

## ДИНАМІКА ДЕБАЛАНСНОГО ВАЛА КЕРОВАНОГО ВІБРОЗБУДЖУВАЧА УВВ-02

*Проведено дослідження динамічної дії дебалансного вала керованого віброзбуджувача УВВ-02 з метою вказати його переваги та певні недоліки, означити динамічні та технологічні можливості, напрямки та межі доречного застосування.*

**Ключові слова:** *керований механічний відцентровий дебалансний збуджувач коливань (КМВДЗК), динамічна дія, статично та динамічно зрівноважений стан, математичне моделювання, моментна невірноваженість.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** За останнє тридцятиліття на кафедрі теоретичної механіки Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка (раніше – Полтавського інженерно-будівельного інституту) під керівництвом, нажалі тепер покійного, професора Сердюка Л.І. за участю членів кафедри розроблялись, створювались, досліджувались і продовжують розроблятися оригінальні конструкції *керованих механічних відцентрових дебалансних збуджувачів коливань* (КМВДЗК) для приводу різноманітних технологічних вібраційних машин [1–5]. Проведені дослідження показали, що використання КМВДЗК дозволяє комплексно позбутися декількох суттєвих недоліків вібраційної машини з традиційним відцентровим дебалансним збуджувачем коливань.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Загальна конструктивна схема та принцип дії усіх розроблених на кафедрі керованих віброзбуджувачів однакові та неодноразово висвітлювалися на різноманітних науково-практичних та інших заходах і в літературних джерелах. КМВДЗК зазвичай має [6] на дебалансному валі 1 один нерухомий 3 і один чи два рухомих дебаланси 4 (рисунок 1). Рухомий дебаланс 4 пов'язаний з валом 1 за допомогою двох кулькових шпонок 5, кожна з яких знаходиться в напівсферичному гнізді рухомого дебаланса 4 та перекочується по канавці 6 відповідного перерізу, що мається на поверхні дебалансного валу 1 та виконана по гвинтовій лінії. Ковзна посадка рухомого дебаланса 4 дозволяє його переміщення уздовж дебалансного вала 1, а перекочування кулькових шпонок 5 у гвинтових канавках 6 забезпечує одночасний поворот рухомого дебаланса 4 відносно нерухомого 3.

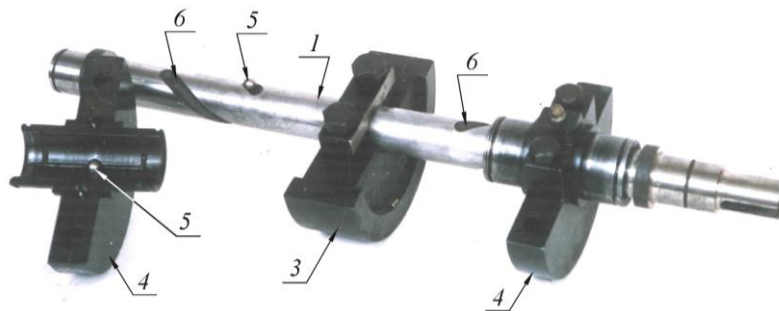


Рисунок 1 – Фото дебалансного вала КМВДЗК (лівий рухомий дебаланс – знятий з вала)

Відомо, що при обертанні дебаланса, як і будь-якого іншого нерівноваженого матеріального тіла, генерується відповідна збурна сила  $\vec{\Phi}$ , яка за своєю фізичною природою є відцентровою силою інерції дебаланса та, обертаючись разом із дебалансом, в будь-який момент часу в будь-якому положенні дебаланса напрямлена від осі обертання дебалансного вала.

