованих ВТМ циклічної дії загального призначення лінійки ВПМ, зокрема: ВПМ-50С



(маса завантаження 125 кг), ВПМ-100М (маса завантаження 200 кг), ВПМ-200М та ВПМ-200М (маса завантаження 400 кг). ВТМ, що мають в марці М оснащені магнітними, а із індексом С ситовими сепараторами. Керування частотою віброобробки у даних ВТМ проводилось за допомогою коробки передач. Автоматизовані ВТМ циклічної дії загального призначення із індивідуальним віброприводом сит вібросепараторів (позиція 3 на рис. 1) для від'єднання деталей від обробляючого абразиву розроблені науковцями ВПТИелектро (Всесоюзний проектно-конструкторський інститут технологій електротехнічного виробництва м. Ленінград). Дана лінійка автоматизованих ВТМ циклічної дії виглядає таким чином: ВУ-100 (маса завантаження 100 кг), ВУ-300 (маса завантаження 310 кг), ВУ-600 (маса завантаження 630 кг). Амплітуда коливань в даних автоматизованих ВТМ змінювалась в ручному режимі шляхом повороту сегментних дебалансів на необхідний кут. Прикладом автоматизованої ВТМ безперервної дії загального призначення є УВП-140 (маса завантаження 350 кг), УВП-350 (маса завантаження 900 кг). Автоматизована ВТМ безперервної дії УВП-350 призначена для віброобробки деталей вагою до 2 кг.

Фірма "Walther Trowal" розробила ряд універсальних автоматизованої ВТМ циклічної та безперервної дії загального призначення серій VSDL, VS (VS850 маса завантаження 2000 кг), AV, DVS.

Класичним представником ВТМ напівавтомата спеціального призначення циклічної дії є модель 9212A10 (маса завантаження 200 кг), та моделі ПВМ-20, ВМ-12 (маса завантаження 25 кг) розробник ЭНИМС (м. Москва). Частота та амплітуда коливань в даному напівавтоматі змінюються ступінчато,

причому зміна амплітуди коливань проводиться за допомогою витяжного циліндричного фіксатора, а частота - перестановкою клинового паса приводу дебалансного вібратора. В радянському союзі на промислового рівні для очисних операцій сталених деталей випускались спеціальні та спеціалізовані вібромашини напівавтомати загального призначення безперервної дії із тороїдальною спіральною U – подібною у перерізі формою лотка наступних моделей ВС-100 (маса завантаження 200 кг), ВС-100, ВС-600 100 (маса завантаження 630 кг, його продуктивність на очисних операціях 630 кг/год., а на оздоблювальних 200 кг/год.). Зміна режимів віброобробки в даних вібромашинах проводилась ступінчато. Завдяки специфічній формі робочого органу дані вібромашини отримали назву спіратрони.

Серед напівавтоматів спіратронів (Рис. 4) спеціального та спеціалізованого призначення безперервної дії можна відзначити модель ВУС-250 (маса завантаження 150 кг, розробник НИИТМ). Зміна амплітуди та частоти віброобробки у всіх вібромашинах серії ВУС проводиться ступінчато. Амплітуду коливань регулюють розворотом секторних дебалансів, а зміну частоти за допомогою зміни шківів пасової передачі. На основі серії ВУС розроблено декілька модифікацій від УВСО-1, до УВСО-7 (маса завантаження 400 кг) корі призначені для реалізації оздоблювально-зачисних технологічних процесів над невеликими деталями. До радянських спеціальних та спеціалізованих автоматичних вібромашин загального призначення безперервної дії із тороїдальною спіральною U – подібною у перерізі формою лотка можна віднести модель ВТУ-25 (маса завантаження 40 кг).



Рис. 4. Спіратрон фірми SPALECK Oberflächentechnik марка DL 1000 (потужність віброприводу 12.4 кВт, висота 1.9 м, маса 3700 кг)

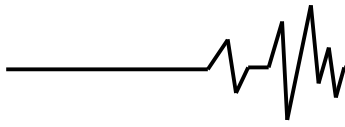


Рис. 5. Тороїдальні вібрмашини фірм ALMCO та WaltherTrowal

Вібрмашини із контейнерами кільцевої форми (тороїдальні ВТМ) широкого розповсюдження не набули, через те, що вони складніші у виготовленні та величина зйому металу у них в середньому на 20 ... 25 % менша за вібрмашини із контейнером прямокутної форми.

