

МЧБ/122

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени Государственный
технический университет им. Н.Э. Баумана

На правах рукописи

ДЖАКАШОВ Аширбек Тулембаевич

УДК 621. 01

САМОСИНХРОНИЗАЦИЯ ВИБРАЦИОННЫХ
МАШИН РЕЗОНАНСНОГО ТИПА

05.02.18 – Теория механизмов и машин

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 1990

Работа выполнена в Московском ордена Ленина,
ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного
Знамени государственном техническом университете им.Н.Э.
Баумана

Научный руководитель

- Лауреат Государственной пре-
мии СССР, доктор физико-мате-
матических наук, профессор
Крюков Б.И.

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук,
профессор Петров Л.Ф.

- доктор технических наук
Алифов А.А.

Ведущая организация:

- НИИЖБ /г. Москва/

11.04 1990г. ВН³⁰ ч.

053.15.11 по присуж-
денным наук в Московском
им. Н.Э. Баумана по
ул. 5.

ных печатью ,просим
ресу.

Библиотеке МГТУ им.

1990 г.

П.К. Попов

М 481122

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современное машиностроение в качестве первоочередных задач выдвигает проблему повышения производительности технологических машин и оборудования при одновременном снижении их удельной металло- и энергоемкости.

К числу перспективных направлений решения этой многоплановой проблемы относятся использование в различных отраслях народного хозяйства вибрационной технологии, позволяющей значительно интенсифицировать ряд процессов.

Успешное внедрение вибрационной технологии невозможно без создания высокоэффективных, надежных в эксплуатации вибрационных машин и устройств. Расширение возможностей вибромашин в ряде случаев связано с использованием явления самосинхронизации, позволяющего усовершенствовать существующие и создать некоторые принципиально новые вибрационные устройства.

Эффект самосинхронизации в технике традиционно используется для синхронизации работы вибровозбудителей, установленных на одном рабочем органе, за счет динамических свойств самой системы. Наряду с этим в вибрационной технике существует еще одна широкая область технического применения эффекта самосинхронизации. Речь идет о возможности соединения отдельных резонансных вибромашин в единую систему, совершающую периодические колебания. Такая задача оказывается чрезвычайно актуальной при создании тяжелых резонансных вибромашин технологического назначения. При ее положительном решении появляется возможность быстрого изменения и, в частности, увеличения размеров рабочих органов резонансных вибрационных машин, а также перехода к их секционированию.

Таким образом, учитывая широкое распространение и дальнейшую перспективу развития вибрационных резонансных машин, проблема совершенствования их конструкции с применением эффекта самосинхронизации является актуальной задачей.

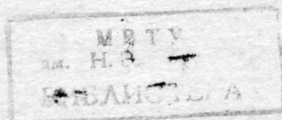
Целью настоящей работы является изыскание новых возможностей использования эффекта самосинхронизации в вибрационных машинах технологического назначения для повышения эффективности их работы и перехода в ряде случаев к их секционированному исполнению.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1491122

Джакашов А.Т. Самосинхрониз



Задачи исследований:

- изучить возможность проявления эффекта самосинхронизации в системах одномассных резонансных вибромашин;
- изучить возможности усовершенствования серийных асимметричных резонансных виброплощадок для уплотнения бетонных смесей, при изготовлении длиномерных изделий за счет применения эффекта самосинхронизации;
- провести экспериментальные исследования на специально созданном лабораторном стенде и на действующих вибромашинах для проверки полученных теоретических результатов.

Методика исследования. Решение поставленных задач осуществлялось как аналитическими, так и численными методами с использованием ЭВМ. Экспериментальные исследования проведены на специально изготовленном стенде с применением быстродействующей отечественной контрольно-измерительной аппаратуры.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- показано, что эффект самосинхронизации позволяет использовать принцип секционирования при создании резонансных вибромашин;
- показана эффективность использования принципа секционирования при создании резонансных виброплощадок для уплотнения бетонных смесей со значительными размерами рабочих поверхностей;
- показано, что в существенно нелинейных системах эффект самосинхронизации устойчив и проявляется в очень широком диапазоне изменения параметров;
- разработана методика расчета основных параметров резонансной виброплощадки блочного типа.