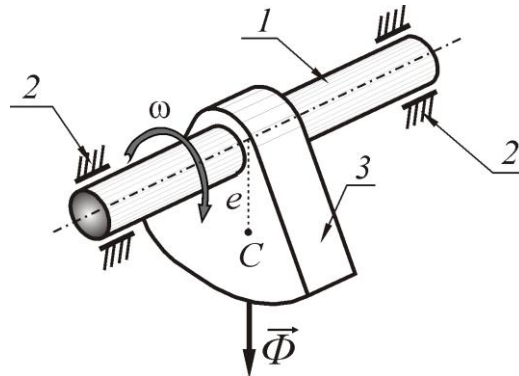


Рисунок 2 – Відцентровий дебалансний віброзбуджувач

Нехай (рисунок 2) дебалансний вал 1 разом із нерухомо насадженим на нього дебалансом 3 обертається у внутрішніх обоймах підшипників 2 з кутовою швидкістю  $\omega$ . Тоді модуль відцентрової сили інерції дебаланса

$$\Phi = m \cdot e \cdot \omega^2 = S \cdot \omega^2,$$

де  $m$ ,  $e$  та  $S$  - маса, ексцентриситет та статичний момент дебаланса 3 відносно осі обертання.

Дія сили  $\vec{\Phi}$  викликає відповідний рух дебалансного вала, який (рух) передається на корпус віброзбуджувача, а від нього – на робочий орган технологічної вібромашини. Рух робочого органа спричиняє адекватні деформації  $\Delta \ell_i$  пружних в'язей вібромашини. Це, в свою чергу, призводить до появи нестационарних сил пружностей  $\vec{F}_{np.i}$  пружних в'язей, які (нестационарні сили  $\vec{F}_{np.i}$ ) згідно до закону Гука визначаються та залежать від вказаних деформацій  $\Delta \ell_i$ . Сили  $\vec{F}_{np.i}$ , діючи на робочий орган вібромашини, безперервно зміщують його у відповідних напрямках.

Таким чином, рух робочого органа вібраційної технологічної машини визначається силами  $\vec{\Phi}$  та  $\vec{F}_{np.i}$ , першоджерелом яких є обертання незрівноваженого дебаланса. Це означає, що тими первинними характеристиками, які визначають структуру та величину вібраційної дії технологічної машини на оброблюване середовище є кутова швидкість  $\omega$  та статичний момент  $S = m \cdot e$  дебаланса (дебалансів). Отож, якщо є можливість певним чином змінювати ці характеристики та керувати ними, то це означає, що також є можливість адекватно змінювати зазначену вібраційну дію.

**Постановка завдання.** У результаті виконаної за означений у вступі час великої за обсягом науково-дослідної та конструкторсько-проектувальної роботи виникла потреба в створенні каталогу КМВДЗК, де були б наведені конструктивні схеми усіх розроблених та створених віброзбуджувачів, вказані переваги та певні недоліки того чи іншого з них, означені динамічні та технологічні можливості, межі та напрямки бажаного застосування. Дана стаття є першим кроком у створенні такого каталогу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Першим безумовно вдалим та надійним КМВДЗК був створений та запатентований [7] віброзбуджувач УВВ-02, конструктивна схема якого наведена на рисунку 3.

Дебалансний вал 1 за допомогою підшипників 2 закріплений у корпусі віброзбуджувача. На валу 1 розташовані дебаланс 3, що закріплений нерухомо, та дебаланс 4, який установлений на валу ковзною посадкою та пов'язаний з ним кульковими шпонками 5. Останні знаходяться в напівсферичних гніздах рухомого дебаланса 4 і при переміщенні його уздовж вала 1 перекочуються по гвинтових канавках 6, які мають відповідний до діаметру кулькових шпонок 5 напівкруглий переріз.

Керування вібраційною дією віброзбуджувача УВВ-02 забезпечується та визначається керуванням положення рухомого дебаланса 4. Механізм керування складається з маховика 14 (або мотор-редуктора), ходового гвинта 11 та вилки 8 механізму керування. Підшипники 7 механізму керування своїми внутрішніми кільцями закріплені на маточині рухомого дебаланса 4, а зовнішніми кільцями – в обоймі 9 вилки 8, на іншому кінці якої мається різьбова втулка 10, що знаходиться в зчепленні з ходовим гвинтом 11. Останній має можливість виконувати обертальний рух відносно корпусу 12 віброзбуджувача в підшипниках 13 та приводиться в обертання маховиком 14 (при ручному режимі керування) чи мотор-редуктором 14 (у випадку автоматичного регулювання).

