

### ЭЛЕКТРОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПНЕВМАТИЧЕСКИХ МОЛОТКАХ

В. Ф. ГОРБУНОВ, В. М. РАЗИН, И. Г. СМЫШЛЯЕВА, А. В. ТРИХАНОВ

(Представлена семинаром факультета автоматики и вычислительной техники)

В предыдущих наших статьях [1, 2] по электронному моделированию процессов изоляции и гашения вибрации приведены исходные предпосылки для моделирования, расчетная схема и математическое описание пневматического молотка.

Для решения системы указанных в [2] дифференциальных уравнений на математических моделирующих установках необходимо физические величины заменить напряжениями с введением соответствующих масштабных коэффициентов. Нетрудно показать, что уравнения в машинных переменных, удобные для составления структурной схемы модели, будут иметь следующий вид:

$$\frac{d^2 U_n}{d\tau^2} = -B_1 U_{1(2)} - B_1 \frac{dU_n}{d\tau} + \xi_k D_1 (U_k - U_n) - \xi_m \Gamma_1 U_n; \quad (1)$$

$$\frac{d^2 U_6}{d\tau^2} = -A_2 U_{3(4)} + B_2 U_{1(2)} - B_2 \frac{dU_6}{d\tau} - \xi_{6k} \Gamma_2 (AU_6 - U_k); \quad (2)$$

$$\frac{d^2 U_k}{d\tau^2} = A_3 U_{3(4)} - B_3 U_{1(2)} - T_3 U_q - B_3 \frac{dU_6}{d\tau} - \xi_k D_3 (U_k - U_n) + \xi_{6k} \Gamma_3 (AU_6 - U_k), \quad (3)$$

где

$$\xi_k = \begin{cases} 0, & U_k \gg U_n; \\ 1, & U_k < U_n; \end{cases} \quad \xi_m = \begin{cases} 0, & U_n \gg 0; \\ 1, & U_n < 0; \end{cases}$$

$$\xi_{6k} = \begin{cases} 0, & AU_6 \gg U_k; \\ 1, & AU_6 < U_k. \end{cases}$$

$A_1, A_2, A_3, A, B_1, B_2, B_3, V_1, V_2, V_3, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, D_1, D_3$  и  $T_q$  — машинные коэффициенты, значения которых для исследования, например, пневматического рубильно-клепального молотка КЕ-22 приведены в табл. 1.

Блок-схема соединения блоков приведена на рис. 1. Блоки нелинейности БН1, БА2, решающие блоки 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 13 и переключающее устройство ПУ1 используются для решения дифференциального уравнения движения инструмента.

БН1 задает нелинейную зависимость изменения давления воздуха в передней полости молотка при прямом ходе поршня, БН2 — при обратном.

Таблица 1

| Наименование                              | Математическое выражение                    | Размерность                                     | Величины             |
|---|---|---|----------------------|
| Масштаб перемещения бойка                 | $a_6$                                       | м/в   | $1,61 \cdot 10^{-3}$ |
| Масштаб перемещения корпуса и инструмента | $a_k, a_n$                                  | м/в   | $2,15 \cdot 10^{-4}$ |
| Масштаб времени                           | $a_t$                                       |   | $4,34 \cdot 10^{-3}$ |
| Масштаб осевого усилия                    | $a_q$                                       | кг/в  | 1                    |
| Масштаб возмущающей силы                  | $a_f$                                       | кг/в  | 1                    |
| Масса корпуса молотка                     | $m_k$                                       | $\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$ | 0,894                |
| Масса бойка                               | $m_6$                                       | "   | 0,056                |
| Масса инструмента                         | $m_n$                                       | "   | 0,094                |
| Коэффициенты уравнений 1, 2, 3            | $B_1 = \eta \frac{a_i^2 a_f}{m_n a_n}$      |   | 0,771                |
|   | $B_1 = \frac{a_t \cdot a_f \cdot r_n}{m_n}$ | м/сек   | 0,83                 |
|   | $D_1 = \frac{C_k a_i^2}{m_n}$               | 1/сек   | 59,5                 |
|   | $\Gamma_1 = \frac{C_m a_i^2}{m_n}$          | 1/сек   | 59,5                 |
|   | $E_1 = K_{ни}$                              | —   | 0                    |
|   | $F_1 = K_{и6} K_{ни} \frac{a_6}{a_n}$       |   | 0,217—0,876          |
|   | $A_2 = \frac{a_i^2 a_f}{m_6 a_6}$           |   | 0,173                |
|   | $B_2 = A_2$                                 | —   | 0,173                |
|   | $B_2 = \frac{r_6 a_t}{m_6}$                 | м/сек   | 0,050                |
|   | $\Gamma_2 = \frac{C_{6к} a_i^2}{m_6}$       | 1/сек   | 61,0                 |
|   | $E_2 = K_{6н} \frac{a_n}{a_6}$              |   | 0                    |
|   | $F_2 = K_{66}$                              |   | 0,5—0,35             |
|   | $A_3 = \frac{a_i^2 a_f}{m_k a_k}$           |   | 0,081                |
|   | $B_3 = \frac{r_k a_t}{m_k}$                 | м/сек   | 0,240                |
|   | $\Gamma_3 = \frac{C_{6к} a_i^2}{m_k}$       | 1/сек   | 6,25                 |
|   | $D_3 = \frac{C_k a_i^2}{m_k}$               | "   | 6,25                 |
|   | $T_3 = \frac{a_i^2 a_q}{m_k a_k}$           |   | 0,097                |
|   | $E_3 = K_{ки}$                              |   | 0,019                |
|   | $F_3 = K_{кк}$                              |   | 0                    |

