

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ БЛОКА УПРАВЛЯЕМЫХ ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЕЙ ПО ГЕНЕРИРОВАНИЮ ВИБРАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Обговорюються питання, пов'язані з оцінюванням динамічних можливостей вібраційних машин із керованими тридебалансними вібробуджувачами за допомогою теорії приведення системи сил до найпростішого вигляду.

Ключові слова: динамічні можливості, вібраційна машина, керовані вібробуджувачі, дебаланс, теорія приведення, система сил, найпростіший вигляд.

Обсуждаются вопросы, связанные с оценением динамических возможностей вибрационных машин с управляемыми трехдебалансными вибровозбудителями с помощью теории приведения системы сил к простейшему виду.

Ключевые слова: динамические возможности, вибрационная машина, управляемые вибровозбудители, дебаланс, теория приведения, система сил, простейший вид.

The problems, bound with an estimation of dynamic capabilities of vibrational machines with controllabe unbalanced masses with the help of theory reduction system forces of simple form.

Key words: dynamic capabilities, vibrational machines, controllabe unbalanced masses, theory reduction, system forces, simple form.

Постановка проблеми. При соединении двух дебалансных вибровозбудителей в один блок существенно расширяются возможности вибрационной технологической машины. Исследование возможностей генератора колебаний, состоящего из двух трехдебалансных вибровозбудителей, является важной задачей, актуальность которой возрастает в связи с универсальностью привода технологической машины.

Анализ последних исследований и публикаций. Широкое применение вибрационной техники и технологии дает возможность интенсифицировать большое количество технологических процессов, повысить качество работ, создать новые технологии, которые основываются на вибрационных эффектах [1, 2]. Академик К.В. Фролов утверждает, что вибрационная технология является основой технологий будущего [3]. Достижения вибрационной техники, которые базируются на фундаментальных исследованиях теории нелинейных колебаний, отражены в работах П.М. Алабужева, И.И. Блехмана, И.И. Быховского, А.П. Бабичева, Я.Г. Пановко, В.О. Кононенко, Б.И. Крюкова, И.Ф. Гончаревича, Э.Э. Лавендела, В.М. Потураева, К.М. Рагульскаса, Л.И. Сердюка, А.П. Филипова, К.В. Фролова, В.М. Челомея, их коллег и учеников [4 – 7].

Не решенные ранее части общей проблемы, которым посвящена статья. Управляемые технологические вибромашин, которые появились в последнее время, имеют необыкновенные сочетания полезных свойств и дают возможность использовать вибротехнику там, где еще совсем недавно это считалось нецелесообразным и малоперспективным. Объединение одновальных трехдебалансных вибровозбудителей в единый блок приводит к существенному расширению спектра генерированных вибрационных полей переменной структуры.

Цель работы – исследование возможностей блока трехдебалансных вибровозбудителей по синтезу управляемых нестационарных силовых полей.

Изложение основного материала. Существует ряд технологических процессов, в которых решающую роль играют вибрационные машины. Очень часто в качестве привода такой машины используется дебалансный вибровозбудитель. Он сравнительно дешевый, прост в изготовлении и обслуживании. Вместе с тем дебалансный вибровозбудитель имеет и ряд существенных недостатков. Наиболее значимыми являются высокая энергоемкость и невысокая надежность этих устройств.

Рационально подобранные рабочие параметры этих механизмов существенно влияют на производительность и качество выпускаемой продукции. Практически все обрабатываемые материалы изменяют свои свойства в процессе обработки, поэтому количество энергии, подводимой к ним, чтобы она расходовалась рационально, должно изменяться в процессе работы вибрационной машины. Например, для эффективного уплотнения бетонной смеси необходима нестационарная энергия вибрационного поля, используемая для переукладки зерен крупного заполнителя в течение всего периода воздействия. В этом случае получается бетон более плотной структуры за меньшее время уплотнения.

Известны различные модификации вибрационного оборудования, где используются высоко- и среднечастотные режимы: симметричные с вертикальными и горизонтальными колебаниями, а также асимметричные низкочастотные. Применение в производстве любого из указанных методов обусловлено технологическими факторами, которые непосредственно влияют на качество изделия, однако для высокоэффективного воздействия необходимы низкочастотные колебания переменной амплитуды.

Управляемые вибрационные машины представляют собой качественно новое поколение вибрационной техники. Они позволяют осуществлять технологический процесс с переменными параметрами колебаний рабочего органа. Амплитуду и частоту колебаний можно изменять независимо друг от друга практически по любому закону. Поэтому главной особенностью управляемой вибрационной машины является возможность воздействовать на обрабатываемую среду переменным (нестационарным) вибрационным силовым полем.

