

УДК 621.1.01

*Л. И. СЕРДЮК*

*Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка*

## **УПРАВЛЯЕМЫЕ ВИБРАЦИОННЫЕ МАШИНЫ, ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА В СРАВНЕНИИ С ОБЫЧНЫМИ**

Созданы технологические вибрационные машины с управляемыми дебалансными возбудителями колебаний. Пуск и остановка таких возбудителей осуществляется в уравновешенном состоянии, что исключает переход через промежуточные резонансы, существенно уменьшается мощность приводных двигателей. Особенностью таких машин является возможность использования нестационарных режимов виброобработки, что приводит к повышению производительности машины.

До недавнего времени об управляемых технологических вибрационных машинах практически ничего не было известно. Никаких сведений о них в справочниках по вибрационной технике нет. Складывалось впечатление, что конструкторская мысль в этом направлении не продвигалась. На самом деле это совсем не так. Вибрационные устройства с пневматическими, гидравлическими и электродинамическими возбудителями колебаний существовали и использовались в качестве управляемых главным образом для испытательных стендов. Реже для этих целей применяли устройства с дебалансными управляемыми вибровозбудителями. Однако последние были довольно громоздкими и ненадежными в работе, что затруднило их применение в качестве привода технологических вибрационных машин.

Вместе с тем в патентной литературе ведущих стран мира на конец 80-х годов зафиксировано около 1000 предложений на уровне технических идей, оформленных в виде изобретений, касающихся вибрационных устройств с дебалансными возбудителями колебаний, допускающими регулирование на ходу статическим моментом масс дебалансов. Такой разрыв между техническими решениями и конструкторскими разработками, воплощенными в материале и доведенными до работающих машин, можно объяснить только тем, что не удавалось создать несложный и надежный механизм управления подвижными дебалансами. А отсутствие работающих управляемых вибрационных машин полностью устранило всякие попытки теоретически разобраться в проблеме их создания и использования. Считалось бесполезным заниматься теорией того, что не существовало на практике. На Всесоюзной научно-технической конференции по вибрационной технике, проходившей в июне 1965 года в Москве, в числе приоритетных направлений исследований наме-

чалось [1]: "изучение переходных процессов и разработка методов снижения мощности, необходимой для запуска, уменьшения веса элементов привода, уменьшения раскачиваний при переходе через промежуточный резонанс и т. п."

Понадобилось более 20 лет для того, чтобы этими вопросами начали заниматься в комплексе, на базе разработки и создания управляемых вибрационных машин. В середине 80-х годов в Полтавском инженерно-строительном институте были разработаны и созданы оригинальные конструкции дебалансных управляемых вибровозбудителей. Их экспериментальные испытания подтвердили работоспособность и высокую надежность предложенной конструкции механизма управления подвижными дебалансами. Это объясняется тем, что кинематические связи подвижных дебалансов с дебалансным валом осуществляются посредством шаровых шпонок, установленных в полусферических гнездах в подвижных дебалансах и перекатывающихся по винтовым канавкам полукруглого сечения на дебалансном вале. Фактические возможности такого рода связей превзошли все самые оптимистические ожидания.

На рисунке 1 показаны кинематические схемы управляемых дебалансных вибровозбудителей, генерирующих вибрационное силовое поле круговой структуры и винтовой структур. В первом случае подвижные дебалансы, масса каждого из которых в два раза меньше массы  $m$  неподвижного дебаланса, перемещаясь вдоль дебалансного вала от неподвижного, поворачиваются на угол  $\theta$  от уравновешенного состояния в одном направлении. При этом генерируется вращающийся главный вектор сил инерции дебалансов

$$\Phi = 2me\omega^2 \sin \frac{\theta}{2}; \quad (1)$$

где  $m$  – масса неподвижного дебаланса;  $e$  – эксцентриситет каждого дебаланса;  $\omega$  – угловая скорость вращения дебалансного вала.

