

УДК 62-521:62-868:62-531.7

АДАПТИВНА ВІБРАЦІЙНА МАШИНА З ТОРОЇДАЛЬНИМ РОБОЧИМ КОНТЕЙНЕРОМ**Р. В. Чубик, Г. Б. Карпець**

Дрогобицький державний педагогічний університет

вул. Стрийська, 3, м. Дрогобич, 82100, Україна. E-mail: R_Chubyk@yahoo.com

Розроблено електромеханічну модель енергозберігаючої адаптивної вібраційної машини з тороїдальним робочим контейнером, яка здатна автоматично забезпечити стабільність технологічно оптимальних параметрів вібраційного поля тороїдальної камери при заданому часі (циклі) віброобробки при постійному резонансному режимі роботи віброприводу і довільній масі загрузки робочої камери оброблюваними деталями і середовищем.

Ключові слова: адаптивна вібраційна машина, тороїдальний робочий контейнер, вібраційна обробка.

АДАПТИВНАЯ ВИБРАЦИОННАЯ МАШИНА С ТОРОИДАЛЬНЫМ РАБОЧИМ КОНТЕЙНЕРОМ**Р. В. Чубик, Г. Б. Карпець**

Дрогобычский государственный педагогический университет

ул. Стрийская, 3, г. Дрогобыч, 82100, Украина. E-mail: R_Chubyk@yahoo.com

Разработана электромеханическая модель энергосберегающей адаптивной вибрационной машины с тороидальным рабочим контейнером, способная автоматически обеспечивать стабильность технологически оптимальных параметров вибрационного поля тороидальной камеры в течение заданного времени (цикла) виброобработки при постоянном резонансном режиме работы вибропривода и произвольной массе загрузки рабочей камеры обрабатываемыми деталями и средой.

Ключевые слова: адаптивная вибрационная машина, тороидальный рабочий контейнер, вибрационная обработка.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Сучасний етап розвитку технології машинобудування характеризується зростанням вимог до якості та надійності виробів, поліпшення їх експлуатаційних властивостей і зовнішнього вигляду. У вирішенні вказаних задач важливе місце відводиться вдосконаленню й розвитку методів обробки в технологічних гранульованих середовищах, зокрема віброабразивній обробці (ВіАО), віброударній зміцнюючій обробці, дробеструменній, гідродробеструменній і т. ін. Дані методи обробки формують поверхневий шар деталей, що визначає в подальшому їх експлуатаційні властивості. Серед названих методів обробки найбільш універсальною та широко застосовуваною в промисловості є вібраційна обробка (ВіО). Залежно від типу робочого середовища вона являє собою процес згладжування мікронерівностей шляхом знімання найдрібніших частинок металу чи окислів з оброблюваної поверхні деталі або процес зміцнення поверхні пластичним деформуванням за рахунок множинних ударів частинок середовища, що приводяться в рух вібрацією робочої камери. Найбільшого поширення набула схема ВіО, при якій оброблювані деталі завантажуються разом з робочим середовищем в камеру вібраційного верстата. А.Л. Бабічевим у роботі [1] запропоновано розгорнуту класифікацію існуючих різновидів вібраційної обробки, зокрема класифіковано: обробно-зачисні операції, полірування, зміцнення поверхні й отримання на ній стохастичних і повністю регулярних мікрорельєфів, поєднане з віброобробкою нанесення антифрикційних і антикорозійних покриттів за рахунок комбінування енергії вібраційного переміщення часток середовища з хімічними, температурним і електричними впливами. У роботі [2] показано, що за рахунок вібраційної обробки в середовищі сталевих куль з додаванням порошку дису-