На защиту выносятся

- результаты теоретических исследований уравнений динамики секционированных резонансных вибромашин с номинальными и кусочно-линейными упругими характеристиками;
- результаты экспериментальных исследований, проведенные на специально созданном стенде и подтвердившие справедливость теоретических выводов.

Практическая ценность работы.

Результаты проведенных исследований позволяют: рекомендовать вариант блочного исполнения резонансных асимметричных

виброплощадок для уплотнения бетонной смеси на основе эффекта самосинхронизации; отказаться от жесткой кинематической синхронизации роторов вибратора вибромашин, что приводит к повышению долговечности подшипников привода, уменьшению энергоемкости оборудования.

Реализация работы. Результаты, полученные в работе, использовались Научно-исследовательским институтом бетона и железобетона /НИИЖБ/ Госстроя СССР при разработке опытно-промышленных виброплощадок и на заводе ЖБИ КСМ " Уральскмелиорация ". Ожидаемой годовой экономический эффект составляет более 100 тыс. руб.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- Всесоюзном семинаре ИГД СО АН СССР по вибрационной технике. - Новосибирск, 1986;
- Всесоюзной конференции по нелинейным колебаниям механических систем. - Горький. 1987;
- Всесоюзной конференции по вибрационной технике. - Кобулет. - 1987;
- Научных семинариях кафедры ТММ МВТУ им Н.Э.Баумана. - 1985, 1987, 1989;
- Научно-технических конференциях Зап.Каз.СХИ. - Уральск. -1986, 1988, 1989.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы отражены в четырех научных работах.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка, включающего 143 наименования и четырех приложений. Работа изложена на 148 страницах машинописного текста, включающих 41 рисунка и 4 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы и излагаются основные положения, определяющие научно-практические значения работы.

В первой главе приведены результаты обзора работ по ис-

следованию вибрационных машин резонансного типа и использования в них особенности нелинейных колебаний, а также краткий обзор по теории и практическому исследованию синхронизации возбудителей колебаний в вибромашинах и устройствах.

Явления самосинхронизации впервые была теоретически обоснована в работах И.И. Блехмана. В последующих работах этого автора, а также Б.П. Лаврова, Р.Ф. Нагаева, К.М. Рагульскиса, К.Ш. Ходжаева, К.А. Олехновича, К.В. Фролова, М.В. Закржевского, П.М. Алабушева и других ученых изучены вопросы исследования самосинхронизации возбудителей колебаний и т.п.

Приводится теорема о свойстве частот собственных колебаний секционированных систем, имеющая узловое значение при решении поставленной задачи.

В данной теореме утверждается, что, если имеются две вибрационные машины с резонансной настройкой на одну и ту же частоту, то резонансная настройка сохраняется и после того, как эти машины будут некоторым образом объединены в одну общую систему.

Приводится экспериментальная проверка возможности самосинхронизации резонансных вибромашин, проведенная на Московском заводе ЖБИ-17 под руководством Б.И. Крикова. Следует отметить, что этому эксперименту не предшествовали никакие теоретические исследования и уверенность в их успехе базировалась на некоторых качественных представлениях о физике протекающих при этом процессах. Поставлены научные задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена изучению возможности самосинхронизации двух одномассных резонансных вибромашин с аналитическими характеристиками упругих связей. Схема рассматриваемой системы представлена на рис. 1., где принято, что m_1 ,

m_2 - массы рабочих органов, k_{10} , k_{20} - жесткости приводных упругих связей, φ_1 , φ_2 - углы поворота кривошипов, k_{12} - жесткость упругой связи, соединяющей рабочие органы, δ_1 , δ_2 - коэффициенты диссипации.

Для расчетной схемы, будем полагать, что каждый блок представляет упругую систему с одной степенью свободы.