Во втором случае подвижные дебалансы поворачиваются относительно неподвижного на угол  $\theta$  в противоположных направлениях и генерируют вращающийся динамический винт в виде главного вектора  $\Phi$  и коллинеарного ему главного момента:

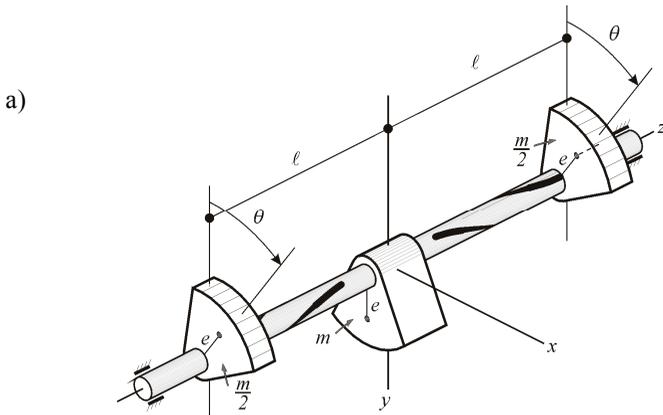
$$\Phi = 2me\omega^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}, \quad (2)$$

$$M_0 = me\omega^2 \frac{h}{2\pi} \theta \sin \theta, \quad (3)$$

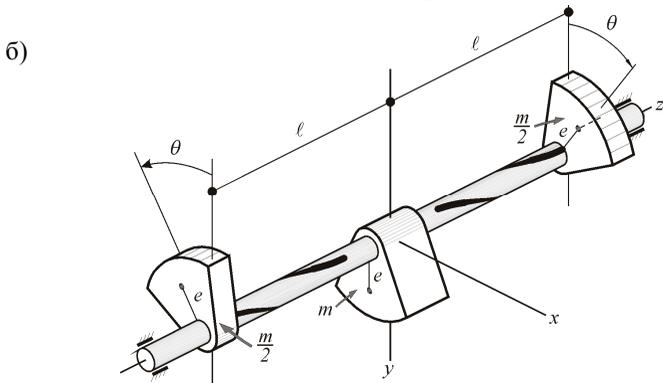
где  $h$  – шаг винтовых канавок на небалансном вале.

Первоначально предполагалось, что перемещение и поворот подвижных дебалансов будет происходить при углах наклона винтовых канавок к продольной оси вала, не превышающих  $20^\circ$ . Исследование управляемых машин, оснащенных такими вибровозбудителями, в течение более 10 лет показали, что этот угол можно увеличить до  $36^\circ$ . А в настоящее время созданы машины, в которых используется управляемый вибровозбудитель с винтовыми канавками на деба-

лансном вале, расположенными под углом  $44^\circ$ . Увеличение угла наклона винтовых канавок позволяет значительно уменьшить длину дебалансного вала и вместе с этим существенно уменьшить габариты всего вибровозбудителя.



$$\Phi = 2me\omega^2 \sin \frac{\theta}{2} ; M_O = 0$$



$$\Phi = 2me\omega^2 \sin^2 \frac{\theta}{2} ; M_O = me\omega^2 \frac{h}{2\pi} \theta \sin \theta$$

Рисунок 1 – Управляемые вибровозбудители:  
а – круговых колебаний; б – винтовых колебаний

Более того, с увеличением угла наклона винтовых канавок стало возможным изменять угол поворота подвижных дебалансов  $\theta$  от нуля до  $1,5\pi$  и, тем самым, управлять не только интенсивностью вибрационного поля, но и его структурой (рисунок 2), переходя от винтовой одного знака ( $0 < \theta < \pi$ ) к поступательной ( $\theta = \pi$ ) и далее к винтовой противоположного знака ( $\theta > \pi$ ).

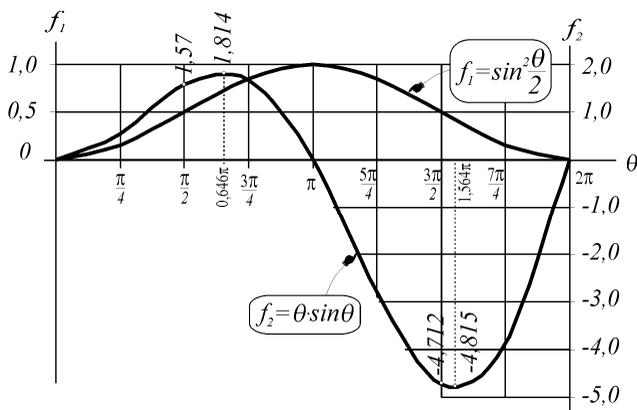


Рисунок 2 – Графики функций  $f_1$  и  $f_2$

С середины 80-х годов берут свое начало и основы теории управляемых вибрационных машин с дебалансными возбудителями колебаний [3]. Теоретические и экспериментальные исследования управляемых вибрационных машин показали, что применение в качестве их приводов управляемых дебалансных возбудителей позволяет одновременно разрешить целый комплекс проблем, решение каждой из которых до недавнего времени представлялось маловероятным. Остановимся на них подробнее.