льфїду молібдену вдалося підвищити зносостійкість гідроциліндрів до трьох разів при повному усуненні схоплювання. Як зазначалося Є.В. Матюхіним і В.Б. Юркевичем [3, 4], надаючи комплексний ефект поліпшення шорсткості шийок і зміцнення галтелей, вібраційна обробка в середовищі сталевих куль колінчастого вала збільшує його ресурс на 50–70 %. Причому факт зростання ресурсу за рахунок підвищення межі втому спостерігався як на сталях різної структури і твердості [5, 6], так і на кольорових конструкційних сплавах [7] і сірому чавуні [8]. Однак найбільш широко в різних галузях промисловості цей метод обробки застосовується для обробки – зачистки деталей після лиття, штампування, механічної обробки. Завершуючи аналіз технологічних можливостей вібраційної обробки як методу поліпшення експлуатаційних характеристик відповідальних деталей шляхом надання їх поверхні сприятливого мікрорельєфу, зміцнення, створення стискаючих поверхневих залишкових напружень, проведемо коротке порівняння аналізованого методу обробки (віброобробки) зі шліфуванням, суперфінішем, хонінгуванням, що забезпечують розмірну обробку. Створюваний цими методами обробки мікрорельєф квазівипадковий, тобто випадковий у двох взаємно перпендикулярних напрямках, обумовлений кінематикою процесів, що, загалом, дещо гірше повністю випадкового рельєфу, створюваного віброобробкою [1]. Крім того, у всіх без винятку випадках вібраційна обробка дає більш сприятливу опорну криву, обумовлену змінанням мікроступів поверхні за рахунок ударної дії на них частинок робочого середовища. Відсутні сліди припикання, які викликають локальне зменшення й появу областей з розтягуючими залишковими напруженнями, що властиво методам абразивної обробки з жорсткою кінематикою [9]. Виходячи із

тих технологічних переваг та властивостей, притаманних тільки вібраційній обробці, є доцільним та перспективним удосконалення існуючих та створення нових вібромашин, що реалізують вищезгадані вібраційні технологічні процеси.

Широкого використання в технологічних процесах, пов'язаних із видаленням нагару, зачисткою, видаленням облоя, округленням гострих кромки, декоративним шліфуванням, зміцненням покриття, поліруванням та оздоблювально-зміцнюючою обробкою деталей, знайшли вібраційні машини з тороїдальним робочим контейнером. Для даного типу вібромашин, залежно від технологічного процесу вібраційної обробки, характеристики продуктивності, якості та собівартості можуть набувати різного змісту [10]. При виконанні на обладнанні однакової конструкції (робоча камера має форму зрізаного тора), ці процеси для свого ефективного перебігу вимагають різних за властивостями робочих середовищ. Так, для видалення облоя найбільш ефективними є литі многогранники, для округлення гострих країв і шліфування – абразивні сфери, циліндри, конуси та призми, для зміцнення – сталеві загартовані поліровані кульки, для нанесення хімічним способом покриттів – скляні сфери. Тому покращення технологічних характеристик кожного із вищеперелічених технологічних процесів при правильному підборі робочого середовища (та однотипній формі робочої камери) можливе лише забезпеченням та підтримуванням заданих технологічно оптимальних динамічних параметрів (амплітуди та частоти коливань) тороїдальної камери вібромашини. Загальний вигляд вібраційної машини з тороїдальним робочим контейнером [11, 12] зображено на рис. 1. Вона складається із робочої камери 1, що є відкритим тором, жорстко закріпленим на рамі 2. Під камерою в середині її горловини розміщений вібратор з двома дебалансами 3. Осі робочої камери і вібратора збігаються. Рама установки спирається на пружини 4, що розміщені по колу на основі 5. Недоліком даного класу вібромашин є нездатність забезпечувати резонансний режим роботи при довільній (та змінній у часі) масі завантаження робочої камери 1 деталями та оброблюваним середовищем, нездатність підтримувати технологічно оптимальні параметри вібраційного поля робочої камери 1 на заданому технологічно оптимальному рівні, нездатність відокремлювати оброблені деталі від робочого середовища та автоматично їх вивантажувати.

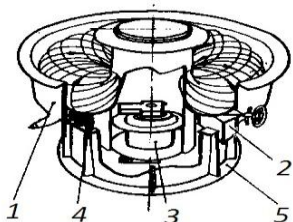


Рисунок 1 – Вібраційна машина з тороїдальним робочим контейнером

Мета роботи полягає у розробці електромеханічної моделі адаптивної вібраційної машини з тороїдальним робочим контейнером, яка здатна автоматично забезпечувати стабільність технологічно оптимальних параметрів вібраційного поля тороїдальної камери на протязі заданого часу (циклу) віброобробки при постійному резонансному режимі роботи та довільній масі завантаження робочої камери оброблюваними деталями і середовищем.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Запропонована адаптивна вібраційна машина з тороїдальним робочим контейнером (рис. 2), яка здатна реалізувати задані технологічно оптимальні параметри вібраційного поля при мінімальних енергозатратах на вібропривод, працює наступним чином. Перед обробкою робочий контейнер 1 завантажується оброблюваними деталями 20 та робочим середовищем 21 у співвідношенні, яке визначається вимогами технологічного процесу. При включенні приводного електродвигуна 9 обертовий рух через еластичну муфту 8 передається до вертикального вала 7 із верхньою та нижньою парами керованих дебалансних вантажів, що призводить до виникнення системи двох взаємно нерухомих обертових відцентрових сил, які діють на вертикальний вал 7. Під дією цих сил генеруються складні просторові коливання тороїдального робочого контейнера 1, які можна розглядати як суму двох коливань: поступальних коливань його центру мас по горизонтальній круговій траєкторії та кутових коливань навколо центру мас у вертикальній площині. При цьому кожна точка робочої поверхні контейнера 1 коливається по траєкторії, яка має форму нахиленого під певним кутом до горизонтальної площини еліпсу. Причому точки поверхонь робочого контейнера 1, які лежать на концентричному із віссю вертикального вала 7 колі, здійснюють ці коливання із зсувом фаз одна відносно одної.