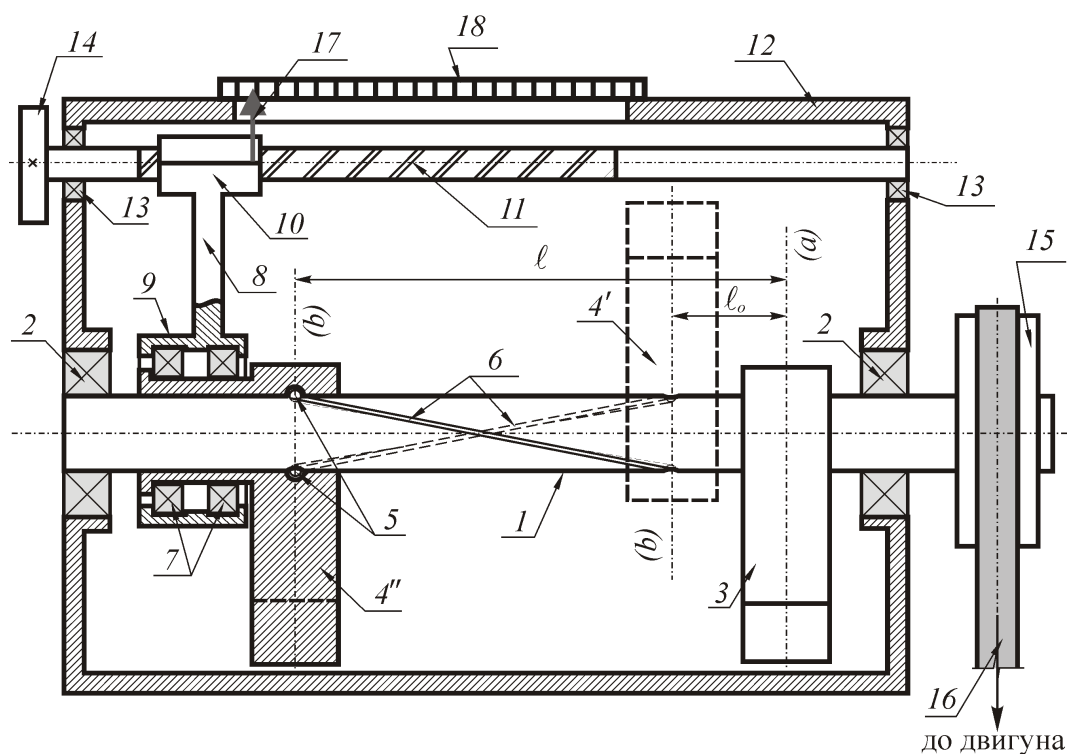
Дебалансний вал 1 приводиться в обертальний рух від приводного двигуна (на схемі не зображений) пасовою передачею (через шків 15 та пов'язаний із валом приводного двигуна клинового перерізу пас 16).

На різьбовій втулці 10 закріплений покажчик 17, а на корпусі 12 – шкала 18, за допомогою якої визначається положення рухомого дебаланса 4 відносно нерухомого 3.

У положенні, коли дебаланси 3 та 4 розташовані діаметрально протилежно (див. позицію 4' на рисунок 3 та рисунок 4,а), відбувається пуск віброзбуджувача. При такому положенні дебалансів сумарний статичний момент  $S$  мас їх дорівнює нулеві, а дебалансний вал з дебалансами є статично зрівноваженим. Після подачі живлення на приводний двигун віброзбуджувача кутова швидкість  $\omega$  обертання дебалансного вала 1 починає зростати від нуля до необхідного робочого значення  $\omega_{роб}$ . Очевидно, що при цьому разом із валом 1 в обертальний рух приходять обидва дебаланси та внутрішні кільця підшипників 7, які (внутрішні кільця), як зазначалося вище, закріплені на маточині рухомого дебаланса 4 (у певне кочення по поверхні зовнішніх кілець підшипників 7 прийдуть також і кульки цих підшипників; очевидно, що самі зовнішні кільця, які закріплені в обоймі 9 вилки 8 під час розгону віброзбуджувача є нерухомими).

Оскільки форма і маси обох дебалансів однакові ( $m_3 = m_4 = m$ ), то збурні сили  $\vec{F}_3$  і  $\vec{F}_4$ , які генеруються кожним з дебалансів, у будь-який момент часу при обертанні дебалансного вала віброзбуджувача за модулем є також однаковими, а за напрямком (рисунок 4,а) – протилежні одна одній. Тому що дебалансний вал знаходиться у статично зрівноваженому стані, то під час розгону віброзбуджувача УВВ-02 коливання робочого органа вібромашини *практично відсутні* і перехід через резонансні частоти проходить без скільки-небудь суттєвих проблем.