Рассмотрим работу вибрационного блока, состоящего из двух трехдебалансных вибровозбудителей.

В рассматриваемой ниже схеме вибровозбудители синхронизируются с вращением в противоположные стороны. Расчетная схема (рис. 1) учитывает возможность установки первоначального угла сдвига фаз φ_0 . Разворот двух подвижных дебалансов производится по часовой стрелке, а остальных – против, если смотреть навстречу оси x .

Для определения возможностей блока вибровозбудителей приведем систему сил инерции к простейшему виду.

Определим главный вектор сил инерции \bar{F}_O

$$\bar{F}_O = F_x \bar{i} + F_y \bar{j} + F_z \bar{k}.$$

Проекции главного вектора на оси координат вычисляются по следующим формулам:

$$F_x = \sum F_{ix}; F_y = \sum F_{iy}; F_z = \sum F_{iz} \cdot \sum F_{ix} = 0;$$

$$\sum F_{iy} = \frac{\Phi_l}{2} \sin(\varphi_0 + \varphi - \theta) - \Phi_1 \sin(\varphi_0 + \varphi) + \Phi_1 \sin \varphi + \frac{\Phi_l}{2} \sin(\varphi + \varphi_0 + \theta) -$$

$$- \frac{\Phi_l}{2} \sin(\varphi + \theta) - \frac{\Phi_l}{2} \sin(\varphi - \theta) = -4\Phi_1 \cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) \sin \frac{\varphi_0}{2} \sin^2 \frac{\theta}{2};$$

$$\sum F_{iz} = -\frac{\Phi_l}{2} \cos(\varphi_0 + \varphi - \theta) + \Phi_l \cos(\varphi_0 + \varphi) + \Phi_l \cos \varphi - \frac{\Phi_l}{2} \cos(\varphi + \varphi_0 + \theta) -$$

$$-\frac{\Phi_l}{2} \cos(\varphi + \theta) - \frac{\Phi_l}{2} \cos(\varphi - \theta) = 4\Phi_l \cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) \cos \frac{\varphi_0}{2} \sin^2 \frac{\theta}{2};$$

$$F_O = \sqrt{(\sum F_{ix})^2 + (\sum F_{iy})^2 + (\sum F_{iz})^2}.$$

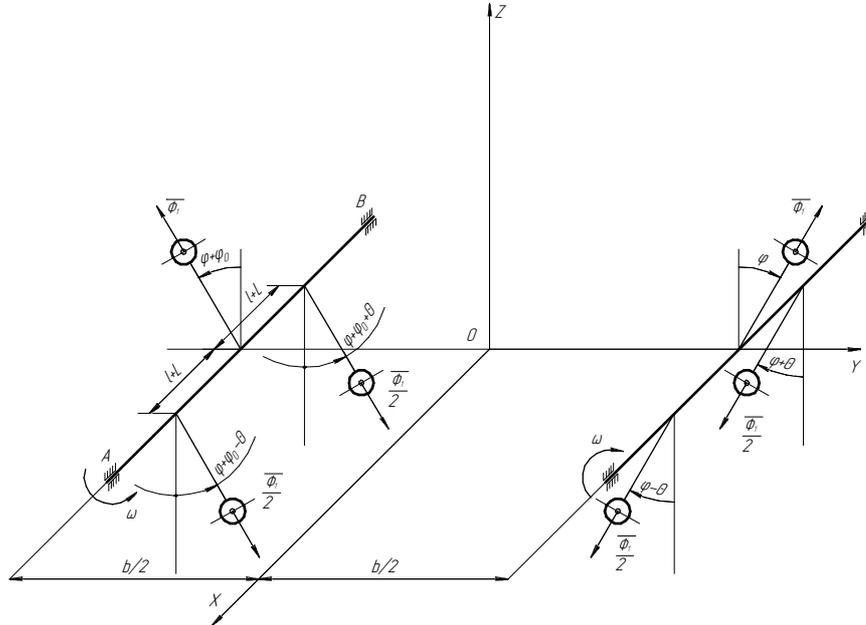


Рисунок 1 – Расчетная схема блока управляемых вибровозбудителей

$$F_O = \left(\left(-4\Phi_l \cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) \sin \frac{\varphi_0}{2} \sin^2 \frac{\theta}{2} \right)^2 + \left(4\Phi_l \cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) \cos \frac{\varphi_0}{2} \sin^2 \frac{\theta}{2} \right)^2 \right)^{1/2} =$$

$$= 4\Phi_l \sin^2 \frac{\theta}{2} \cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right).$$

Определим главный момент сил инерции \bar{M}_O .