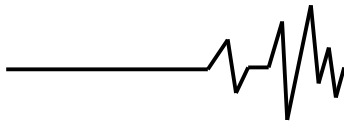
В тороїдальних ВТМ вздовж внутрішньої частини (горловини) вертикально розташований інерційний вібропривод з двома дебалансами. Встановлено, що зміною положення верхніх та нижніх дебалансів забезпечується керування амплітудою коливань тороїдальної камери. Причому верхні дебаланси при роботі ВТМ створюють сили, що слугують горизонтальному переміщенню завантаження по колу, а більш тяжчі нижні задають вертикальну складову траєкторії коливань. В результаті складання цих двох складових, робоче середовище переміщується по спіральній траєкторії навколо вертикальної осі робочої камери тороїдальної ВТМ. Основною перевагою ВТМ такого типу є те, що в них відсутні застійні "мертві" зони. Це є причиною, що слугує більш ефективній віброобробці деталей особливо в важкодоступних місцях складної форми та виключає злипання плоских деталей під час їх обробки. Класичними представниками спеціальних та спеціалізованих неавтоматизованих ВТМ загального призначення циклічної дії із кільцевою формою контейнера (тороїдальної) формою контейнера (Рис. 5) є вібрмашини моделей ВТУ-10 (маса завантаження 25 кг), В5-9705 (маса завантаження 110 кг) та вібрмашини серії GLM та CM фірми "Walther Trowal" (GLM-250 маса завантаження 320 кг). При віброобробці деталей особливо малих розмірів (деталі годинникових механізмів) використовуються

контейнери циліндричної форми, що встановлені вертикально на плиті. Прикладами таких неавтоматизованих ВТМ загального призначення циклічної дії є ПР-355 (маса завантаження 75 кг), ПР-376А (маса завантаження 15 кг).

Класичними представниками спеціальних та спеціалізованих автоматизованих ВТМ загального призначення безперервної дії із кільцевою формою контейнера є вібрмашини моделей FM3, FM10, FM20, FM40, FM70.

В якості розділювально-вивантажувального пристрою в даних моделях застосовується розділююча решітка, що опускається в контейнер, яка проводить механічне відокремлення деталей від оброблюваного середовища та їх вивантаження після закінчення циклу віброобробки. Таке саме конструктивне рішення має автоматична вібрмашина ВТУ-25 радянського виробництва (та вібрмашини фірми "Walther Trowal" марки CV), яка також може використовуватись для безперервної та циклічної віброобробки в залежності від типу виробництва. Фірма "Walther Trowal" випускає тороїдальні ВТМ лінійки CLN із стандартними віброприводами "Circlon" (CLN 1000, маса завантаження 2290 кг привод 22 кВт).

В колишньому СРСР автоматизовані та автоматичні ВТМ розроблялись у ЭНИМС (м. Москва). Класичними прикладами розробок ЭНИМС є автоматичні вібрмашини загального призначення [10, 11] ВМПВ-400Б (маса завантаження 600 кг), ВМПВ-100 (маса завантаження 100 кг) дані вібрмашини для керування режимами віброобробки мають можливість дистанційно регулювати частоту коливань контейнера. Цікавими є конструктивні рішення автоматизованих вібрмашин запропоновані фірмою "Roto-Finish" при

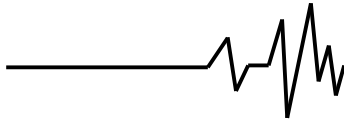


розробці спеціалізованих вібротехнічних машин загального призначення. Це автоматичні ВТМ типу OVST із спіральною формою контейнера та U – подібною формою його перерізу.

Виробники даного обладнання рекомендують використовувати його в безперервному режимі роботи та автоматичному циклі. Вібротехнічні машини даного типу легко складаються в потокові технологічні лінії. Верстат даної серії типу OVST (маса завантаження 400 кг) здатний в безперервному технологічному режимі обробляти деталі довжиною до 300 мм. В процесі роботи дана ВТМ сама сепарує деталі із робочого середовища, а робоче середовище знову направляє в спіралеподібний контейнер із перерізом U – подібною форми для повторного технологічного циклу. Вібротехнічна машина ST50 (маса завантаження 70 кг) даної фірми призначена для обробки в безперервному циклі деталей масою до 0,4 кг, а вібротехнічна машина ST650 (маса завантаження 900 кг), що стоїть далеко не в кінці лінійки (ST1400) даного типу здатна обробляти деталі масою до 5 кг. Вібротехнічні машини із спіральною формою контейнера із перерізом U – подібною форми ST2, ST8, ST16, ST20M, ST30B також здатні працювати в безперервному режимі тому можуть бути включені в автоматичні та потокові технологічні лінії, але для вібротехнічної обробки деталей дрібних розмірів.