Після виходу віброзбуджувача в робочий режим за допомогою маховика (чи мотор-редуктора) 14 приводиться в обертання ходовий гвинт 11, уздовж якого починає переміщуватися різьбова втулка 10 вилки 8. Обойма 9 вилки стане переміщувати вздовж дебалансного вала 1 підшипники 7, що спричинить відповідне переміщення рухомого дебаланса 4. При цьому кулькові шпонки 5, що зв'язують рухомий дебаланс 4 з валом 1, почнуть перекочуватися по гвинтовим канавкам 6.



(a) - повздовжя вісь нерухомого дебаланса  
 (b) - повздовжя вісь рухомого дебаланса

Рисунок 3 – Конструктивна схема керованого вібробуджувача УВВ-02

1 – дебалансний вал; 2 – підшипники дебалансного вала; 3 – нерухомий дебаланс;  
 4 – рухомий дебаланс (4' – у положенні рівноваги, 4'' – у крайньому незрівноваженому положенні); 5 – кулькові шпонки; 6 – гвинтові канавки; 7 – підшипники механізму керування; 8 – вилка механізму керування; 9 – обойма вилки; 10 – різьбова втулка;  
 11 – ходовий гвинт; 12 – корпус вібробуджувача; 13 – підшипники ходового гвинта;  
 14 – маховичок; 15 – шків; 16 – клиновий пас; 17 – показчик; 18 – шкала.

Оскільки кулькові шпонки 5 знаходяться в напівсферичних гніздах рухомого дебаланса, то зазначений рух кулькових шпонок примусить повертатися рухомий дебаланс 4 на певний кут  $\theta$  від свого початкового положення так, щоб його повздовжя вісь (b) завжди проходила через центри кулькових шпонок 5 (рисунки 3 та 4). Характеристики руху рухомого дебаланса 4 (разом із вилкою 8 та зовнішніми кільцями підшипників 7) уздовж дебалансного вала 1 залежать від швидкості обертання ходового гвинта 11 та кроку різьби на його поверхні. Характеристики ж обертального руху рухомого дебаланса при повертанні його на кут  $\theta$  від свого початкового положення крім цього залежать ще й від кроку гвинтових канавок 6 (або від кута їх нахилу до повздовжньої осі дебалансного вала 1).

Очевидно, що у початковий момент повороту рухомого дебаланса порушується стан статичної зрівноваженості вібробуджувача. Одночасно зі зростанням кута  $\theta$  починає зростати величина сумарного статичного моменту  $S$  мас дебалансів, що приводить до адекватної зміни амплітуди коливань робочого органа. В УВВ-02 кут  $\theta$  може змінюватися від нуля до  $180^\circ$ , коли сумарний статичний момент набуває максимально можливого значення  $S = 2 \cdot m \cdot e$ , а збурні сили  $\vec{\Phi}_3$  і  $\vec{\Phi}_4$  – паралельні та мають однаковий напрямок (рисунок 4, в); тоді сумарна збурна сила вібробуджувача

$\vec{\Phi} = \vec{\Phi}_3 + \vec{\Phi}_4$ , модуль  $\Phi = 2me\omega^2 = 2S\omega^2$ , а її лінія дії ділить відстань  $\ell$  (рисунок 3) навпіл.