$$\bar{M}_O = M_x \bar{i} + M_y \bar{j} + M_z \bar{k},$$

где $M_x = \sum M_{ix}; \quad M_y = \sum M_{iy}; \quad M_z = \sum M_{iz}.$

$$\sum M_{ix} = \Phi_l \frac{b}{4} \cos(\varphi + \varphi_0 - \theta) - \Phi_l \frac{b}{2} \cos(\varphi + \varphi_0) + \Phi_l \frac{b}{4} \cos(\varphi + \varphi_0 + \theta) -$$

$$- \Phi_l \frac{b}{4} \cos(\varphi + \theta) + \Phi_l \frac{b}{2} \cos \varphi - \Phi_l \frac{b}{4} \cos(\varphi - \theta) = 2\Phi_l b \sin\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) \sin \frac{\varphi_0}{2} \sin^2 \frac{\theta}{2};$$

$$\sum M_{iy} = \frac{\Phi_l}{2} (l+L) \cos(\varphi + \varphi_0 - \theta) - \frac{\Phi_l}{2} (l+L) \cos(\varphi + \varphi_0 + \theta) + \frac{\Phi_l}{2} (l+L) \times$$

$$\times \cos(\varphi - \theta) - \frac{\Phi_l}{2} (l+L) \cos(\varphi + \theta) = 2\Phi_l (l+L) \sin \theta \cdot \sin\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) \cos \frac{\varphi_0}{2};$$

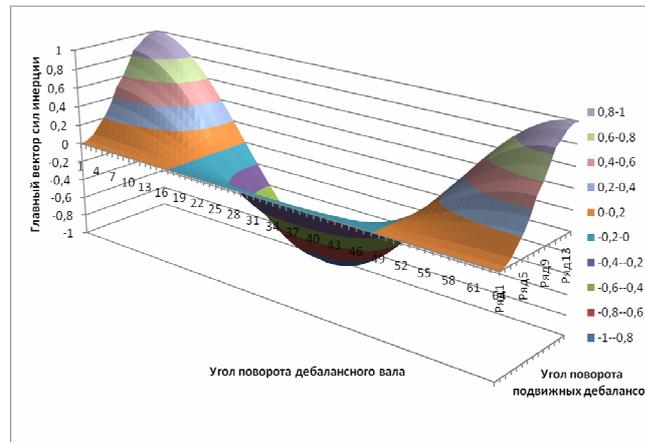


Рисунок 2 – Изменение главного вектора сил инерции

$$\sum M_{iz} = \frac{\Phi_l}{2}(l+L)\sin(\varphi + \varphi_0 - \theta) - \frac{\Phi_l}{2}(l+L)\sin(\varphi + \varphi_0 + \theta) + \frac{\Phi_l}{2}(l+L) \times$$

$$\times \sin(\varphi + \theta) - \frac{\Phi_l}{2}(l+L)\sin(\varphi - \theta) = 2\Phi_l(l+L)\sin\theta \sin\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) \sin\frac{\varphi_0}{2};$$

$$M_o = 2\Phi_l \sin\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) \sin\frac{\theta}{2} \left(\left(b \sin\frac{\varphi_0}{2} \sin\frac{\theta}{2} \right)^2 + 4(l+L)^2 \cos^2\frac{\theta}{2} \right)^{1/2}.$$

Определим наименьший главный момент системы сил инерции

$$M_g = \frac{M_x F_x + M_y F_y + M_z F_z}{F_A}.$$

$$M_g = \frac{-8\Phi_l^2(l+L)\cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right)\sin\theta \sin^2\frac{\theta}{2} \sin\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right)\cos\frac{\varphi_0}{2} \sin\frac{\varphi_0}{2}(-1+1)}{4\Phi_l \sin^2\frac{\theta}{2} \cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right)} = 0.$$

Таким образом, система сил не приводится к динамическому винту.

Так как $F_o = 4\Phi_l \sin^2\frac{\theta}{2} \cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right)$

и $M_o = 2\Phi_l \sin\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) \sin\frac{\theta}{2} \left(\left(b \sin\frac{\varphi_0}{2} \sin\frac{\theta}{2} \right)^2 + 4(l+L)^2 \cos^2\frac{\theta}{2} \right)^{1/2}$,

возможны следующие варианты приведения системы сил:

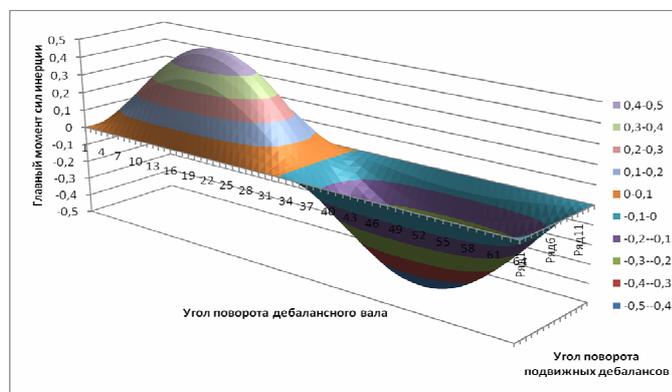


Рисунок 3 – Изменение главного момента сил инерции

1. Пусть $F_o = 4\Phi_l \sin^2\frac{\theta}{2} \cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) \neq 0$, а

$$M_o = 2\Phi_1 \sin\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) \sin \frac{\theta}{2} \left(\left(b \sin \frac{\varphi_0}{2} \sin \frac{\theta}{2} \right)^2 + 4(l+L)^2 \cos^2 \frac{\theta}{2} \right)^{1/2} = 0.$$

В этом случае система сил приводится к равнодействующей в старом центре приведения О. Такой вариант возможен в случае, когда:

$$а) \quad \sin\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) = 0; \quad \varphi + \frac{\varphi_0}{2} = 0 + n\pi,$$

тогда $F_o = 4\Phi_1 \sin^2 \frac{\theta}{2}$ (рис. 4);

$$б) \quad \left(\left(b \sin \frac{\varphi_0}{2} \sin \frac{\theta}{2} \right)^2 + 4(l+L)^2 \cos^2 \frac{\theta}{2} \right)^{1/2} = 0.$$

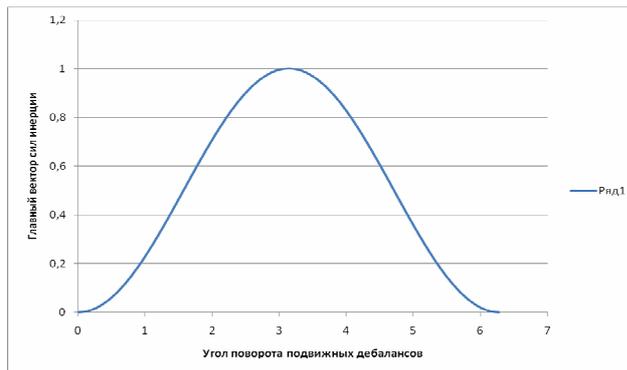


Рисунок 4 – Изменение главного вектора сил инерции

Отсюда следует, что

$$\begin{cases} b \sin \frac{\varphi_0}{2} \sin \frac{\theta}{2} = 0; & \begin{cases} \sin \frac{\varphi_0}{2} \sin \frac{\theta}{2} = 0; \\ \cos \frac{\theta}{2} = 0. \end{cases} \\ 4(l+L)^2 \cos^2 \frac{\theta}{2} = 0; & \end{cases}$$

Система уравнений выполняется в случае

$$\begin{cases} \sin \frac{\varphi_0}{2} = 0; & \begin{cases} \frac{\varphi_0}{2} = 0 + n\pi; \\ \frac{\theta}{2} = \frac{\pi}{2} + n\pi, \end{cases} \\ \cos \frac{\theta}{2} = 0; & \end{cases}$$

тогда $F_o = 4\Phi_1 \cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right)$ (рис. 5).

2. Пускай $F_o = 4\Phi_1 \sin^2 \frac{\theta}{2} \cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) \neq 0$ и

$$M_o = 2\Phi_1 \sin\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) \sin \frac{\theta}{2} \left(\left(b \sin \frac{\varphi_0}{2} \sin \frac{\theta}{2} \right)^2 + 4(l+L)^2 \cos^2 \frac{\theta}{2} \right)^{1/2} \neq 0.$$

В этом случае система сил приводится к равнодействующей в новом центре приведения. Определим уравнение линии действия равнодействующей

$$M_x - (yF_z - zF_y) = 0; \quad \frac{b}{2} \operatorname{tg}\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) \sin \frac{\varphi_0}{2} = y \cos \frac{\varphi_0}{2} + z \sin \frac{\varphi_0}{2}.$$

