МОДЕЛИРОВАНИЕ НА МН-8 ВИБРОУДАРНИКА

В. А. Бебихов

Рассмотрены способы моделирования на МН-8 виброударника с неподвижной ограничивающей плоскостью

В безразмерных переменных уравнения движения виброударника (рис. 1) имеют вид [1]:

$$\begin{aligned} &\ddot{\xi} + \lambda^2\xi = \sin\tau \quad \text{при } \xi < \xi_0, \\ &\dot{\xi}_1 = -R\dot{\xi}_0 \quad \text{при } \xi = \xi_0, \end{aligned} \tag{1}$$

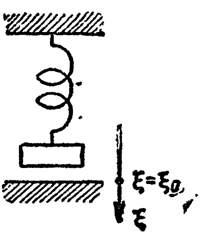

Рис. 1.

где $\dot{\xi}_0$, $\dot{\xi}_1$ — скорости виброударника непосредственно до и после его удара о неподвижную ограничивающую плоскость $\xi = \xi_0$, R — коэффициент восстановления скорости*.

Основную трудность при моделировании подобных задач на математических машинах непрерывного действия представляет реализация удара, т. е. моделирование мгновенного изменения скорости виброударника**.

Ниже описаны два способа моделирования удара. Основным в обоих способах является использование следящей системы типа „инерционное звено“ (вообще говоря, нелинейное) для непрерывного дублирования с достаточной точностью на дополнительном интеграторе скорости виброударника $\dot{\xi}$ (или $R\dot{\xi}$) по ее значению на основном интеграторе.

Блок-схема 1 набора задачи на МН-8 первым способом приведена на рис. 2. Блок-схема 2 набора задачи вторым способом приведена на рис. 3. На рис. 2 и 3 приняты следующие обозначения: Σ_l — l-ый суммирующий усилитель (четные сумматоры имеют диодное ограничение на ± 100 *в* [2]); $\int_k$ — k-ый интегрирующий усилитель; 1, $K_1 \div K_8$, λ^2, K_R — коэффициенты усиления по соответствующему входу усилителя; C_i — i-ый стандартный блок сигнатур на МН-8; i (i (1) или i (2)) — тройка контактов (первая или вторая) i-го блока сигнатур (при неотрицательном напряжении на входе блока сигнатур в его тройке контактов замкнуты средний и нижний контакты, при отрицательном напряжении — средний и верхний контакты).

---

* Моделирование виброударника для случая $R = 0$ было проведено на электронной установке ЭМУ-5 института автоматики и телемеханики [1].

** Способы моделирования удара, предложенные в настоящей работе, применимы при моделировании на математических машинах непрерывного действия задач, описываемых уравнениями вида:

$$x^{(n)} = f_n(x^{(k)}, t) \text{ при } F(x^k, t) > 0 \quad (= 0 \text{ и т. п.}),$$
$$x^{(n)} = g_n(x^{(k)}, t) \text{ при } F(x^{(k)}, t) = 0 \quad (< 0 \text{ и т. п.})$$
$$(n, k = 1, 2, \ldots, N).$$

Рассмотрим особенности получения послеударной скорости в каждой из блок-схем.

Блок-схема 1. На сумматорах 6 и 8 (K_7, $K_8 \gg 1$) собран триггер. Тройка контактов 12 (2) пропускает входной импульс только на тот сумматор триггера, у которого в данный момент на выходе — 100 *в*.

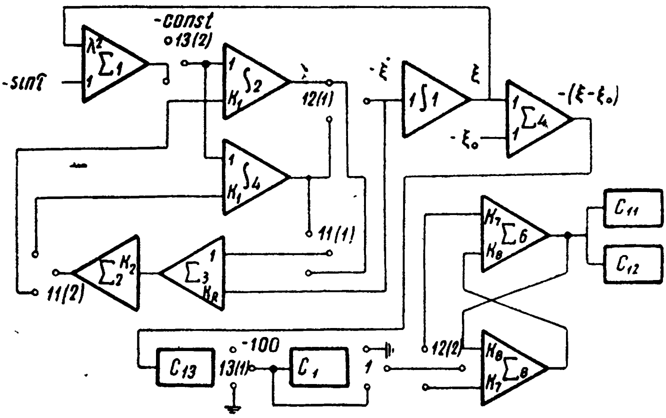

Рис. 2.