Цікаве конструктивне рішення запропоновано фірмою "Walther Trowal" при розробці спеціалізованих вібротехнічних машин загального призначення безперервної дії із спіралеподібним контейнером U – подібного перерізу. Їхня вібротехнічна машина моделі GLS-100 (маса завантаження 150 кг) також як і інші моделі даної фірми (V, VL, GLM) здатна керувати режимами вібротехнічної обробки за допомогою варіатора, тобто має можливість дистанційно безступенево керувати частотою коливань спіралеподібного контейнера із перерізом U – подібною форми. Амплітуда коливань робочого органу в даних автоматизованих вібротехнічних машинах регулюється в ручному режимі розворотом дебалансів один відносно одного на необхідний кут. Фірма "Walther Trowal" для масового виробництва рекомендує використовувати верстати моделей GLS, CS в безперервному режимі із автоматичним циклом роботи. Британська фірма "Wibral" також випускає автоматизовані ВТМ безперервної дії із спіральною формою контейнера із перерізом U–подібною форми марки WS, які за принципом роботи та за конструктивним рішенням аналогічні вібротехнічним машинам марки GLS фірми "Walther Trowal".

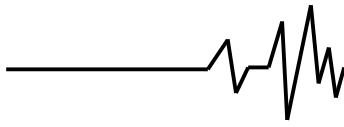
Слід також відмітити спеціалізовані ВТМ, що суміщають віброабразивну обробку деталей із іншими технологічними впливами. До таких вібротехнічних машин відносяться ВТМ для віброабразивної електрохімічної обробки [12] (ВіАЕХО). ВТМ даного типу використовують електрохімічні та механічні процеси для руйнування задирів та заокруглення гострих кромок в матеріалах певного типу. До даної групи можна також зарахувати групу вібротехнічних машин, що суміщають технологію віброабразивної обробки із технологічним процесом нанесення хімічних декоративних та захисних (антикорозійних) покриттів. Найосновнішими серед котрих є вібротехнічні машини [13] в яких за допомогою вібрації здійснюється технологічний процес окиснення, пасивування та фосфатування. До спеціалізованих вібротехнічних машин також відносять ВТМ для шпіндельної вібротехнічної обробки (ШВіО). Наприклад, машина УВП-100 використовується для віброабразивної обробки деталей, що мають форму тіл обертання (втулки, кільця підшипників, тощо.). Ще один представник спеціалізованих вібротехнічних машин, це ВТМ для вібраційної магніто-абразивної обробки [14] (ВіМгАО). При шліфуванні та поліруванні деталей із малою жорсткістю на звичайних вібротехнічних машинах під дією маси завантаження (обробляючого середовища та робочої рідини) відбувається їх деформація. Для уникання деформації слабкожорстких деталей використовується технологія вібраційної магніто-абразивної обробки. Її суть ґрунтується на вільному розташуванні деталей в горизонтальному положенні в об'ємі робочої камери та підтримуванню їхнього горизонтального положення при технологічному процесі віброабразивної обробки. Система керування технологічними машинами для ВіМгАО забезпечує керування величиною магнітної індукції в робочій зоні (змінюючи напругу на обмотках котушок), величиною зазору між магнітними полюсами та робочою камерою, частотою та амплітудою коливань робочої камери. Частота осцилюючих рухів феромагнітного абразиву регулюється змінюючи частоту живлення електромагнітних котушок. Ще один представник спеціалізованих вібротехнічних машин, це ВТМ для вібраційної механо-термічної обробки [15] (ВіМТО) деталей. Дана вібротехнічна технологія базується на нагріві оброблюваних деталей безпосередньо в робочій камері під час абразивної вібротехнічної обробки. На практиці конструктивно реалізовується на основі модернізації вібротехнічної машини ВМ-2×50.



До спеціальних відносяться вібромашини, що проводять віброабразивну обробку деталей певного заданого типорозміру та номенклатури. Наприклад, це верстати для віброабразивної обробки шестерень гідронасосів, ходових гвинтів суден (діаметром до 600 мм).

