

УДК 621.73:620.191.32

**М.В. Пікула, О.С. Стадник, Л.С. Серілко***Національний університет водного господарства та природокористування***ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЯКОСТІ ВІБРАЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ ДЕТАЛЕЙ  
ВІД ЗАБРУДНЕНЬ**

*Одним з ефективних шляхів підвищення інтенсивності очищення деталей у середовищі вільних абразивів є поєднання вібрацій робочої камери з іншими рухами – додатковим обертання навколо її осі, планетарного чи складного просторового руху, додаткових кутових коливань. У статті наведено принципову схему і аналітичне дослідження багатокамерної відцентрової установки з планетарним приводом*

*Ключові слова:* очищення, вібрація, планетарний рух, оптимізація режимів відцентрово-вібраційної обробки.

**М.В. Пикула, А.С. Стадник, Л.С. Серилко***Национальный университет водного хозяйства и природопользования***ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ВИБРАЦИОННОГО ОЧИСТКИ  
ДЕТАЛЕЙ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ**

*Одним из эффективных путей повышения интенсивности очистки деталей в среде свободных абразивов является сочетание вибраций рабочей камеры с другими движениями - дополнительным вращением вокруг ее оси, планетарного или сложного пространственного движения, дополнительных угловых колебаний. В статье приведены принципиальную схему и аналитическое исследование многокамерной центробежной установки с планетарным приводом*

*Ключевые слова:* очистка, вибрация, планетарное движение, оптимизация режимов центробежно-вибрационной обработки.

**M. Pikula, O. Stadnyk, L. Serilko***National University of Water and Environment***IMPROVING THE EFFICIENCY AND QUALITY VIBRATION CLEANING EQUIPMENT  
FROM CONTAMINATION**

*One of the most effective ways to increase the intensity of cleaning equipment in an environment free of abrasives is a combination of camera vibrations working with other movements - additional rotation around its axis, planetary or complex spatial movement, more angular fluctuations. The article presents a schematic diagram and analytical study of multi installation with centrifugal planetary drive*

*Keywords:* clean, vibration, planetary motion, optimization, centrifugal vibratory finishing.

**Важливе значення** в підвищенні якості машинобудівної продукції мають високопродуктивні методи очищувальної технології. Світова практика свідчить про їх велике різноманіття, у розвитку яких має місце тенденція одночасного впливу на заготовки механічних навантажень і хімічних речовин, теплового й електричного полів, акустичної енергії в різноманітному поєднанні. Щоправда, поки що нема єдиного підходу до оцінки ефективності процесу. Вибір устаткування для конкретних умов багато в чому визначається традиціями, які склалися у галузі, кваліфікацією та суб'єктивними особливостями конструктора. Застосування високопродуктивних методів очищення сприяє інтенсифікації процесів, підвищує рівень механізації й автоматизації трудомістких робіт, ефективність і продуктивність праці.

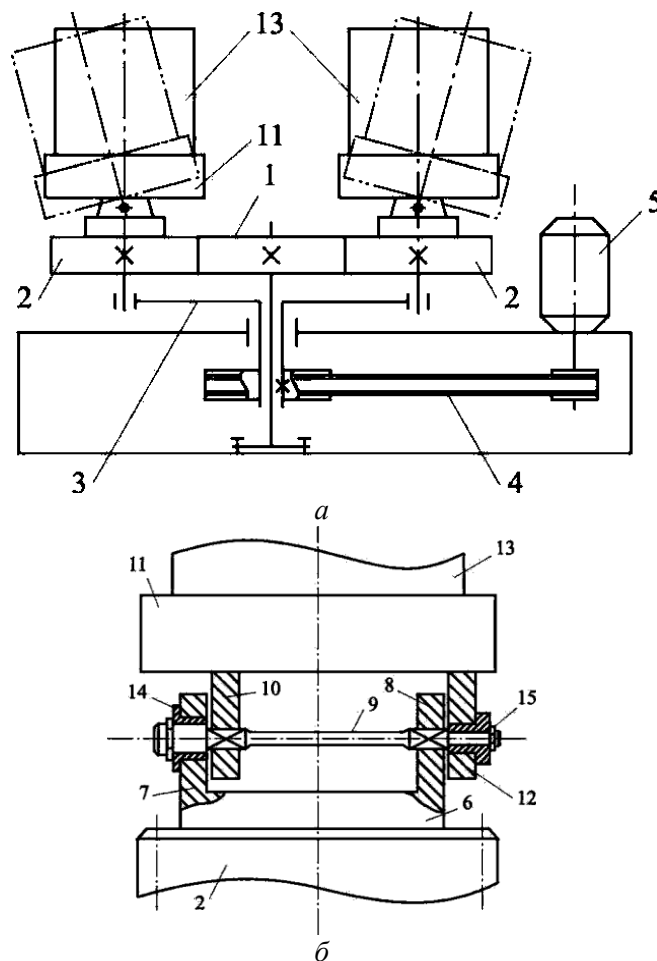
**Вирішенню поставлених задач** сприяє розробка і впровадження нових високопродуктивних різновидностей вібраційно-відцентрової обробки (ViBO), що представляє собою механічний процес обробки поверхневого шару заготовок частинками робочого середовища в результаті дії на них зі сторони робочої камери зусиль спрямованих вібрацій і відцентрових сил. Виникнення відцентрових сил обумовлено наданням віброуючій камері додаткового обертання навколо її осі, планетарного чи складного просторового руху, додаткових кутових коливань, що сприяє інтенсифікації обробки. Широкі технологічні можливості в поєднанні з значним впливом на фізико-механічні властивості поверхневого шару оброблених деталей ставить вібраційно-відцентровий метод в число найперспективніших методів обробки деталей машин.