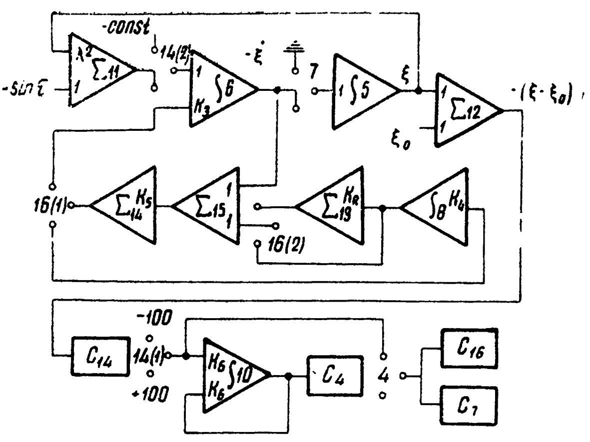

Рис. 3.

В момент удара тройки контактов 13 (1) и 1 формируют входной импульс, длительность которого определяется инерционностью блока сигнатур 1. Этим достигается надежность работы триггера (практически триггер надежно работал на частотах до 20 *гц*).

С каждым ударом поочередное соединение средних контактов с верхними или нижними контактами в тройках 11 (1), 11 (2), 12 (1) взаимоизменяет роли интеграторов 2 и 4: в первом случае на интеграторе 2 (основном) интегрируется — $\ddot{\xi}$, а на интеграторе 4 (дополнительном) происходит слежение за $R\dot{\xi}$ ($R = K_R$); во втором случае на интеграторе 2 (теперь дополнительном) происходит слежение за $R\dot{\xi}$, а на интеграторе 4 (теперь основном) интегрируется — $\ddot{\xi}$ и т. д.

После каждого удара на очередном основном интеграторе в качестве начального условия реализуется послеударная скорость — $\dot{\xi}_1$.

Блок-схема 2. До очередного выполнения условия удара замкнутость средних контактов с нижними в тройках 16 (1), 16 (2) и 7 обеспечивает интегрирование — $\ddot{\xi}$ на основном интеграторе 6 и слежение за $\dot{\xi}$ на дополнительном интеграторе 8. При очередном выполнении условия удара напряжение — 100 *в* на время $t_0 = \ln 2/K_6$ (обычно t_0 много меньше времени между двумя очередными ударами) замыкает средние контакты с верхними в этих же тройках 16 (1), 16 (2) и 7. Это обеспечивает за время t_0 задание послеударной скорости $-\dot{\xi}_1$ $(R=K_R)$ на интеграторе 6* по доударной скорости $\dot{\xi}_0$ с интегратора 8.

Заметим, что возможно соединение выхода интегратора 6 со входом интегратора 5. В этом случае при $K_5=1$ в соответствии с уравнениями

$$\dot{\xi}_1 = -\dot{\xi}_0\,[K_R-(1+K_R)\,e^{-K_3 t_0}],\quad K_R t_0+\frac{1+K_R}{K_3}\,(e^{-K_3 t_0}-1)=0 \qquad (2)$$

коэффициент восстановления скорости R является функцией от K_R, приведенной на рис. 4 (при $K_5>1$ $R=R(K_5,\ \dot{\xi}_0,\ K_R)$).

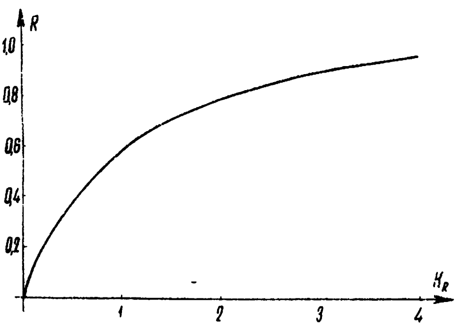

Рис. 4.

Система уравнений (1) при некоторых значениях параметров λ^2, R допускает периодические решения, содержащие бесконечное число ударов за один период. В этом случае при решении первым способом произойдет неизбежное несрабатывание триггера (в момент несрабатывания $\xi=\xi_0$, $\dot{\xi}>0$, $\ddot{\xi}\gg 0$), а при решении вторым способом вследствие возрастающей неточности в получении $-\dot{\xi}_1$ и $\dot{\xi}_0$ возможно появление после очередного удара неотрицательной послеударной скорости.

Заметим, что для $R=0$ всегда $\dot{\xi}_1=0$ (в частности, если $\ddot{\xi}>0$ в точке $\xi=\xi_0$).

Очевидно, что при соединении выхода сумматора 1 с первыми входами интеграторов 2 и 4 в блок-схеме I и выхода сумматора II с первым входом интегратора 6 в блок-схеме 2 получение неотрицательной скорости при $\xi=\xi_0$ может привести к переходу траектории машинного решения за ограничивающую плоскость. Однако при введении схемы исправления решения на тройке 13 (2) в блок-схеме 1 и на тройке 14 (2) в блок-схеме 2 подобного искажения решения не происходит.