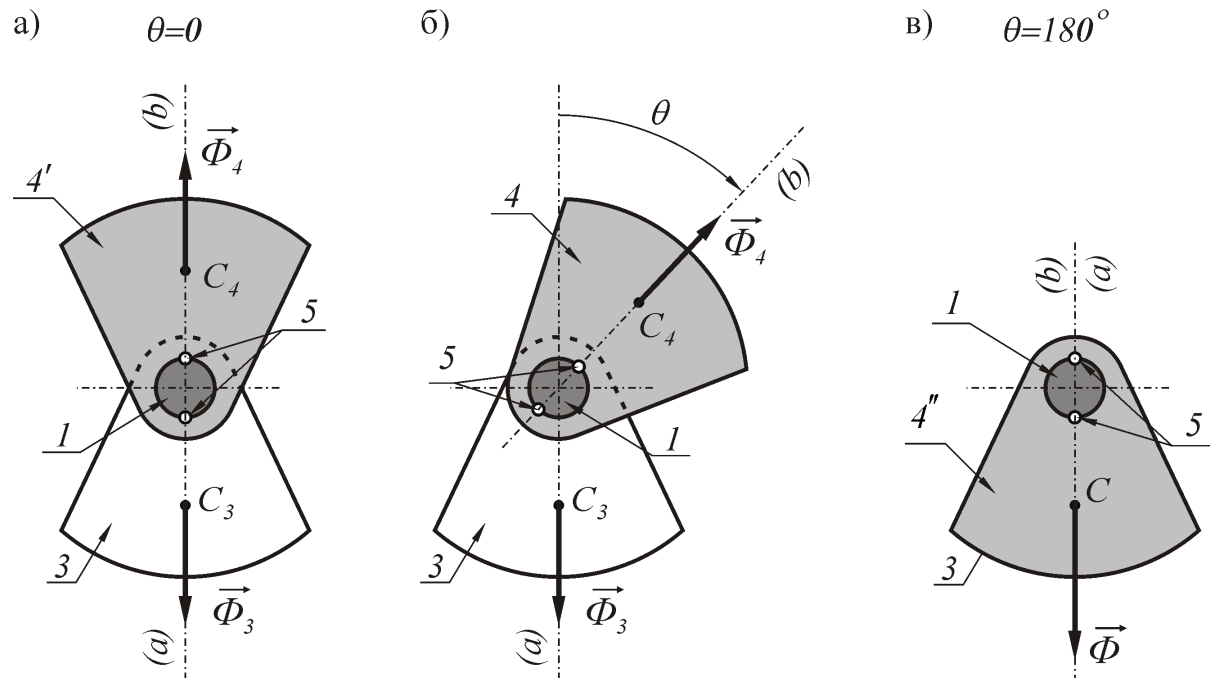


Рисунок 4 – Діючі збурні сили віброзбуджувача УВВ-02  
 а – під час пуску та зупинення;  
 б – у проміжному положенні дебалансів;  
 в – у крайньому незрівноваженому положенні дебалансів

Після виконання необхідної технологічної задачі перед знеструмленням приводного двигуна віброзбуджувач знову приводиться в статично зрівноважений стан (шляхом відповідного обертання маховичка 14 та повернення рухомого дебаланса 4 в своє початкове положення 4', коли  $\theta = 0$ ). І знову перехід через частоти проміжних резонансів віброзбуджувач проходить плавно, *практично* не помічаючи цих резонансів і не створюючи негативних наслідків для себе та машини, на якій він встановлений.

Про недоліки віброзбуджувача УВВ-02

На етапі проектування, конструювання та проведення аналітичних розрахунків і досліджень роботи (можна сказати – на етапі *схематичного та математичного моделювання*) віброзбуджувача УВВ-02 у першому наближенні віддалю  $\ell_0$  між повздовжними осями (а) нерухомого дебаланса 3 та (б) рухомого дебаланса 4', коли кут  $\theta = 0$  (рисунки 3, 4, а та 5), *нехтували*, приймаючи  $\ell_0 = 0$ . Оскільки у такому разі положення в просторі ліній (а) та (б) повністю співпадало, то це давало можливість розглядати сукупність сил  $\vec{\Phi}_3$  і  $\vec{\Phi}_4$ , як зрівноважену систему сил. Це припущення приводило до теоретичних висновків про те, що під час пуску та зупинення віброзбуджувача останній є не тільки статично, а й *динамічно зрівноваженим*, і при переході через резонансні частоти коливання робочого органа вібромашини *відсутні повністю*.