**Основною задачею** в дослідженнях технологічних можливостей ViBO є інтенсифікація технологічних процесів, зокрема форсування режимів обробки - оптимізацією режимів коливань і траєкторії, використання перехідних режимів, бігармонічних коливань.

Розглянемо одну з схем установки, яка дозволяє реалізувати переваги вібраційно-відцентрової обробки [1]. Її схема представлена на рис.1, на рис.2 показано різні положення камери установки.

Багатокамерна відцентрова установка з планетарним приводом має нерухому центральну шестерню 1, яка входить у зачеплення з сателітами 2, осі яких несе водило 3. Останнє приводиться в обертання за допомогою пасової передачі 4 від двигуна 5. Сателіти 2 планетарних механізмів за допомогою ступиці 6 зв'язані з механізмами коливання робочих камер.

Механізм коливання виконаний у вигляді стояків 7 і 8, у квадратних отворах яких нерухомо встановлені торсіонні вали 9. Зі стояками 7 торсіонні вали 9 утворюють рухомі з'єднання - обертові пари. Торсіонні вали 9 також нерухомо встановлені в кронштейнах 10 платформ 11, а рухомо (з можливістю повертання) з'єднані з кронштейнами 12 платформ 11, на яких встановлені швидкознімні робочі камери 13. Осі сателітів 2 і торсіонних валів 9 лежать в одній площині. Від осевого переміщення торсіонні вали 9 фіксуються стопорними кільцями 14 і 15.



**Рис.1. Багатокамерна відцентрово-вібраційна установка,  
а – загальний вигляд, б - механізм коливання**

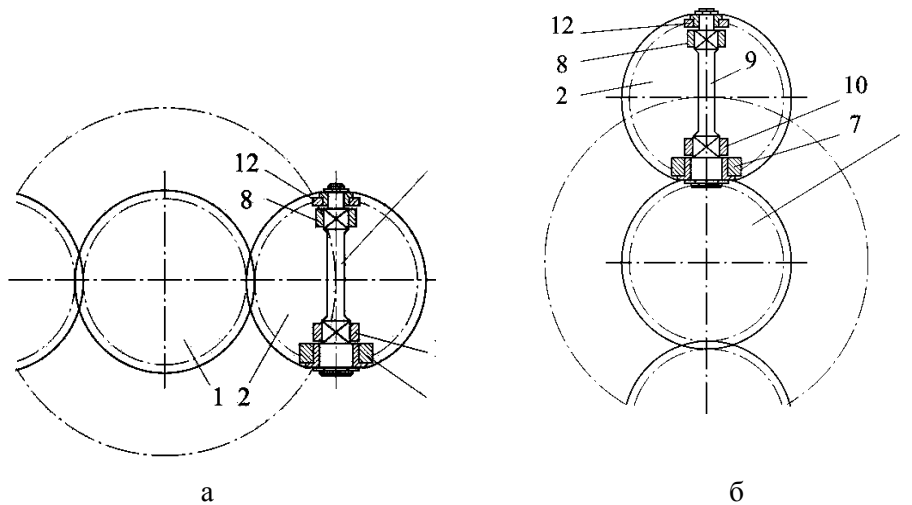
Установка працює в такий спосіб. Після встановлення завантажених робочих камер 13 на платформи 11 включається електродвигун 5. Робочі камери 13 починають здійснювати планетарний рух і, крім того, коливання. Це відбувається так.