Основной особенностью управляемого вибровозбудителя дебалансного вида является то, что его пуск и остановка производится в уравновешенном состоянии вращающихся частей. При пуске двигателя дебалансный вал с дебалансами представляет собой маховичок, привести который во вращение можно с помощью двигателя, мощность которого в несколько раз (иногда на порядок и более) меньше мощности двигателя, необходимого для пуска неуправляемого вибровозбудителя с такими же геометрическими характеристиками.

Переход через промежуточные резонансы при пуске происходит в уравновешенном состоянии (без колебаний), а это исключает возможность проявления известного эффекта Зоммерфельда, когда двигатель ограниченной мощности "зависает" на частоте резонанса, работает в режиме трансформатора и в течение нескольких минут выходит из строя.

Выключение вибровозбудителя можно осуществлять без выключения приводного двигателя. Для этого с помощью механизма управления вращающиеся части приводятся в уравновешенное состояние и колебания рабочего органа прекращаются. Перед выключением приводного двигателя всегда необходимо предварительно выключить вибровозбудитель, т. е. привести в уравновешенное состояние дебалансный вал с дебалансами. Обратный переход через промежуточные резонансы при остановке произойдет без известных нарастающих амплитуд колебаний (или раскачиваний, о которых говорил И. И. Быхов-

ский) и без срывов амплитуды, связанных с ударными явлениями, вызывающими разрушение отдельных узлов и элементов машины (особенно подшипниковых узлов).

Распространенным является мнение о том, что вибрации отрицательно сказываются на долговечности подшипников. На наш взгляд, это ошибочное мнение. Работа подшипников дебалансного вала отличается от работы подшипника, с помощью которого колеса тележки связаны с осью тем, что в первом случае вращающаяся центробежная сила инерции дебаланса приложена к фиксированному участку внутреннего кольца подшипника, а во втором случае сила тяжести приложена к фиксированному участку внешнего кольца подшипника. Наши исследования убедительно показывают: износ подшипников вибровозбудителя происходит не от воздействия вибрации, а от ударных явлений при пуске и остановке двигателя привода. Износ этих подшипников за один переход через промежуточные резонансы туда и обратно такой же, как при работе в установившемся режиме в течение 100–120 часов.

После входа приводного двигателя в режим производится управление подвижными дебалансами, и их статический момент может изменяться по любому закону от нуля до заданного значения. Вместе с этим изменяется и амплитуда колебаний. С увеличением статического момента дебалансов снижается угловая скорость вращения дебалансного вала. При этом величина падения угловой скорости зависит от мощности приводного двигателя, от вида и свойств обрабатываемой среды, от величины статического момента дебалансов и величины угловой скорости. Следовательно, переходные режимы работы вибрационной машины являются довольно сложными динамическими процессами.

Наличие переходных нестационарных режимов, которыми можно управлять, выступает основной особенностью управляемых вибрационных машин. Как показали исследования, такие режимы положительно сказываются на результатах виброобработки. Так, при уплотнении бетонных смесей с помощью нестационарных режимов удастся повысить их прочность по сравнению с прочностью при уплотнении на обычных режимах на 30–40 % [4]. Еще более убедительные результаты получены при уплотнении легких бетонов с одновременным использованием нестационарных режимов и безынерционного пригруза [5]. Повышение прочности при этом составило от 40 до 70 %.

Высокая эффективность вибромашин достигнута при финишной обработке металлических деталей в среде свободного абразива. Для предприятий электронной промышленности были разработаны и изготовлены шестиконтейнерные вибрационные станки (рисунок 3). Их использование на ряде заводов в Москве, Киеве, Саратове, Ростове, Полтаве позволило существенно повысить производительность труда, снизить время обработки. Один такой станок заменяет труд 5–7 человек и позволяет одновременно обрабатывать различные детали при разных технологических режимах.