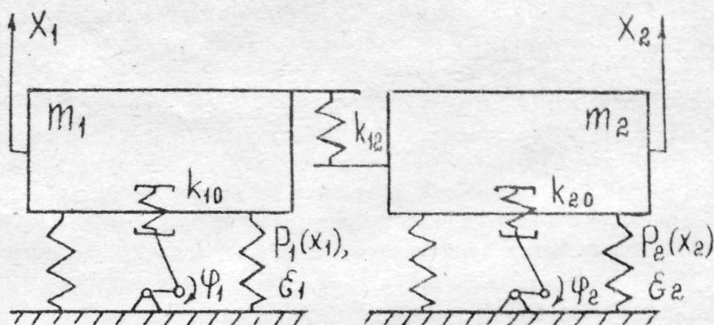


Рис.1. Расчетная схема секционированной резонансной вибромашины

При некоторых предположениях дифференциальные уравнения движения могут быть записаны в виде:

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 + \varepsilon_1 \dot{x}_1 + (k_{10} + k_1)x_1 + \beta_1 x_1^3 + k_{12}(x_1 - x_2) &= \\
 = k_{10} \rho \sin \psi_1, \\
 m_2 \ddot{x}_2 + \varepsilon_2 \dot{x}_2 + (k_{20} + k_2)x_2 + \beta_2 x_2^3 - k_{12}(x_1 - x_2) &= \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$= k_{20} \rho \sin \psi_2,$$

$$\begin{aligned}
 J_1 \ddot{\psi}_1 + g_1 \dot{\psi}_1 &= M_{10} - B_1 \dot{\psi}_1 + k_{10} \rho (x_1 - \rho \sin \psi_1) \cdot \\
 \cdot \cos \psi_1,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_2 \ddot{\psi}_2 + g_2 \dot{\psi}_2 &= M_{20} - B_2 \dot{\psi}_2 + k_{20} \rho (x_2 - \rho \sin \psi_2) \cdot \\
 \cdot \cos \psi_2
 \end{aligned}$$

где J_1, J_2 - моменты инерции, приведенные к кривошипу;
 $M_{10} - b_1 \dot{\varphi}_1, M_{20} - b_2 \dot{\varphi}_2$ - моментные характеристики двигателей в рабочей области, приведенные к кривошипам;

ρ - радиус кривошипа /эксцентриситета/.

Система уравнений /1/ является автономной. Определение параметров периодических решений таких систем существенно усложняется необходимостью уточнения на каждом этапе вычислений периода этого решения. В тоже время всегда существует возможность сведения этой задачи к построению периодического решения некоторой вспомогательной неавтономной системы, порядок которой на единицу ниже порядка исходной системы.

После преобразований система уравнений /1/ примет вид:

$$m_1 \left(\omega_1^2 \frac{d^2 x_1}{d \varphi_1^2} + \omega_1 \frac{dx_1}{d \varphi_1} \frac{d \omega_1}{d \varphi_1} \right) + c_1 \omega_1 \frac{dx_1}{d \varphi_1} +$$

$$+ (k_{10} + k_1) x_1 + \beta_1 x_1^3 + k_{12} (x_1 - x_2) = k_{10} \rho \sin \varphi_1,$$

$$m_2 \left(\omega_1^2 \frac{d^2 x_2}{d \varphi_1^2} + \omega_1 \frac{dx_2}{d \varphi_1} \frac{d \omega_1}{d \varphi_1} \right) + c_2 \omega_1 \frac{dx_2}{d \varphi_1} +$$

$$+ (k_{20} + k_2) x_2 + \beta_2 x_2^3 - k_{12} (x_1 - x_2) = k_{20} \rho \sin \varphi_2,$$

$$J_1 \omega_1 \frac{d \omega_1}{d \varphi_1} + g_1 \omega_1 = M_{10} - b_1 \omega_1 + k_{10} \rho (x_1 - \rho \sin \varphi_1) \cos \varphi_1,$$

$$J_2 \left(\omega_1^2 \frac{d^2 \varphi_2}{d \varphi_1^2} + \omega_1 \frac{d \varphi_2}{d \varphi_1} \frac{d \omega}{d \varphi_1} \right) + g_2 \omega_1 \frac{d \varphi_2}{d \varphi_1} =$$

$$= M_{20} - b_2 \omega_1 \frac{d \varphi_2}{d \varphi_1} + k_{12} p (x_2 - p \sin \varphi_2) \cos \varphi_2,$$