Такі коливання точок поверхонь робочого контейнера 1 можна розглядати як розповсюдження вздовж його кінцевої осі квазіхвиль, що складаються із біжучих повздовжньої і поперечної квазіхвиль, які зсунуті одна відносно одної на 90° . Причому хвильові фронти обох квазіхвиль мають форму площин, які проходять через вісь вертикального вала 7, а довжина квазіхвиль дорівнює довжині концентричного із віссю вала 7 кола, вздовж якого вона розповсюджується. Такі коливання точок поверхонь робочого контейнера 1 призводять до інтенсивного перемішування і вібро-транспортуювання оброблюваних деталей 20 та робочого середовища 21 вздовж спіральної доріжки робочого контейнера 1. При цьому гранули робочого середовища 21 та оброблювані деталі 20 набувають достатній для здійснення роботи рівень кінетичної енергії й створюється максимальна різниця швидкостей між оброблюваними деталями 20 і гранулами робочого середовища 21, а при їх рівномірному та інтенсивному перемішуванні утворюється вільний доступ часток робочого середовища до всіх оброблюваних поверхонь деталей, що забезпечує рівномірність і високу якість

оздоблювально-зачисної обробки деталей 20 частинками робочого середовища 21. Зміна маси (кількості) технологічної рідини, так само, як і зміна кількості деталей, що надходять на обробку, зміна кількості деталей, що безпосередньо знаходяться в тороїдальному контейнері в циклі віброобробки та ще не покинули контейнер 1, – все це впливає на постійну в часі зміну приведеної маси робочого органу (контейнера 1). Така зміна приведеної маси в часі викликає плавання ω_0 власної резонансної частоти коливань адаптивної тороїдальної вібромашини, що в свою чергу при сталій частоті циклічної вимушуючої сили керованого дебалансного віброприводу 3 викликатиме плавання амплітуди коливань робочого органу (камери 1). Таке плавання амплітуди коливань буде причиною або недовиконання зовнішньої роботи по віброобробці вібраційним полем (мікрогранулами робочого середовища 21) відносно поверхонь

деталей 20, або перевиконання зовнішньої роботи з віброобробки мікрогранулами середовища по елементарному мікрорізанням поверхонь деталей 20 за стандартний заданий проміжок часу технологічної обробки. В обох вищезгаданих випадках буде бракована вихідна продукція (тобто деталі 20). З метою усунення даного недоліку та забезпечення мінімально можливих затрат електроенергії на вібропривод необхідно контролювати та регулювати амплітуду й частоту коливань робочої камери 1. З тією метою в реальному масштабі часу опрацьовується деформація із давача вібрації 23. Інформація про амплітуду, фазу й частоту коливань робочої камери 1 надходить у детектор фаз 25, також на нього надходить інформація про частоту та фазу циклічної вимушуючої сили керованого дебалансного віброприводу 3.