У процесі обертання на робоче середовище і камери 13 діють відцентрові сили. Відцентрові сили від переносного руху - обертання робочих камер 13 відносно осі центральної шестерні 1 - прагнуть повернути робочі камери 13 відносно осей торсіонних валів 9. У момент, коли осі торсіонних валів 9 (рис.2, а) дотичні до траєкторії точки перетину осей сателітів 2 і осей торсіонних валів 9, відбувається поворот платформи 11 з робочими камерами 13 відносно осей торсіонних валів 9. Поворот здійснюється таким чином, що відцентрові сили, які діють на робочі камери 13, передаються кронштейнам 10 платформ 11. Оскільки кронштейни нерухомо зв'язані з торсіонними валами 9, відбувається поворот торсіонних валів 9 відносно стояків 8, з якими торсіонні вали 9 з'єднані також нерухомо. Торсіонні вали 9 закручуються і робочі камери 13

займають похиле положення до горизонтальної площини, в результаті чого змінюється циркуляція робочого середовища в робочих камерах 13.

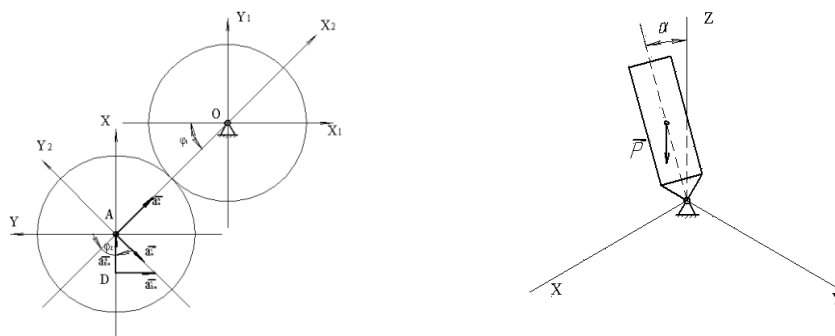
При подальшому обертанні робочих камер 13 відбувається розкручування торсіонних валів 9 за рахунок його пружних сил. У положеннях, коли осі торсіонних валів 9 радіальні до траєкторії точки перетину осей сателітів 2 і осей торсіонних валів 9 (рис.2, б) відбувається повне повернення торсіонних валів 9 у початкове положення. Під дією сил інерції робочих камер 13 від прискореного повороту торсіонних валів 9 і дії відцентрових сил при подальшому обертанні робочих камер 13 торсіонні вали 9 закручуються у протилежну сторону. Таким чином відбувається зміна напрямку циркуляції робочого середовища.

При повороті робочих камер 13 відносно своїх осей на 360 градусів, торсіонні вали виконують по одному повному коливанню відносно своїх осей. Поєднання планетарного руху робочих камер з коливаннями підвищує інтенсивність обробки. А з'єднання платформ 11 робочих камер 13 з сателітами 2 через торсіонні вали 9 забезпечує коливання робочих камер за рахунок відцентрових сил, завдяки чому конструкція установки спрощується – відсутні складні механізми створення коливань.



**Рис.2. Багатокамерна відцентрово-вібраційна установка: а - положення торсіона, що відповідає максимальному повороту платформи з робочою камерою під дією відцентрових сил, б - положення торсіона, при якому відбувається повне повернення платформ з робочими камерами у вихідне положення.**

Для дослідження руху камери розглянемо її рух (вважаючи твердим тілом) відносно системи координат  $XAY$ , яка зв'язана з рухомим колесом 2, що здійснює плоскопаралельний рух завдяки водилу  $OA$ , з яким зв'язана система координат  $X_1AY_1$  (рис.3).



