

ДИНАМИКА ДВУХПОРШНЕВОГО ВИБРОУДАРНОГО МЕХАНИЗМА

Метрикин В. С., Никифорова И. В.

Разработаны математическая модель и методика численно-аналитического исследования динамики виброударного механизма. Представленные бифуркационные диаграммы позволили выявить основные закономерности перестроек различных режимов движения механизма.

Рассматриваемая система представляет собой виброударный механизм (рис. 1), состоящий из корпуса — 1, маховика — 2, кривошипов с регулируемыми эксцентриситетами r_i — 3, шатунов (длиной l_i) — 4, поршней-ударников — 5, неподвижного ограничителя — 6, эксцентрикового вала — 7, направляющей гильзы — 8, направляющей штанги корпуса — 9, наковальни — 10.

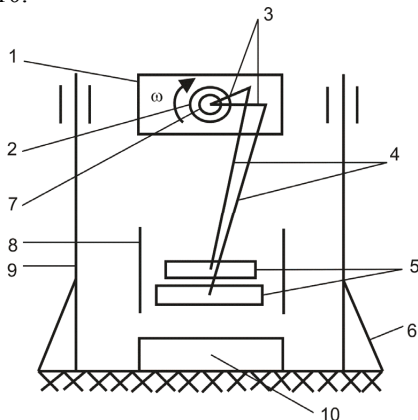


Рис. 1 Схема виброударного механизма.

Корпус совершает колебательные движения вдоль направляющей штанги вследствие вращения маховика с постоянной угловой скоростью ω . Тогда базовая модель, рассматриваемая в данной работе, имеет вид:

$$\ddot{x} = -p \quad (x > f(\tau)),$$

$$\left. \frac{dx}{d\tau} \right|_+ = -R \left. \frac{dx}{d\tau} \right|_- + (1+R) \frac{df(\tau)}{d\tau} \quad \left(x = f(\tau), \dot{x} < \frac{df}{d\tau} \right),$$

$$f(\tau) = \max_{\tau} \{f_1(\tau), f_2(\tau)\},$$

где $f_1(\tau) = \varepsilon - \mu \cos \tau$, $f_2(\tau) = -\mu \gamma \cos(\tau - \phi)$, $\tau = \omega t$, $\mu = \frac{r_1}{l}$, $p = \frac{g}{\omega^2 l}$,
 $\varepsilon = \frac{S_1 - S_2}{l}$, $\gamma = \frac{r_2}{r_1}$, а S_i — расстояние от точки крепления шатуна до основания поршня.

Фазовое пространство системы $G(x \geq f(\tau))$ трехмерно в координатах x, \dot{x}, τ , цилиндрично по \dot{x} и усечено по x . Очевидно, что $x = f(\tau)$ представляет собой «гофрированную» поверхность, образованную пересечением цилиндрических поверхностей $x = f_1(\tau)$, $x = f_2(\tau)$.

Качественный вид фазового пространства и фазовых траекторий приведен на рис. 2.

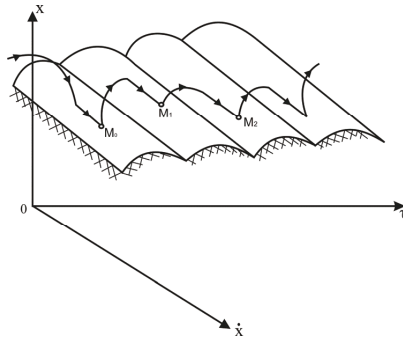


Рис. 2 Качественный вид фазового пространства и фазовых траекторий.

Очевидно, что режим движения механизма с ударами каждым из поршней возможен лишь при условии $\varepsilon^2 < \mu^2(1 - 2\gamma \cos \phi + \gamma^2)$.

Поведение фазовых траекторий позволяет сделать вывод, что секущая поверхность может быть задана уравнением $x = f(\tau)$, поэтому динамика системы может быть изучена с помощью точечного отобра-

жения секущей поверхности в самое себя (Неймарк, 1972).