На даному етапі розвитку промисловості існує чітка тенденція до впровадження енергозберігаючих технологій, збільшення продуктивності, інтенсивності обробки та підвищення якості кінцевої продукції в технологічних лініях. На фоні даної тенденції використання традиційних (класичних) автоматичних вібромашин та вібромашин із зворотнім зв'язком, які не в стані повністю задовольнити зростаючі технічні вимоги сучасного виробництва. Тому існує загальна промислова необхідність у створенні енергоощадного, високоефективного та високонадійного, нескладного у виготовленні вібраційного обладнання різного технологічного призначення. Аналіз усієї номенклатури вібромашин показує, що найдосконалішими на даному етапі розвитку вібраційних технологічних машин є автоматичні вібромашини безперервної дії. Їхньою перевагою є висока продуктивність обумовлена безперервністю виконання основних та допоміжних операцій технологічного циклу. В ряді випадків вібромашини безперервної дії на 25% продуктивніші за вібромашини, що обробляють деталі партіями. Ще однією перевагою автоматичних ВТМ є те, що вони легко узгоджуються (інтегруються) із іншим обладнанням котре виконує взаємопов'язані технологічні операції. Наприклад: деталі після вирубки можуть легко направлятися на автоматичну віброобробку, промивку, сушку, фарбування. Широка гама оброблюваних виробів, різні марки оброблюваних матеріалів, різні вимоги пред'явлені до кінцевої продукції призвели до створення великої кількості варіантів технологічної обробки із застосуванням як різних оброблюючи середовищ ([16] сталеві кульки та зірочки, чавунний дріб, абразивні гранули із різними ріжучими властивостями та геометричними параметрами, зокрема: магнетитовий роговик, мікрокварцит, кремій, кварцит сірий, шлак актюбінський сірий, плавлений корунд, бій шліфувальних кругів і т.п.) так і різних складових технологічних рідин ([16] триетаноламін, нітрит натрію, олеїнова кислота, тринатрійфосфат, нафтове мило, карбоксил метилцелюлоза, кальцинована сода, уротропін, хромовий ангідрид). Причому для кожного конкретного технологічного процесу чітко визначені параметри режимів віброобробки:

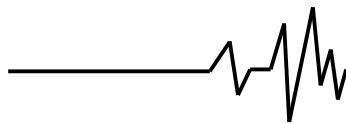
амплітуда, частота та тривалість їх дії на оброблювані деталі. В роботах [10, 11] недоліками автоматичних ВТМ безперервної дії називають їхню обмежену гнучкість при зміні умов віброобробки [17], зокрема маси завантаження робочого органу середовищем та оброблюваними деталями (матеріалами). Зміна маси завантаження обумовлює зміну динамічних режимів віброобробки (частоти та амплітуди коливань робочого органу), що при заданому часу циклу віброобробки призводить до недовиконання або перевиконання питомої роботи (на одиницю маси) вібраційним полем робочого органу стосовно оброблюваних деталей. І як наслідок зниження якості (утворення браку) кінцевої продукції після технологічного процесу віброобробки. Кращими на даний час, за концепцією побудови та принципом роботи є автоматичні вібраційні машини зі зворотнім зв'язком, вагомою перевагою яких є використання зворотного зв'язку для стабілізації заданих параметрів (інтенсивності, продуктивності) певного технологічного процесу та технологічно оптимальному рівні при зміні маси завантаження робочого органу (бункеру, камери). Використання такого типу керованих вібраційних машин не ефективно із точки зору енергозбереження, оскільки при автоматичній корекції амплітуди коливань робочого органу до заданого рівня різними відомими методами описаними докладно в монографії [18], не забезпечується енергетично вигідний резонансний режим роботи вібромашини. Водночас, викладена в роботі [19] теорія адаптивного (екстремального) керування динамічними параметрами віброприводу вібраційних технологічних машин є основою для створення нового класу досконаліших автоматичних вібраційних машин - адаптивних вібромашин, що мають вищий потенціал порівняно з традиційними керованими вібраційними машинами. Досить часто вони є чи не єдиним засобом, що дозволяє реалізувати той, чи інший технологічний процес на заданому оптимальному рівні. Унікальність адаптивних вібромашин пов'язана з їх безсумнівною перевагою, а саме: можливістю забезпечувати резонансний режим роботи при зміні маси завантаження робочого органу (камери, бункера, контейнера) добиваючись мінімальних енергозатрат на керовані електромагнітний та дебалансний вібропривод; можливістю забезпечувати задану продуктивність (інтенсивність) технологічного вібропроцесу при зміні маси завантаження робочого органу вібромашини забезпечуючи цим задані технологічно оптимальні параметри