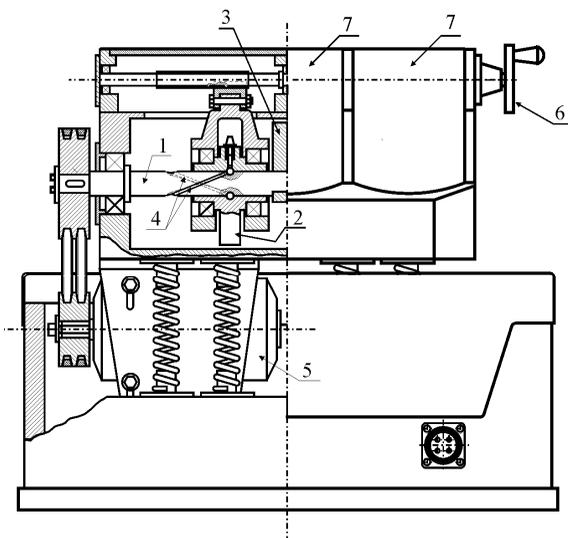


Рисунок 3 – Управляемый вибрационный станок:  
 1 – дебалансный вал; 2 – подвижный небаланс; 3 – неподвижный небаланс;  
 4 – винтовые канавки; 5 – приводной электродвигатель;  
 6 – маховик управления подвижными дебалансами; 7 – рабочие емкости

Все вышесказанное дает возможность утверждать, что управляемые вибрационные машины, позволяющие в несколько раз снизить мощность приводных двигателей, в несколько раз увеличить долговечность отдельных элементов, узлов и машины в целом, существенно повысить прочность бетонных и железобетонных изделий или сократить время виброобработки других сред, представляют собой качественно новые образцы вибрационных машин и являются новым поколением вибрационной техники.

Замена существующих вибрационных машин управляемыми или их модернизация путем установки управляемых вибровозбудителей обеспечит значительное сокращение энергоемкости выпускаемой продукции, повысит ее физико-механические качества и снизит себестоимость.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Быховский, И. И.** Прогресс вибрационной техники и задачи научных исследований / И. И. Быховский // Вибрационная техника : Материалы научно-технической конференции. – М. : НИИинфрастройдоркоммунмаш, 1966. – С. 5–11.
- 2 **Сердюк, Л. И.** Управляемые вибровозбудители – основа повышения эффективности вибрационных машин / Л. И. Сердюк // Строит. и дор. машины – М. – 1987. – № 12. — С. 21–22.
- 3 **Сердюк, Л. И.** К вопросу о выборе математической модели вибро-машины / Л. И. Сердюк // Теория механизмов и машин. – Вып. 45. – Харьков, 1988. – С. 70–75.

4 Сердюк, Л. И. Оптимизация нестационарных режимов виброуплотнения бетона / Л. И. Сердюк, А. Н. Черевко // Пути повышения эффективности строительства : тематич. сб. науч. тр. – Киев : ІСДО, 1993. – С. 173–182.

5 Сердюк, Л. И. Управляемая вибрационная установка для изготовления легкобетонных изделий / Л. И. Сердюк, Ю. О. Давыденко // Вибрации в технике и технологиях : тр. III междунар. науч.-техн. конф. – Евпатория, 1998. – С. 230–233.

*L. I. SERDJUK*

### **CONTROLLED SHAKE-OUT MACHINES, THEIR ADVANTAGES IN COMPARISON WITH ORDINARY ONES**

Technological shake-out machines with controlled unbalance vibration exciters have been created. Start-Stop of such exciters is carried out in the balanced condition that excludes the transition through interim resonances, the power of driving engines decreases dramatically. Singularity of such machines is the ability to use of non-stationary vibromachining conditions that leads to machine productivity improvement.

Получено 26.05.2008

**ISBN 978-985-468-565-6. Механика. Научные исследования  
и учебно-методические разработки. Вып. 3. Гомель, 2009**

---

УДК 621.01

*Л. И. СЕРДЮК, С. С. ПЕСКОВОЙ*

*Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ КАЧЕНИЮ В ПОДШИПНИКАХ ДЕБАЛАНСНОГО ВАЛА ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН**

Предложен подход к определению сопротивления качению в подшипниках дебалансного вала вибрационной машины. Представлены некоторые результаты использования данного подхода.

Развитие машиностроительной отрасли обуславливает широкое использование в узлах машин подшипников качения. При конструировании новых и модернизации существующих машин и оборудования чрезвычайно важным вопросом является подбор подшипников качения с оптимальными параметрами. Для выбора подшипников используют различные методики расчета, но во всех случаях необходимо обеспечить определенный расчетный срок безребойной работы того или иного строительного оборудования. Для этого необходимо как можно точнее учесть все физические факторы, которые дейст-