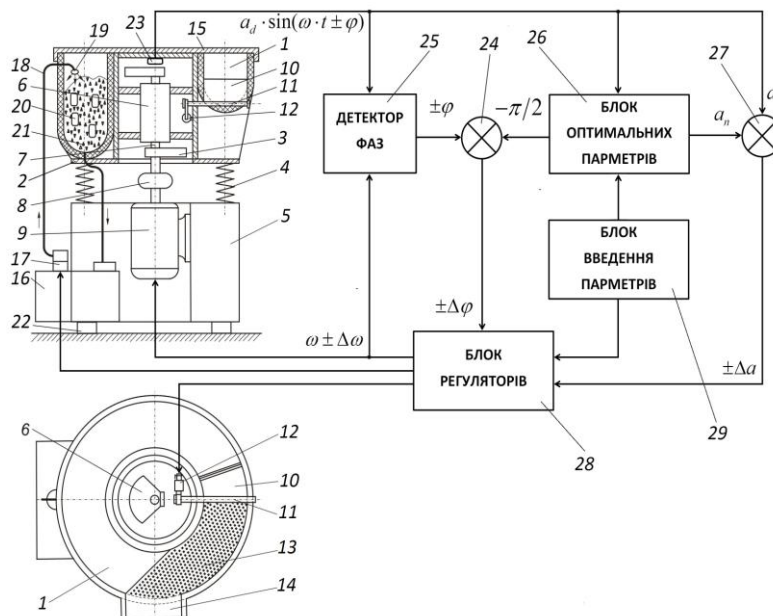


Рисунок 2 – Конструктивне рішення електромеханічної будови адаптивної вібраційної машини з тороїдальним робочим контейнером

Відповідно до [13, 14], при резонансі фаза амплітуди коливань робочого органу (камери 1) буде відставати від амплітуди циклічної вимушуючої сили віброприводу 3 на $-\pi/2$. Тому в детекторі фаз 25 проводиться визначення $\pm\Delta\varphi$ величини відставання (випередження) фази коливань камери 1 від вимушуючої циклічної сили керованого віброприводу 3. Інформацію про реальну фазу між коливанням камери 1 та вимушуючою силою віброприводу у формі кута $\pm\Delta\varphi$ надходить на компаратор 24, де постійно порівнюється із заданим енергетично оптимальним $-\pi/2$. Інформація про оптимальне значення $-\pi/2$ (резонанс) у компаратор 24 надходить із блоку оптимальних параметрів, куди вона була введена оператором адаптивної тороїдальної вібромашини через блок введення параметрів 29. У результаті

порівняння існуючої фази $\pm\Delta\varphi$ із заданою оптимальною із енергетичної точки зору $-\pi/2$ отримується інформація $\pm\Delta\varphi$ про те, на скільки й в яку сторону коливна система в результаті зміни приведеної маси робочого органу (камера 1) відійшла від резонансного режиму роботи. На основі даної інформації блок регуляторів 28 проводить корекцію ω частоти циклічної вимушуючої сили віброприводу 3 на величину $\omega \pm \Delta\omega$ з метою забезпечення та постійного підтримання рівності її із власною резонансною частотою (тобто $\omega = \omega_0$), що забезпечуватиметься при $\pm\Delta\varphi = 0$, тобто на основі дійсної фази φ формується величина відставання (випередження) $\pm\Delta\varphi$, а на її основі формується величина та знак корекції $\pm\Delta\omega$. Даний контур здатний забезпечити та підтримувати резонансний режим роботи (коли-

вань) тороїдального контейнера 1, незалежно від маси, завантаженими деталями 20, робочою рідиною та оброблюваним середовищем. Кількість рідини в залежності від технологічно обумовлених параметрів процесу віброобробки в контейнері 1 керується блоком регуляторів 28 через блок введення параметрів 29, тобто даний контур керування (корекції) частоти здатний забезпечити мінімальні енергозатрати на керований дебалансний вібропривод 3 за будь-яких заданих комбінацій кількості деталей 20, середовища 21 та технологічної рідини.

Для усунення можливості виникнення бракованих виробів (для покращення та розширення технологічних можливостей адаптивної тороїдальної машини), пов'язаних із мимовільним плаванням амплітуди коливань тороїдальної камери 1, введено в другий контур керування (стабілізації). Суть стабілізації базується на забезпеченні сталості питомої роботи вібраційного поля тороїдальної камери 1 відповідно до способу [15]. Якщо із технологічної точки зору партію деталей необхідно обробляти протягом заданого часу t_z , при заданих параметрах камери 1 ω_z та a_z , тобто при певній заданій питомій роботі вібраційного поля, рівній $a_z^2 \omega_z^2$. Виходячи із даного співвідношення, в блоці оптимальних параметрів 26 на основі дійсної частоти коливань ω_0 тороїдальної камери 1, та із тих міркувань, щоб залишити сталюю (незмінною) питому роботу вібраційної камери 1, здійснюється визначення необхідного значення a_n амплітуди коливань тороїдального контейнера 1 на новій частоті ω_0 , тобто $a_0^2 \omega_n^2 = a_z^2 \omega_z^2$. Інформація про необхідне значення амплітуди коливань тороїдального контейнера 1 на резонансній частоті коливань ω_0 передається в компаратор 27, де порівнюється із дійсною амплітудою коливань робочої камери 1, і в результаті на виході компаратора отримується величина $\pm \Delta a$, яка показує, на скільки й в який бік відхиляється амплітуда коливань робочої камери 1 від необхідної амплітуди для забезпечення рівності (стабільності) питомої роботи вібраційного поля робочої камери 1. Дана інформація надходить до блоку регуляторів 28, де на основі $\pm \Delta a$ формується зміна амплітуди циклічної вимушуючої сили керованого дебалансного віброприводу 3 на величину $\pm \Delta F$ шляхом зміни кута між верхніми та нижніми параметрами дебалансів на величину $\pm \Delta \beta$. Стабілізація питомої роботи вібраційного поля на заданому технологічно оптимальному рівні дозволяє забезпечити задані показники якості віброобробки при заданому циклі (часі) віброобробки деталей 20 у тороїдальному контейнері 1.