коливань робочого органу (камери, бункера, контейнера) при мінімальних енергозатратах на вібропривод. Актуальність проблеми яку розв'язує поява адаптивних вібраційних технологічних машин [19] полягає в тому, що впровадження адаптивного керування процесом самоналагодження на заданий резонансний високо ефективний та енергоощадний режим роботи зумовлює появу нового класу ВТМ здатних не тільки забезпечити виконання необхідних високо технологічних вимог обумовлених потребами промисловості, але й дозволяє реалізувати та поширювати енергозберігаючі принципи побудови та синтезу на вібромашинах для цілої гами технологічних процесів. Кількість різновидів віброобразивної обробки, потужності віброприводів, що вимірюються десятками кіловат та масштаби впровадження вібротехнологій у різні сфери промисловості робить розвиток даного наукового напрямку перспективними та життєво необхідними для сучасної промисловості із повністю автоматизованими швидко переналагоджуваними технологічними лініями та процесами. Оцінка загального економічного ефекту від використання адаптивного віброобладнання та адаптивних вібротехнологій базується на: забезпеченні заданого технологічно оптимального значення вібраційного поля робочого органу - тобто забезпеченні заданої продуктивності (інтенсивності) або заданої якості кінцевих виробів; забезпеченні та підтриманні постійного резонансного режиму роботи робочого органу ВТМ - тобто забезпеченні мінімальних енергозатрат на вібропривод (виробництво) та здешевленні вартості кінцевої продукції. Попри переваги які мають адаптивні ВТМ, що реалізовані на принципах докладно викладених у роботі [19] вони мають суттєві недоліки. Зокрема в їхню ідеологію роботи закладено невизначеність при пошуку екстремуму АЧХ коливної системи ВТМ та стабілізацію амплітуди коливань робочого органу на певному рівні. Даний рівень при різних власних резонансних частотах (робочих для адаптивної ВТМ) не є оптимальним, тому що він був розрахований на якусь певну робочу частоту, а система в результаті пошуку максимуму АЧХ переходить на іншу частоту, а в результаті постійної в часі зміни маси робочого органу власна резонансна (робоча) частота постійно плаває при стабільному значенні амплітуди коливань робочого органу. Тому кількість питомої роботи котру виконує вібраційне поле стосовно оброблюваних деталей в даному випадку не зовсім

відповідатиме заданому оптимальному значенню. Для усунення не визначеності та покращення швидкодії при налагодженні на резонансний режим роботи доцільно застосовувати новий [20] ідеологічно відмінний метод пошуку екстремуму АЧХ адаптивних ВТМ. Даний метод керування [20] дозволяє перейти від пошукових покрокових алгоритмів роботи системи керування віброприводом до слідкуючого принципу роботи. При змінах технологічних умов або маси завантаження робочого органу адаптивної ВТМ даний метод керування роботою віброприводів дозволяють чітко та однозначно визначати в динамічному режимі на скільки і в котру сторону коливна система АВТМ відійшла від резонансу на даний момент часу. В наслідок вищої швидкодії роботи систем реалізованих по ідеології, що описана в роботі [20] АВТМ швидше буде налагоджуватись на резонансний режим роботи, тому за заданий час віброобробки АВТМ буде більше часу знаходитись в резонансному режимі і як наслідок система віброприводу менше затратить енергії на віброобробку. Для усунення недоліків котрі існують у адаптивних ВТМ реалізованих на базі [19], що пов'язанні із дозуванням кількості питомої роботи котра виконується вібраційним полем адаптивної вібромашини по відношенню до оброблюваних деталей. Слід застосовувати метод стабілізації параметрів вібраційного поля на резонансній частоті коливної системи вібромашини котрий докладно описаний в роботі [21]. Суть даного методу базується на обчисленні оптимального значення амплітуди коливань робочого органу адаптивної вібромашини на кожній новій робочій резонансній частоті коливань робочого органу адаптивної вібромашини. Оптимальне значення амплітуди коливань робочого органу адаптивної вібромашини обчислюється виходячи із заданих оптимальних параметрів вібраційного поля (амплітуди та частоти коливань робочого органу) та критерію оптимізації по якому проводиться корекція (питома потужність, питома робота, ... вібраційного поля).

Висновок. На основі аналізу тенденцій у розвитку керованих вібромашин та технологій для віброобразивної обробки деталей, що застосовуються у гнучких автоматизованих виробничих системах промисловості, запропоновано найбільш перспективний для подальшого розвитку тип вібромашин - адаптивні вібраційних технологічних машин, котрі реалізують одночасно два принципи керування технологічними процесами віброобразивної обробки, що дозволяє



забезпечити мінімальні енергозатрати на привод вібромашин при стабільному заданому технологічно оптимальному рівні продуктивності (інтенсивності) віброобробки та довірливій масі завантаження робочого органу вібромашини деталями і обробляючим середовищем.