Пусть T_1 — преобразование точки $M_0(\tau = \tau_0, x_0 = f_1(\tau_0), \dot{x}_0)$ в $M_1(\tau = \tau_1, x_1 = f_2(\tau_1), \dot{x}_1)$, а T_2 — точечное преобразование точки M_1 в точку $M_2(\tau = \tau_2, x_2 = f_1(\tau_2), \dot{x}_2)$, где $\dot{x}_0, \dot{x}_1, \dot{x}_2$ — послеударные скорости. Тогда $T = T_2 T_1$ определяет точечное преобразование точек $M_0 \rightarrow M_1 \rightarrow M_2$, соответствующее последовательному соударению поршней-ударников и имеет вид

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= R[p(\tau_1 - \tau_0) - \dot{x}_0] + (1 + R)\mu\gamma \sin(\tau_1 - \phi), \\ -\mu\gamma \cos(\tau_1 - \phi) &= -p \frac{(\tau_1 - \tau_0)^2}{2} + \dot{x}_0(\tau_1 - \tau_0) + \varepsilon - \mu \cos \tau_0, \\ \dot{x}_2 &= R[p(\tau_2 - \tau_1) - \dot{x}_1] + (1 + R)\mu \sin \tau_2, \\ \varepsilon - \mu \cos \tau_2 &= -p \frac{(\tau_2 - \tau_1)^2}{2} + \dot{x}_1(\tau_2 - \tau_1) - \mu\gamma \cos(\tau_1 - \phi).\end{aligned}$$

Для отыскания простых устойчивых в малом неподвижных точек преобразования T в работе применен известный алгоритм.

Для изучения сложных режимов движения механизма разработан программный комплекс в среде Borland C++Builder 6. Комплекс позволяет отыскивать неподвижные точки, соответствующие различным типам периодических движений и исследовать их устойчивость. Для этого с помощью программного продукта производится построение бифуркационных диаграмм. Так, на рисунках 3, 4 представлена бифуркационная диаграмма по параметру φ (ось абсцисс) для следующих значений параметров $R = 0.4, p = 0.05, \varepsilon = 0.018, \gamma = 4, \mu = 0.025$. Из рисунков видно, что основной режим движения существует в пределах $0 < \varphi < 2.3$. Для φ больших 2.3 существуют режимы с большим числом ударов каждым из поршней-ударников. Соответствующие осциллограммы движения приведены на рисунках 5, 6. На рисунках 7, 8 приведены бифуркационные диаграммы для значений параметров $R = 0.6, p = 0.1, \varepsilon = 0.018, \gamma = 4, \mu = 0.025$. Из них видно, что основного периодического режима движения не существует, а существует периодическое движение с двумя ударами первым поршнем и одним ударом вторым в пределах $0.7 < \varphi < 1.3$. Соответствующая осциллограмма движения приведена на рисунке 9. Из приведенных бифуркационных диаграмм также следует, что с ростом φ скорость при ударе уменьшается для первого поршня-ударника, а для второго она увеличивается.

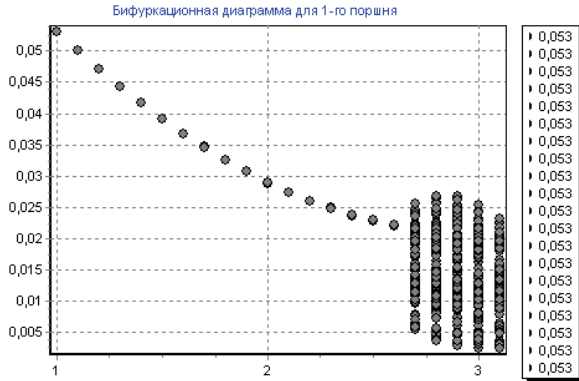


Рис. 3. Бифуркационная диаграмма по параметру φ для первого поршня для значений параметров $R = 0.4$, $p = 0.05$, $\varepsilon = 0.018$, $\gamma = 4$, $\mu = 0.025$.