Після закінчення часу віброобробки t_z , введено оператором через блок введення параметрів 29, блок регуляторів 28 формує команду, в результаті якої включається пневмоциліндр 12, який через тягу, важіль та поворотну вісь 11 повертає поворотний місток 10 у нижнє положення, й все завантаження робочого контейнера 1 (оброблювані деталі

20 та робоче середовище 21) спрямовуються на деку з отворами 13. При проходженні завантаження робочого контейнера 1 через деку з отворами 13 гранули робочого середовища 21, що мають розміри, менші за діаметри отворів деки 13, провалюються через ці отвори в робочий контейнер 1, а оброблені деталі 20, що мають розміри, більші за діаметри отворів деки 13, транспортуються по деці 13 і через вивантажувальний лоток 14 спрямовуються у приймальні ємності, що знаходяться під ним. Після цього у робочий контейнер 3 можна завантажити нову партію оброблюваних деталей.

ВИСНОВКИ. Автоматизація процесу: забезпечення резонансного режиму роботи (отримання мінімально можливих затрат електроенергії на вібропривод), вивантаження оброблюваних деталей, забезпечення заданої (оптимальної) технологічно обумовленої кількості різних різких хімічних добавок відносно маси завантаження робочої камери деталями, стабілізації (інтенсивності віброобробки, продуктивності й т. ін.) питомої роботи вібраційного поля тороїдальної робочої камери відносно довільної (змінної в часі) маси завантаження тороїдальної робочої камери деталями, оброблюваним середовищем та рідиною – дозволяє зменшити енергозатрати на вібропривод та інтегрувати такі технологічні процеси, як зняття нагару, видалення заусенців (заокруглення гострих кромки), декоративне шліфування, полірування та оздоблювально-зміцнююча обробка деталей, у гнучкі технологічні лінії багатьох галузей промисловості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии. – Ростов н/Д., 1999. – 621 с.
2. Бабичев А.П., Давыдова Т.В., Рысева Т.Н. Совершенствование конструкций рабочих камер вибрационных станков // Вибрации в технике и технологиях (Винница). – 1995. – № 2. – С. 8–11.
3. Матюхин Е.В. Исследование процесса виброударного упрочнения металлообрабатывающего инструмента: дис. канд. техн. наук. – Ростов н/Д, 1979. – 247 с.
4. Юркевич В.Б. Исследование процесса вибрационной ударной обработки и его влияние на эксплуатационные свойства деталей машин: дис. канд. техн. наук. – Ростов н/Д, 1981. – 234 с.
5. Бабичев А.П., Матюхин Е.В., Шевцов С.Н. Упрочняемость закаленных шлифованных сталей при виброударной обработке // Вестник машиностроения. – 1980. – № 7. – С. 55–59.
6. Блехман И.И. Поведение сыпучих тел под действием вибрации // Вибрации в технике: справочник. – М.: Наука, 1988. – Т. 4. – С. 78–98.
7. Бабичев А.П., Устинов В.П., Ходош Б.Б. Вибрационная отделочно-упрочняющая обработка деталей машин // Размерно-чистовая и упрочняющая обработка поверхностно-пластическим деформированием. – М., 1968. – С. 82–90.
8. Самодумский Ю.М. Исследование процесса микрорезания, режущих свойств и стойкости абра-

зива при виброабразивной обработке: дис. канд. техн. наук. – Ростов н/Д, 1973. – 256 с.

9. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение контактной жесткости соединений. – М.: Наука, 1977. – 201 с.