где $\omega_1 = \frac{d \varphi_1}{d t}$

Основные особенности поведения такой системы могут быть установлены при анализе приближенных решений сравнительно низких порядков. Будем в первом приближении искать периодическое решение (2) в виде

$$x_1 = A \cos \varphi_1 + B \sin \varphi_1 = H_1 \cos(\varphi_1 - \delta_1),$$

$$x_2 = C \cos \varphi_1 + D \sin \varphi_1 = H_2 \cos(\varphi_1 - \delta_2),$$

$$\omega_1 = \omega_0 = \text{const}, \quad \varphi_2 = \varphi_1 + \alpha$$
(3)

где α - угол фазового сдвига, а $H_1 = \sqrt{A^2 + B^2}$,
 $H_2 = \sqrt{C^2 + D^2}$

Определение параметров приближенного решения будем производить на основе метода Галеркина - Буснова. Условия гармонического баланса приводят к системе нелинейной алгебраических уравнений.

Решения этих уравнений позволяют определить основные параметры процесса колебания в первом приближении. Если система уравнений (2) обладает действительными решениями, то это свидетельствует о принципиальной возможности существования в системе эффекта самосинхронизации

Решение системы алгебраических уравнений проводилось на ЭВМ.

Поскольку существовала проблема оценки приемлемости представлений приближенных решений в виде /3/, осуществлялось также прямое интегрирование исходной системы дифференциальных уравнений с выходом решений на режим установившегося решения. При этом интегрирование производилось методом Рунге-Кутты.

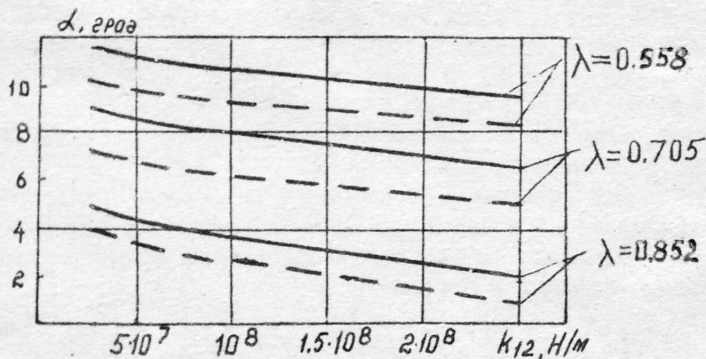


Рис.2. Зависимость угла сдвига фаз α от жесткости k_{12} при различных значениях λ . — — — результаты приближ. решения, - - - - результаты прямого интегрирования.

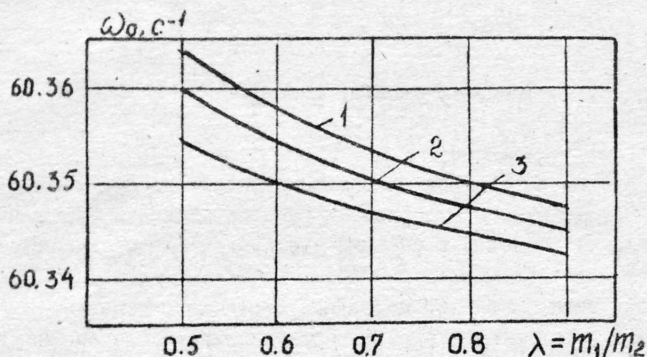


Рис.3. Зависимость рабочей частоты ω_0 от $\lambda = m_1/m_2$ при различных значениях k_{12} : 1- $k_{12} = 0,5 \cdot 10^8$ Н/м, 2- $k_{12} = 10^8$ Н/м, 3- $k_{12} = 1,5 \cdot 10^8$ Н/м

Результаты расчетов, проведенных на основе приближенных соотношений и прямого интегрирования исходной системы дифференциальных уравнений, показали хорошее совпадение. При расчетах, значения некоторых параметров варьировались. Это осуществлялось с целью оценки возможностей захватывания системы в режим самосинхронизации при изменении параметров. Варьирование значения k_{12} связано с тем, что при составлении уравнений движения предполагалось, что устанавливаемая на рабочие органы форма /с технологической нагрузкой или без нее/ не обеспечивает их в одно абсолютно твердое тело. В связи с этим в математическую модель была введена упругая связь с жесткостью k_{12} , которая может принимать любое значение, учитывая практическую невозможность ее контроля.