В дійсності ситуація виглядає по іншому (рисунок 5). Оскільки дебаланси 3 та 4 віброзбуджувача УВВ-02 – це матеріальні тіла, які мають певну геометричну форму,

то  $l_0 \neq 0$ , навіть якщо б вони під час пуску та зупинення знаходилися нескінченно близько один до одного. Зрозуміло, що одразу після початку обертання дебалансного вала 1 дебаланси 3 та 4 генерують збурні сили  $\vec{\Phi}_3$  і  $\vec{\Phi}_4$ , які утворюють пару сил  $(\vec{\Phi}_3, \vec{\Phi}_4)$  із плечем  $l_0$ , момент якої

$$M(\vec{\Phi}_3, \vec{\Phi}_4) = \Phi_3 \cdot l_0 = \Phi_4 \cdot l_0 = m \cdot e \cdot l_0 \cdot \omega^2 = S \cdot l_0 \cdot \omega^2,$$

а площина дії якої проходить через прямі (а) та (б) й обертається разом із дебалансами.

Очевидно, що створювана за рахунок обертання дебалансів 3 та 4 пара сил  $(\vec{\Phi}_3, \vec{\Phi}_4)$  викликає відповідний рух дебалансного вала, який вже у відомій послідовності передається на робочий орган вібромашини та спричиняє адекватні деформації її пружних в'язей. Тому зазначена пара називається *збурною парою сил*, а незрівноваженість дебалансного віброзбуджувача, що спричинена дією тільки збурної пари сил, – *моментною незрівноваженістю*.

Під час розгону віброзбуджувача момент збурної пари буде зростати від нуля відповідно до зростання кутової швидкості  $\omega$  обертання дебалансного вала 1, а її (пари сил) динамічна дія на робочий орган вібромашини носить циклічний характер, частота якої (динамічної дії) в будь-яку мить часу дорівнює значенню кутової швидкості  $\omega$ .

Отож, одразу після пуску робочий орган приходить у певний коливальний рух, який визначається параметрами (характеристиками) динамічної дії збурної пари сил. Зазначена дія, крім кутової швидкості  $\omega$ , характеризується значеннями  $S$  та  $l_0$ . У віброзбуджувачів із незначним статичним моментом  $S$  маси дебалансів та невеликою віддаллю  $l_0$  (віброзбуджувач УВВ-02 якраз відноситься до таких) перехід через резонансні частоти спричиняє зовсім незначне (інколи практично непомітне) зростання амплітуд коливань і збільшення динамічних навантажень. Тому „під час розгону віброзбуджувача УВВ-02 коливання робочого органа вібромашини практично відсутні і перехід через резонансні частоти проходить без скільки-небудь суттєвих проблем“ (див. вище).

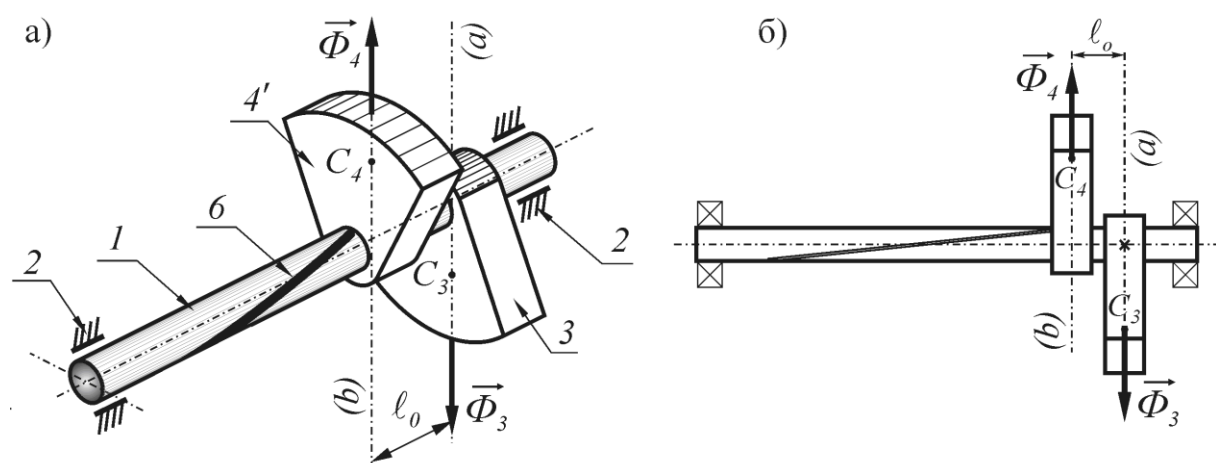


Рисунок 5 – Дебалансний вал керованого віброзбуджувача УВВ-02

а – схема дебалансного вала; б – схема діючих збурних сил

Однак у випадку потреби створення більш потужних віброзбуджувачів доведеться (інколи досить суттєво) збільшувати геометричні розміри дебалансів, що

приведе до одночасного відповідного збільшення значень статичного моменту  $S$  маси дебалансів та віддалі  $\ell_0$ . Тоді вказані особливості роботи УВВ-02 будуть причинами суттєво більш негативних явищ, які пов'язані зі відповідними особливостями роботи зарезонансної вібраційної машини з некерованим дебалансним збуджувачем коливань.