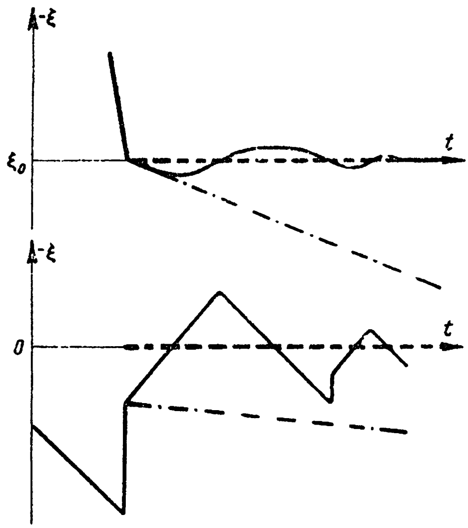

Рис. 5.

Качественно влияние схемы исправления решения показано на рис. 5 для $R=0$ (при решении первым и вторым способами) и на рис. 6 для $R>0$ $(R=0{,}5)$ (при решении первым способом). На рис. 5 и 6 штрих-пунктирной линией обозначено машинное решение $(\xi,\ \dot{\xi})$ без применения системы исправления решения,

* В блок-схемах 1 и 2 при больших значениях $K_1 \div K_5$ на полученных $-\dot{\xi}_1$, $\ddot{\xi}$ начинает сказываться разброс в срабатывании блоков сигнатур, ввиду чего максимальные значения $K_1 \div K_5$ устанавливались подбором.

сплошной линией—машинное решение с применением системы исправления решения, пунктирной линией — решение уравнений (1) на малом отрезке времени в допустимом предположении, что на нем $\sin\tau = \text{const} > 0$. (На рис. 6 t_2 — минимальный период срабатывания триггера.)

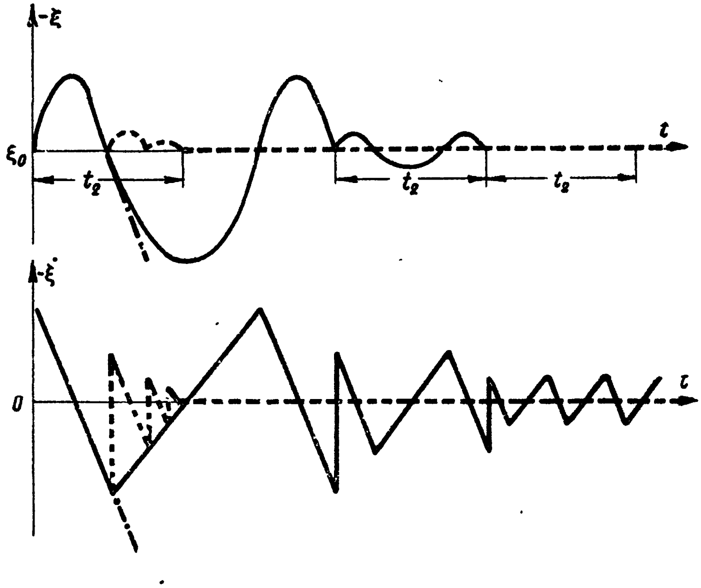

Рис. 6.

Рис. 7.

Решения, полученные при моделировании удара первым способом, для довольно сложных режимов хорошо совпали с соответствующими решениями, полученными при моделировании удара вторым способом. Совпали с достаточной точностью и границы различных типов режимов.

Отдельные примеры решений для $R=0$; 0,5; 0,9 приведены на рис. 7. Машинные решения находятся в количественном соответствии с теоретическими исследованиями [1].

По блок-схеме 1 инженером вычислительного центра ГИФТИ К. К. Седовой было проведено моделирование виброударника на установке ЭМУ-8. При этом триггер был собран на четырех реле типа РС-13.

Рассмотренный выше метод моделирования особенности типа „удар" можно применить при исследовании на математических машинах непрерывного действия следующих задач: задачи о виброгашении, задачи о погружении шпунтины под действием виброударника [3] и др.

ЛИТЕРАТУРА

1 Л. В Беспалова, Изв. АН СССР, отд техн. наук, 5, 3 (1957).
2. Описание и инструкция по применению электромоделирующей установки (МН-8), кн. 1 и 2, Мин. машиностроения и приборостроения, 1956.
3 Ю И Неймар, Инж. сб., **16**, 13 (1953).

Научно-исследовательский физико-технический институт при Горьковском университете

Поступила в редакцию 26 октября 1959 г.