Отметим, что при всех рассмотренных значениях параметров система выходила на периодический режим колебаний.

Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением соединяющей жесткости k_{12} имеет место уменьшение угла сдвига фаз α /рис.2/. В пределе при переходе к абсолютно жесткому соединению масс m_1 и m_2 режим работы вибровозбудителей стремится к синфазному. Это факт следует учитывать при практическом использовании эффекта самосинхронизации в резонансных машинах, особенно в тяжелых машинах технологического назначения.

Графики представленные на рис.3, показывают, что средняя угловая скорость вращения кривошипов в установившемся движении сравнительно мало изменяется при изменении массы m_1 . Общее увеличение масс рабочих органов приводит к небольшому снижению скорости ω_0 . При вычислениях было установлено, что жесткость k_{12} практически не влияет на среднюю угловую скорость вращения кривошипов.

Проведенное исследование показывает, что резонансные одно-массные вибромашины при объединении их в единую систему сравнительно легко входят в режим самосинхронизации.

Третья глава посвящена исследованию самосинхронизации резонансных асимметричных виброплощадок. Схема рассматриваемой системы представлена на рис.4.

Каждый блок представляет собой упругую систему двумя степенями свободы. Упругие характеристики основных упругих связей будем описывать соотношениями вида:

$$P_i(z_i) = \begin{cases} k_i z_i, & z_i \geq -e_i \\ (k_i + k_6) z_i + k_6 e_i, & z_i \leq -e_i \end{cases}$$

где $(i=1,2)$, $z_1 = x_1 - x_3$, $z_2 = x_2 - x_4$.

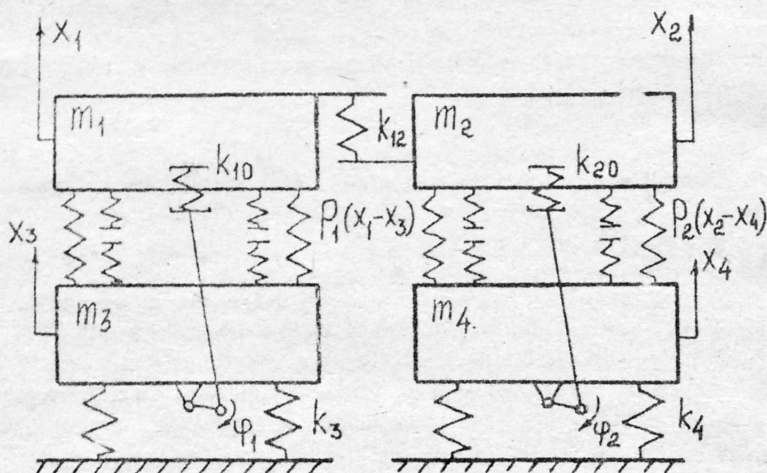


Рис.4. Расчетная схема секционированной резонансной асимметричной виброплощадки.

Рассеяние энергии в основных упругих связях будем предполагать подчиняющимся гипотезе вязкого трения Кельвина - Фойгта и описывается соотношениями вида:

$$f_i(z_i) = \begin{cases} \mu k_i, & z_i \geq -e_i \\ \mu (k_i + k_6), & z_i \leq -e_i \end{cases}$$

Тогда с учетом некоторых предположений дифференциальные уравнения движения системы могут быть записаны в виде:

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 + f_1(x_1 - x_3)(\dot{x}_1 - \dot{x}_3) + P_1(x_1 - x_3) + k_{10}(x_1 - x_3) + \\
 + k_{12}(x_1 - x_2) = k_{10}\rho \sin \varphi_1, \\
 m_2 \ddot{x}_2 + f_2(x_2 - x_4)(\dot{x}_2 - \dot{x}_4) + P_2(x_2 - x_4) + k_{20}(x_2 - x_4) - \\
 - k_{12}(x_1 - x_2) = k_{20}\rho \sin \varphi_2, \\
 m_3 \ddot{x}_3 - f_1(x_1 - x_3)(\dot{x}_1 - \dot{x}_3) - P_1(x_1 - x_3) - k_{10}(x_1 - x_3) + \\
 + k_3 x_3 = -k_{10}\rho \sin \varphi_1, \\
 m_4 \ddot{x}_4 - f_2(x_2 - x_4)(\dot{x}_2 - \dot{x}_4) - P_2(x_2 - x_4) - k_{20}(x_2 - x_4) + \\
 + k_4 x_4 = -k_{20}\rho \sin \varphi_2, \\
 J_1 \ddot{\varphi}_1 + g_1 \dot{\varphi}_1 = M_{10} - b_1 \dot{\varphi}_1 + k_{10}\rho(x_1 - x_3 - \rho \sin \varphi_1) \cos \varphi_1, \\
 J_2 \ddot{\varphi}_2 + g_2 \dot{\varphi}_2 = M_{20} - b_2 \dot{\varphi}_2 + k_{20}\rho(x_2 - x_4 - \rho \sin \varphi_2) \cos \varphi_2,
 \end{aligned} \tag{4}$$

где m_1, m_2 — массы рабочих органов; m_3, m_4 — массы уравнивающих рам; x_1, x_2, x_3, x_4 — перемещения масс m_1, m_2, m_3, m_4 ; $g_1 \dot{\varphi}_1, g_2 \dot{\varphi}_2$ — моменты сил сопротивления вращению кривошипа; k_3, k_4 — жесткости опорных амортизаторов под уравнивающими рамами; μ — коэффициент внутренних сопротивлений в резиновых амортизаторах; e_1, e_2 — величины зазоров в буферах; k_B — жесткость буферов. Остальные параметры как и в 2 главе.

Система уравнений /4/ является автономной. Как и в второй главе, систему преобразуем к неавтономному виду.

Решение новой системы в первом приближении ищем в виде:

$$x_1 = d_1 + A \cos \varphi_1 + B \sin \varphi_1 = d_1 + H_1 \cos(\varphi_1 + \delta_1),$$

$$x_2 = d_2 + C \cos \varphi_1 + D \sin \varphi_1 = d_2 + H_2 \cos(\varphi_1 + \delta_2),$$

$$x_3 = \theta_{13} x_1, \quad x_4 = \theta_{24} x_2,$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \alpha, \quad \omega_1 = \omega_0 = \text{const},$$

где d_1, d_2 - смещения центров колебаний рабочих органов, относительно положений статического равновесия; θ_{13}, θ_{24} - коэффициенты распределения амплитуд по основной гармонике.

Решение неавтономной системы дифференциальных уравнений определялось с помощью метода Галеркина. Для более удобного использования указанного метода были проведены некоторые преобразования. Условия гармонического баланса приводят к системе трансцендентных уравнений.

Решение системы уравнений проводилось на ЭВМ.

Значения некоторых параметров варьировались с целью оценки возможностей захватывания системы в режим самосинхронизации при изменяющихся параметрах. Отметим, что во всем рассмотренном диапазоне изменения параметров система выходила на периодический режим колебаний. Это свидетельствует о достаточно ярком проявлении эффекта самосинхронизации и реальной возможности его практического использования.

Анализ полученных результатов показывает, что самосинхронизация достигается при изменении соотношения ($\lambda = m_1/m_2$) масс рабочих органов, включающих технологическую нагрузку. в достаточно широких пределах /Рис. 5/. При этом значения амплитуд колебаний H_1 и H_2 оказываются достаточно близкими друг другу. Сближение этих значений происходит с ростом жесткости k_{12} .