10. Кольцов В.П. Исследование и оптимизация параметров объемной вибрационной обработки: дис. канд. техн. наук. – Иркутск. – 164 с.

11. Диментберг Ф.М., Фролов К.В. Вибрация в технике и человек. – М.: Знание, 1987. – 160 с.

12. Оpirский Б.Я., Денисов П.Д. Новые вибрационные станки. Конструирование и расчет. – Львов: Свит, 1991. – 158 с.

13. Хайкин С.Э. Физические основы механики. – М.: Наука, 1971. – 751 с.

14. 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 с.

15. 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.

ADAPTIVE VIBRATION MACHINES WITH YES TOROIDAL WORKING CONTAINER

R. Chubyk, G. Karpets

Drohobych State Pedagogical University

vul. Stryiska, 3, Drohobych, 82100, Ukraine. E-mail: R_Chubyk@yahoo.com

A model of electromechanical energy-saving adaptive vibration machine with toroidal working container which can automatically provide stability technologically optimal parameters of the vibration field toroidal chamber during a given time (cycle) at constant vibrotreatment resonant mode vibrodrive and arbitrary mass loading of the working chamber machined parts and the environment.

Key words: adaptive vibration machine, toroidal container worker, vibration treatment.

REFERENCES

1. Babichev A.P., Babichev I.A. *Fundamentals of vibration technology*. – Rostov n/D., 1999. – 621 p. [in Russian]

2. Babichev A.P., Davydova T.V., Ryseva T.N. Improved designs chambers vibrating machine // *Vibrations in Engineering and Technology (Vinnitsa)*. – 1995. – № 2. – PP. 8–11. [in Russian]

3. Matyukhin E.V. *Investigation of the process of hardening metal vibroshock tool*: Thesis. ... Candidate Technical Sciences. – Rostov n/D, 1979. – 247 p. [in Russian]

4. Jurkiewicz V.B. *Investigation of the process of vibration of the shock treatment and its impact on the operational properties of machine parts*: thesis. Dis. Candidate Technical Sciences. – Rostov n/D, 1981. – 234 p. [in Russian]

5. Babichev A.P., Matyukhin E.V., Shevtsov S.N. The increase in strength hardened steel with polished vibroimpact processing // *Journal of Mechanical Engineering*. – 1980. – № 7. – PP. 55–59. [in Russian]

6. Blekhman I.I. *The behavior of granular materials under vibration* // *Vibrations in Engineering: A Handbook*. – М.: Nauka, 1988. – Т. 4. – PP. 78–98. [in Russian]

7. Babichev A.P., Ustinov V.P., Hodosh B.B. Vibratory finishing and hardening formation-processing machine parts // *Size-finishing and processing of surface-hardening plastic deformation*. – М., 1968. – PP. 82–90. [in Russian]

8. Samodumskiy J.M. *Investigation of the process microcutting, cutting properties and durability in abrasive vibroabrazivnoy processing*: Dis. Candidate Technical Sciences. – Rostov n/D., 1973. – 256 p. [in Russian]

9. Suslov A.G. *Technological support contact stiffness joints*. – М.: Nauka, 1977. – 201 p. [in Russian]

10. Koltsov V.P. *Investigation and optimization of vibratory bulkhandling*: Dis. Candidate Technical Sciences. – Irkutsk. – 164 p. [in Russian]

11. Dimentberg F.M., Frolov K.V. *Vibration in the art and people*. – М.: Znanie, 1987. – 160 p. [in Russian]

12. Opirsky B.J., Denisov P.D. *New vibration machinery. Design and calculation*. – Lviv: Sweet, 1991. – 158 p. [in Ukrainian]

13. Haykin S.E. *Physical principles of mechanics*. – М.: Nauka, 1971. – 751 p. [in Russian]

14. Пат. 87776 А Україна, В65G27/00. *Method of management of the adaptive vibration technology machine* / Sereta L.P., Chubik R.V., Yaroshenko L.V. (Ukraine). – № а200803685, publ. 10.08.2009, Bull. № 15. – 4 p. [in Ukrainian]

15. Пат. 92041 А Україна, В65G27/100. *Method of stabilization technology of optimum parameters of the vibration field of adaptive vibration technology machine* / Sereta L.P., Chubik R.V., Yaroshenko L.V. (Ukraine). – № а200806209, publ. 27.09.2010, Bull. № 18. – 3 p. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 25.12.2011.

Рекомендовано до друку
к.т.н., доц. Некрасовим А.В.