**Рис.3. Розрахункова схема установки**

Нерухому систему координат зв'яжемо з нерухомим колесом 1. Шестерня 2 обертається з кутовою швидкістю  $\omega_2$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1(r_1 + r_2)}{r_2} \quad (1)$$

де  $r_1$  і  $r_2$  – радіуси коліс,  $\omega_1$  – кутова швидкість водила.

Прискорення точки С (центра ваги камери) буде дорівнювати:

$$\vec{a}_c = \vec{a}_e + \vec{a}_r + \vec{a}_k \quad (2)$$

де  $a_c$  – переносне прискорення ;

$$\vec{a}_e = \vec{a}_D, \quad (3)$$

де  $a_D$  – прискорення точки Д - проекції точки С на шестерню 2

$$\vec{a}_D = \vec{a}_A^n + \vec{a}_A^\tau + \vec{a}_{DA}^n + \vec{a}_{DA}^\tau \quad (4)$$

$$a_A^n = \omega_1^2 OA \quad (5)$$

$$a_A^\tau = \varepsilon_1 OA \quad (6)$$

$$a_{DA}^n = \omega_2^2 AD \quad (7)$$

$$a_{DA}^\tau = \varepsilon_2 AD \quad (8)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_1(r_1 + r_2)}{r_2} \quad (9)$$

$a_r$  – відносне прискорення точки С;  $a_k$  – прискорення Кориоліса.

Запишемо теорему про зміну кінематичного моменту механічної системи відносно осі Y:

$$\frac{dL_y}{dt} = \sum_{k=1}^n m_k (\vec{F}_k^C) \quad (10)$$

На точку С діють сили:  $P$  – сила тяжіння,  $\Phi_e$  – переносна сила інерції.

Момент кориолісової сили інерції відносно осі Y дорівнює нулю.

$$\Phi_e = m a_e \quad (11)$$

$$P = mg \quad (12)$$

Вважаючи момент інерції камери відносно осі Y  $I_y = ml^2$  отримаємо

$$L_y = ml^2 \frac{d\alpha}{dt} \quad (13)$$

де  $l = Z_c$  - відстань від центра ваги камери до осі обертання.

З врахуванням вищенаведеного рівняння матиме вигляд

$$\frac{dL_y}{dt} = mgl \sin \alpha + m\omega_2^2 l^2 \sin \alpha \cos \alpha + m\omega_1^2 (r_1 + r_2) l \cos \alpha \cos \varphi_2 - k\alpha \quad (14)$$

Прийmemo, що водило обертається з постійною швидкістю, тобто  $\omega_1 = const$  і  $\varepsilon_1 = 0$ . При малих кутах  $\sin \alpha \approx \alpha$  і  $\cos \alpha \approx 1$ .

Перейдемо від незалежного параметра  $t$  (часу) до кута повороту  $\varphi_2$ . Тоді:

$$\varphi_2 = \omega_2 t \quad (15)$$

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = \frac{\omega_2 d^2\alpha}{d\varphi_2^2} \quad (16)$$

Введемо позначення

$$A = \frac{gl + \omega_2^2 l^2 - k}{\omega_2 l^2} \quad (17)$$

$$\frac{k}{\omega_2 m l^2} = \beta, \quad (18)$$

де  $k$  – жорсткість торсіона (Нм /рад),  $m$  – маса камери з завантаженням.

Тоді диференціальне рівняння руху буде мати вигляд:

$$\frac{d^2\alpha}{d\varphi^2} = A\alpha - B \cos \varphi_2 \quad (19)$$

Його розв'язком є:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha^*, \quad (20)$$

$$\text{де } \alpha_1 = c_1 \sin k_1 \varphi_2 + c_2 \cos k_1 \varphi_2 \quad (21)$$

- загальний розв'язок

$$\alpha^* = D \cos k_2 \varphi_2 \quad (22)$$

- частинний розв'язок. Тут  $c_1$  і  $c_2$  - сталі інтегрування, які визначаються з початкових умов;  $D$  – константа.

**Отриманий розв'язок** руху робочих камер наведеної відцентрової установки дозволяє оптимізувати геометричні і кінематичні параметри установки, які можуть бути використані при проектуванні конструкцій відцентрових установок.

### Література

1. Устройство для центробежной обработки деталей. Пикула Н.В., Мороз В.М. Авторское свидетельство № 1731605. Опубл. 17.05.92. Бюл.№17

Стаття надійшла до редакції 11.04.2016