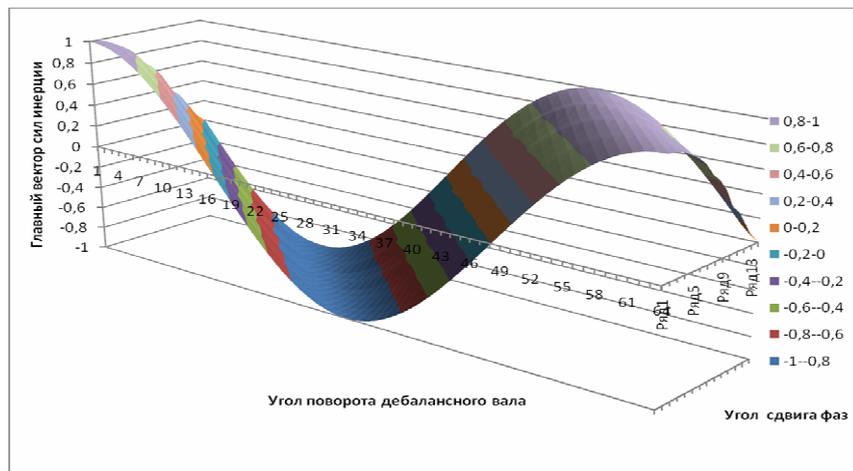


Рисунок 5 – Изменение главного вектора сил инерции

$$M_y - (zF_x - xF_z) = 0; \quad x = -(l + L) \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} \operatorname{tg} \left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2} \right).$$

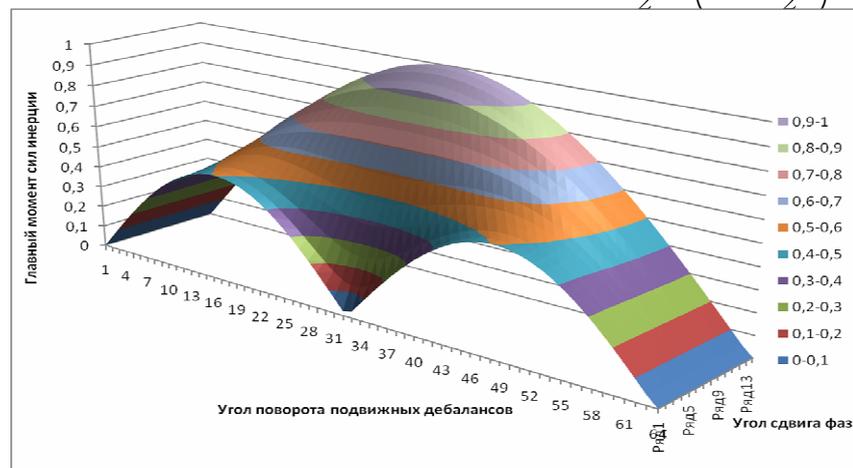


Рисунок 6 – Изменение главного момента пар сил инерции

3. Пускай $F_o = 4\Phi_1 \sin^2 \frac{\theta}{2} \cos \left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2} \right) = 0$, а

$$M_o = 2\Phi_1 \sin \left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2} \right) \sin \frac{\theta}{2} \left(\left(b \sin \frac{\varphi_0}{2} \sin \frac{\theta}{2} \right)^2 + 4(l + L)^2 \cos^2 \frac{\theta}{2} \right)^{1/2} \neq 0.$$

В этом случае система сил приводится к паре сил с моментом

$$M_o = 2\Phi_1 \sin \frac{\theta}{2} \left(\left(b \sin \frac{\varphi_0}{2} \sin \frac{\theta}{2} \right)^2 + 4(l + L)^2 \cos^2 \frac{\theta}{2} \right)^{1/2}.$$

Выводы. При изменении угла поворота θ подвижных дебалансов в пределах от 0 до π блок управляемых дебалансных вибровозбудителей генерирует всевозможные вибрационные поля, кроме винтового.

Литература

1. Сердюк Л.И. Основы теории, расчет и конструирование управляемых вибрационных машин с дебалансными возбудителями: автореф. дис. докт. техн. наук / Л.И. Сердюк; ХПИ. – Харьков, 1991. – 48 с.
2. Блехман И.И. Что может вибрация? О «вибрационной механике» и вибрационной технике / И.И. Блехман. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
3. Диминтберг Ф.М. Вибрация в технике и человек / Ф.М. Диминтберг, К.В. Фролов. – М.: Знание, 1987. – 160 с.
4. Вибрации в технике: справочник. В 6-ти т. / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1981. – Т.4. Вибрационные процессы и машины / под ред. Э.Э. Лавендела, 1981. – 509 с.
5. Гончаревич И.Ф. Теория вибрационной техники и технологии. / И.Ф. Гончаревич,

К.В. Фролов. – М.: Наука, 1981. – 320 с.

6. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний / Я.Г. Пановко. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

7. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов-н/Д.: ДГТУ, 1999. – 620 с.

Надійшла до редакції 28.04. 2010

© А.Н. Черевко, П.А. Черевко