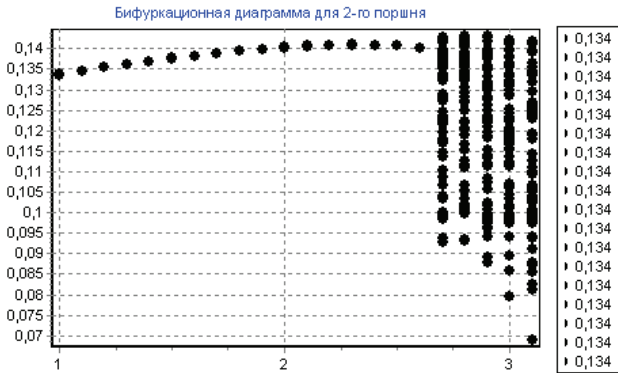


Рис. 4. Бифуркационная диаграмма по параметру φ для второго поршня для значений параметров $R = 0.4$, $p = 0.05$, $\varepsilon = 0.018$, $\gamma = 4$, $\mu = 0.025$.

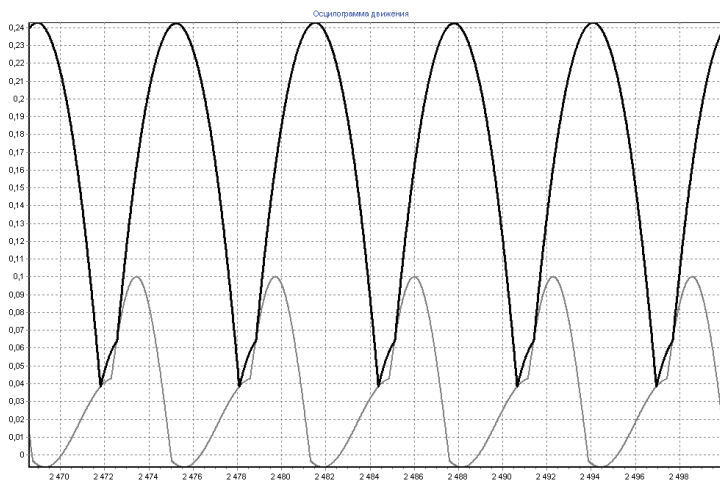


Рис. 5. Осциллограмма движения для $0 < \varphi < 2.3$.

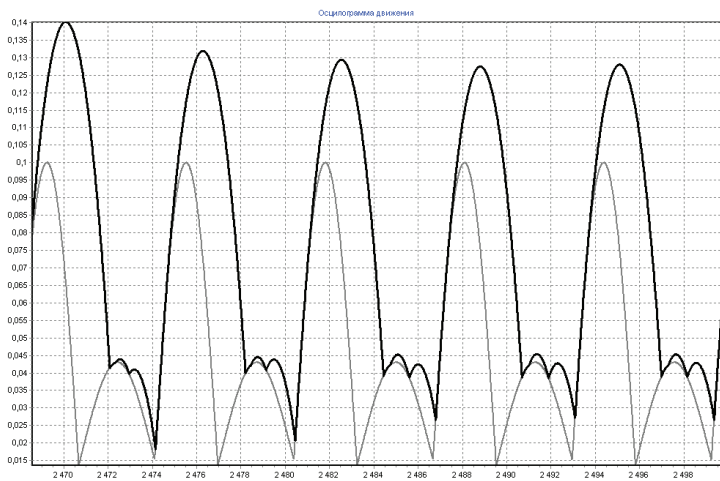


Рис. 6. Осциллограмма движения для $2.3 < \varphi < 3.14$.