С ростом жесткости k_{12} отмечалось также и уменьшение угла сдвига фаз α / расфазировка системы / /Рис. 6/. Уменьшение диссипативности упругих элементов тоже приводит к уменьшению значений угла α . При исследовании было установлено, что расфазировка системы уменьшалась с увеличением

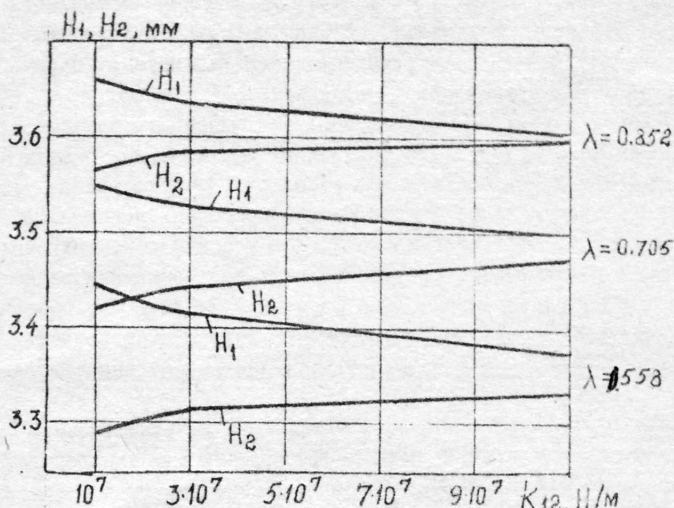


Рис. 5. Зависимость амплитуд H_1, H_2 от жесткости k_{12} для различных значений λ : 1- $\lambda = 0.852$, 2- $\lambda = 0.705$, 3- $\lambda = 0.558$

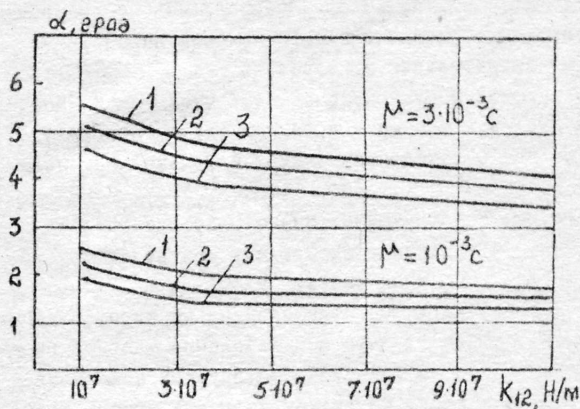


Рис. 6. Зависимость угла фазового сдвига от жесткости k_{12} при различных значениях λ : 3- $\lambda = 0.852$, 2- $\lambda = 0.705$, 1- $\lambda = 0.558$

общей нелинейности системы (например, при увеличении жесткости упругих ограничителей хода). Рабочая частота системы оказалась малочувствительной к изменению всех варьируемых параметров в принятых диапазонах их изменения.

Отметим еще раз, что в данном случае решалась задача о самосинхронизации существенно нелинейных динамических систем в резонансном режиме. Проведенное исследование показывает, что асимметрично резонансные виброплощадки при объединении их в единую систему сравнительно легко входят в режим самосинхронизации и этот режим устойчиво удерживается при изменении ряда параметров системы в сравнительно широких пределах. Это позволяет при создании резонансных виброустановок широко использовать принцип секционирования и создавать тяжелые резонансные виброустановки из стандартных модулей.

В четвертой главе приведены методика и результаты экспериментальных исследований проявления эффекта самосинхронизации в вибросистемах с линейными и нелинейными упругими связями, а также методика расчетов основных параметров самосинхронизируемой резонансной виброплощадки многоблочного типа.

Для решения поставленных задач был разработан экспериментальный стенд (Рис. 7), на котором проводились исследования динамики вибросистем с различными инерционными параметрами с использованием измерительных приборов.

Результаты экспериментов показывают, что устойчивое синхронное движение двух систем (в данном случае пригрузы) происходит только при резонансных режимах и только при нелинейных упругих связях.

Помимо этого, на экспериментальном стенде проверялась возможность применения самосинхронизируемых пригрузов при уплотнении более жестких бетонных смесей.