### **Висновки**

Отримані та викладені результати дають можливість враховувати зазначені властивості віброзбуджувача на етапах моделювання та конструювання аналогічних технологічних пристроїв. Подальші наукові дослідження та розробки спрямовані на усунення вказаних недоліків.

### *Література*

1. Сердюк, Л.И. Виброобработка деталей на установке с управляемым возбудителем винтовых колебаний / Л.И. Сердюк, С.М. Жигилий, А.И. Касьянов // *Передовой опыт*. – М.: ЦНИИ информации, 1988, №9. – С. 29-31.
2. Жигилий, С.М. Основы оптимального синтеза управляемых вибрационных машин / С.М. Жигилий, Л.И. Сердюк, А.И. Касьянов // *Тезисы докл. Всесоюз. н.-т. семинара “Механизация финишно-зачистных и отделочных работ в машиностроении”*. – М.: Минстанкопром, 1990. – С.35-37.
3. Жигилий, С.М. Изготовление дисперсно-армированных бетонов с использованием управляемых вибрационных машин / С.М. Жигилий, Л.М. Осина, Л.И. Сердюк // *Теория и практика процессов измельчения, разделения, смешения и уплотнения: Труды VI МНТК*. – Одесса: ОГМА, 1998. – С.56-61.
4. Сердюк, Л.И. Увеличение интенсивности нестационарных режимов вибрационной технологии / Л.И. Сердюк, С.М. Жигилий, П.Н. Костенко // *Вопросы вибрационной технологии*. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2005. – С. 28-34.
5. Сердюк, Л. И. Збуджувач гвинтових коливань. Декларат. патент України, 9094, В06В1/16 / Л. И. Сердюк, С. М. Жигилій, П. М. Костенко // Заявлено 28.12.04, опубл. 15.09.2005, – Бюл. №9.
6. Сердюк, Л. И. Управляемый вибровозбудитель. А.с. 1603585 (СССР) / Л.И. Сердюк, А.И. Касьянов – ДСП.
7. Сердюк, Л. И. Управляемый возбудитель винтовых колебаний. А.с. 1442271 (СССР)/ Л.И. Сердюк – Опубл. в БИ 1988, №45.

*Надійшла до редакції 27.10.2011*

*© С.М. Жигилій, К.С. Дяченко*

**С. М. Жигилий, к.т.н., доц., К. С. Дяченко, магистрантка**

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

**ДИНАМИКА ДЕБАЛАНСНОГО ВАЛА УПРАВЛЯЕМОГО  
ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ УВВ-02**

*Проведены исследования динамического воздействия дебалансного вала управляемого вибровозбудителя УВВ-02 с целью определить его преимущества и некоторые недостатки, указать динамические и технологические возможности, направления и границы эффективного использования.*

**Ключевые слова:** *управляемый механический центробежный дебалансный возбудитель колебаний (УМЦДБК), динамическое воздействие, статически и динамически уравновешенное состояние, математическое моделирование, моментная неуравновешенность.*

**S.M. Zhyhylii, Ph.D., K. S. Diachenko, Graduate**

*Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk*

**DYNAMICS OF UNBALANCED SHAFT OF CONTROLLED VIBRATION  
EXCITER UVV-02**

*The research of the dynamic influence of unbalanced shaft of controlled vibration exciter UVV-02 have been made for the purpose of determining its advantages and some disadvantages, indicating dynamic and technological capabilities, area and bounds of its effective use.*

**Key words:** *controlled mechanical centrifugal unbalanced vibration exciters of oscillations (CMCUVEO), dynamic influence, statically and dynamic balanced condition, mathematical modeling, couple unbalance.*