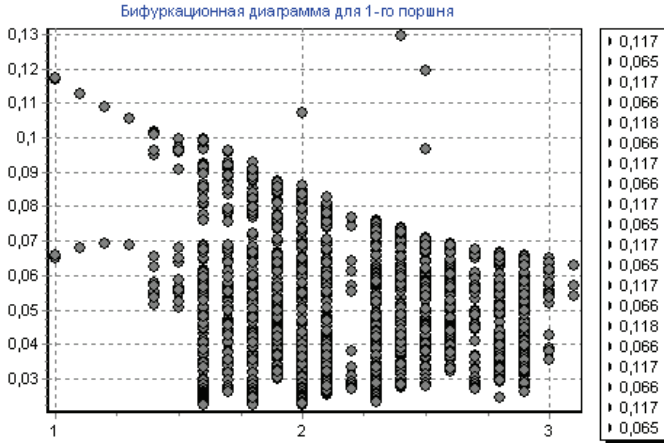


Рис. 7. Бифуркационная диаграмма по параметру φ для первого поршня для значений параметров $R = 0.6$, $p = 0.1$, $\varepsilon = 0.018$, $\gamma = 4$, $\mu = 0.025$.

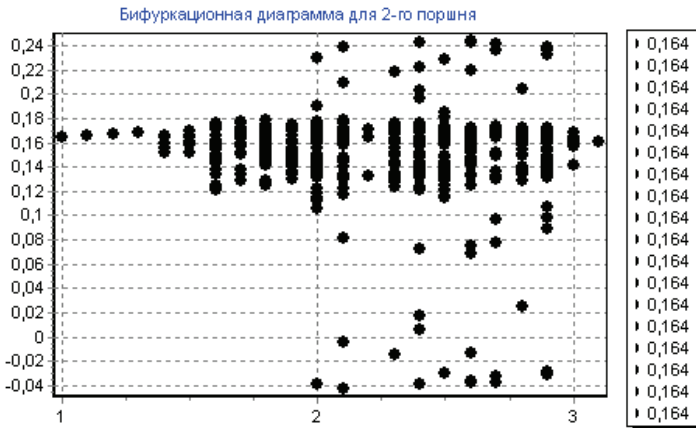


Рис.8. Бифуркационная диаграмма по параметру φ для второго поршня для значений параметров $R = 0.6$, $p = 0.1$, $\varepsilon = 0.018$, $\gamma = 4$, $\mu = 0.025$.

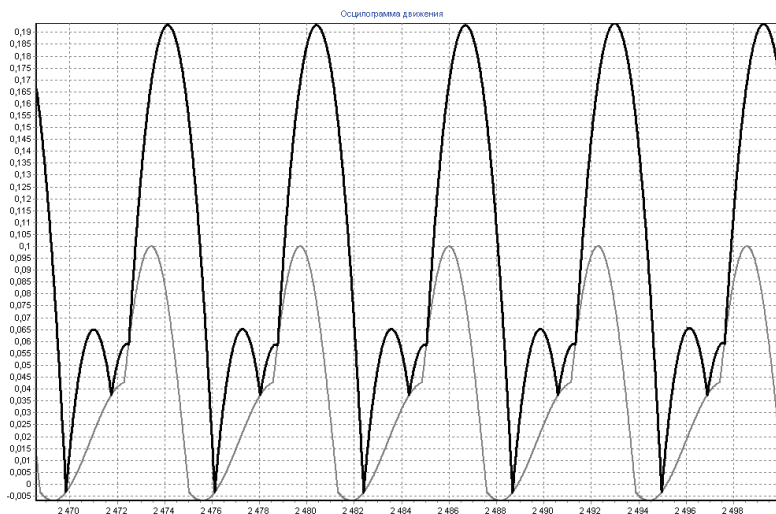


Рис.9. Осциллограмма движения для $0 < \varphi < 2.3$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Неймарк Ю.И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний.
— М.: Наука, 1972.

ON DYNAMICS OF A TWO-PISTON VIBRO-IMPACT APPARATUS

Metrikin V. S., Nikiforova I. V.

A mathematical model and a method for the numerical dynamical analysis of a vibro-impact apparatus are developed. The bifurcation diagrams are obtained that allow various dynamical regimes of the apparatus motion to be identified.