Література

1. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии. - Ростов н/Д: Изд. центр ДГТУ. 1999.- 621с.
2. Кулаков Ю.М., Хрульков В.А. Отделочно-зачистная обработка деталей. - М.: Машиностроение, 1979. - 216 с.
3. Отделочно-абразивные методы обработки: Справочное пособие. /Л.М. Кожуро, А.А. Панов, Э.Б. Понамарева, П.С. Чистосердов/ Под ред. П.С. Чистосердова. - Минск: Высшая школа, 1983. - 287 с.
4. Членов В.А., Михайлов Н.В. Виброкипящий слой. - М.: Наука, 1972. - 341 с.
5. К.В. Фролов. Вибрация – друг или враг? – М.: Наука, 1986. -142 с.
6. Сердюк Л.И. Основы теории, расчета и конструирования управляемых вибрационных машин с дебалансными вибровозбудителями: Автореф. Дис.д-ра тех. наук. - Харьков: 1991. - 40 с.
7. A.P. Babishev, Y. Ryabchi, H. Hamkada. Vibratory (vibration) shaving processing of detail ersinconditions of remain productions. The International Conference on Deburring and Surface Finishing, California, Sept. - SanFrancisco, 1998.
8. Ю.Р. Копылов. Динамика процесса и технология виброударного упрочнения деталей сложной формы: Дис ... д-ра техн. Наук. – Воронеж, 1990. – 387 с.
9. Опирский Б.Я., Денисов П.Д. Новые вибрационные станки: конструирование и расчет. – Львов. Свит, 1991. - 160 с.
10. Вибрационные станки для обработки деталей. –М.: Машиностроение. 1984. – 167 с.
11. А.П. Бабичев, Л.К. Зеленцов, Ю.М. Самодумский. Конструирование и эксплуатация вибрационных станков для обработки деталей. Издательство Ростовского университета. 1981. - 160 с.
12. Берещенко А.А. Виброхимическая обработка углеродистых и легированных сталей: Автореф. дис... канд. техн. наук. - Киев, 1980. - 18 с.
13. Колдяжная Л.Г., Корнеев С.В., Лубенская Л.М., Ясуник С.Н. Применение при виброабразивной обработке деталей химических растворов. //Вибрации в технике и технологиях. Всеукраїнський науково-технічний журнал. 2006. - № 1 (43) - С.53-59.
14. Ясунік С. М. Підвищення ефективності обробки деталей у віброуючих контейнерах: Автореф. дис... канд. техн. наук. - Харків, 2004. - 20 с.
15. Берник П.С. Машини і обладнання для розмірно-зміцнюючої термоокислювальної та вібраційної обробки твердосплавних виробів: Дис... д-ра техн. наук. - Хмельницьк, 1999. - 370 с.
16. Объемная вибрационная обработка. Рекомендации. Сост. Бурштейн И.Е., Балицкий В.В., Духовской А.Ф., Нейман Т.П., Устинова Л.А. – М.: ЕНИМС, 1984. –54 с.
17. Франчук В.П. Разработка методов расчета нелинейных динамических систем вибрационных машин с существенным влиянием технологической нагрузки: Автореф. дис... д-ра тех. наук. - Днепропетровск: 1982. - 40 с.
18. Чубик Р.В., Ярошенко Л.В. Керовані вібраційні технологічні машини: Монографія. – Вінниця.: ВНАУ, 2011. – 355 с.
19. Чубик Р. В. Адаптивна система керування режимами резонансних вібраційних технологічних машин Дис... к-та техн. наук. - Львів, 2007. - 266 с.
20. Пат. 87776 А Україна, В65G27/00. Спосіб керування роботою адаптивних вібраційних технологічних машин. Серета Л.П., Чубик Р.В., Ярошенко Л.В. (Україна). - № а200803685; Опубл. 10.08.2009; Бюл. № 15, 4 ст.
21. Пат. 92041 А Україна, В65G27/100. Спосіб стабілізації технологічно оптимальних параметрів вібраційного поля адаптивних вібраційних технологічних машин. Серета Л.П., Чубик Р.В., Ярошенко Л.В. (Україна). – № а200806209; Опубл. 27.09.2010; Бюл. № 18, 3 с.