Анализ прочностных характеристик специально изготовленных бетонных образцов показывает, что использование ударной вибрации, достигаемой с помощью самосинхронизируемых пригрузов, вместо обычной гармонической, позволяет повысить предел прочности бетона на сжатие в среднем на 25 + 31%.

Приведены результаты экспериментальных исследований режимов самосинхронизации виброударной установки.

Эксперименты были проведены в промышленных условиях на заводе ЖБИ-18 г. Москвы.

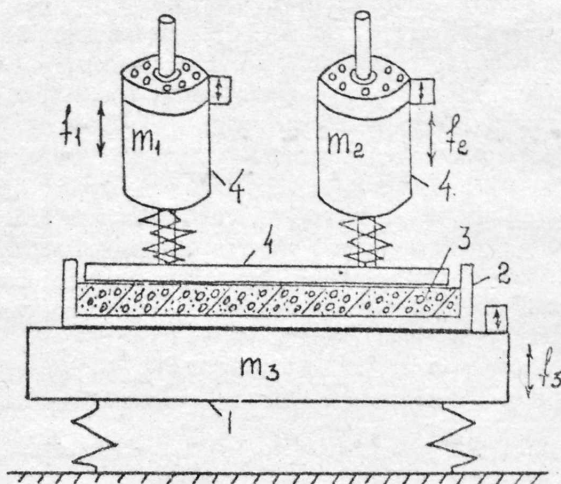


Рис.7. Экспериментальный стенд. 1-вибростол, 2-стальная форма, 3-бетонная смесь, 4-пригрузы

ВЫВОДЫ

1. Установлена возможность эффекта самосинхронизации нелинейных динамических систем при резонансной их настройке.
2. Установлена возможность создания резонансных технологических вибромашин большой грузоподъемности и изменяемой геометрии рабочего органа на базе унифицированных резонансных вибрационных блоков.
3. Теоретически и экспериментально показана возможность самосинхронизации резонансных асимметричных виброплощадок для уплотнения бетонных смесей с целью получения длиномерных изделий.
4. Установлено, что режим самосинхронизации в этих машинах устойчиво удерживается при изменении ряда параметров системы в сравнительно широких пределах. Это позволяет при создании резонансных виброплощадок широко использовать принципы секционирования.

5. Предложена методика и разработаны устройства для экспериментального исследования основных закономерностей и характеристик технологического процесса виброуплотнения бетонной смеси. Установлено, что данный метод позволяет получить бетонные изделия более высокой плотности, чем при известных способах. При этом водопоглощение уменьшается на 15÷25%, а прочностные характеристики увеличивается на 25÷31%.

6. Использование результатов теоретических и экспериментальных исследований позволяет рекомендовать вариант блочного исполнения резонансных асимметричных виброплощадок для уплотнения бетонной смеси на основе эффекта самосинхронизации; отказаться от жесткой кинематической синхронизации роторов вибромашин, что приводит к повышению долговечности подшипников привода, уменьшению энергоемкости оборудования.

7. Предложена схема инженерного расчета при проектировании резонансных вибромашин, использующих принцип самосинхронизации.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Джакашов А.Т., Крюков Б.И. Самосинхронизация вибро-возбудителей в системе упруго связанных резонансных вибромашин // Тезисы докладов Всесоюзной конференции по вибрационной технике. - Кобулет, 1987. - С. 71.

2. Джакашов А.Т., Крюков Б.И. Самосинхронизация вибрационных машин резонансного типа // Нелинейные колебания механических систем: Тезисы докладов Всесоюзной конференции. - Горький, 1987. - С.174.

3. Джакашов А.Т., Крюков Б.И. Самосинхронизация резонансных вибромашин // Вибротехника: Сборник статей (Каунас). - 1988. - №3. - С.54-59.

4. Джакашов А.Т., Крюков Б.И. Самосинхронизация резонансных асимметричных виброплощадок // Изв. ВУЗов. Машиностроение. - 1989. - №2. - С.97-101.

Объем I п.л. Тираж 100 экз. Типография МГТУ им.Н.Э.Баумана
Л - 15305 Подп. к печати 24.04.90 Заказ № 495