Выход того или иного блока БН подключается на вход решающего усилителя в зависимости от того, в каком положении находится поляризованное реле РЗ, которое подключено на выход решающего блока № 16. На вход последнего подается скорость бойка с отрицательным знаком  $-U_6$ . При прямом ходе поршня средний контакт реле РЗ находится в верхнем положении. При ударе бойка об инструмент или о пе-

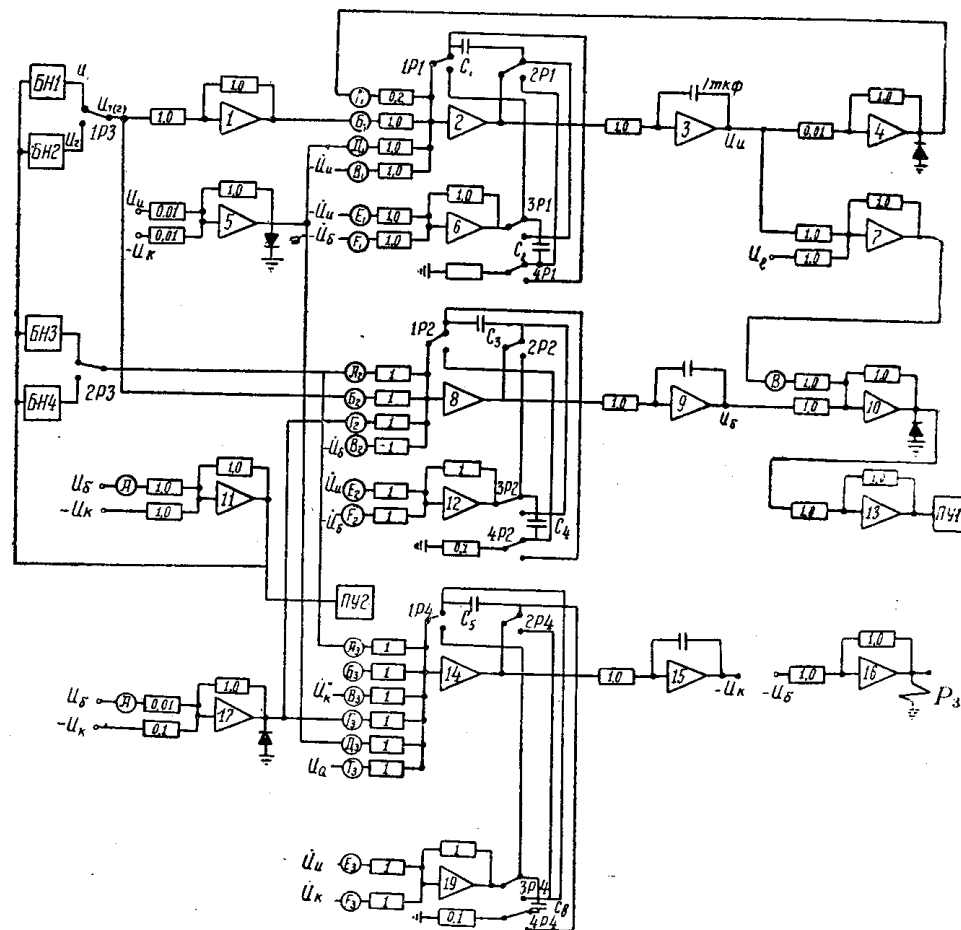


Рис. 1. Структурная схема модели.

реднюю стенку корпуса происходит изменение знака скорости бойка на противоположный. После этого начинается обратный ход ударника; средний контакт РЗ принимает нижнее положение.

Блок № 4 реализует положительную ударную силу на инструмент при ударе последнего по обрабатываемой среде. В других случаях на выходе этого блока благодаря ограничению на уровне 0 напряжение равно нулю.

Блок № 5 реализует отрицательную ударную силу на инструмент при соударении последнего с корпусом. При отходе корпуса от инструмента на выходе этого блока получается положительное напряжение, которое ограничивается на уровне нуля с помощью диодного ограничителя.

Послеударная скорость инструмента при ударе по нему бойка задается с помощью блоков 2 и 6, входящих в модель упругого удара [3]. При выполнении условия указанного удара срабатывает реле Р1 пере-

ключающего устройства ПУ1. Тройки контактов этого реле 1Р1, 2Р1, 3Р1, 4Р1 при этом меняют местами емкости, одна из которых была подключена в цепь отрицательной связи первого решающего блока, на выходе которого получается с отрицательным знаком скорость инструмента, а другая — на выходе шестого решающего блока, где и воспроизводится послеударная скорость инструмента.

При перемене местами указанных емкостей напряжения на выходе блока 2 мгновенно заменяется на напряжение, которое установилось до переключения на выходе блока 6. И так происходит каждый раз, когда выполняется условие удара бойка по инструменту.

Для определения этого условия ( $x_6 \geq x_{н} + l$ ) используются блоки 7, 10 и 13.

Схема для решения дифференциального уравнения движения бойка включает нелинейные блоки БН1, БН2, БН3, БН4, решающие усилители 7, 8, 9, 10, 12, 13, 17.

Блоки БН3 и БН4 воспроизводят давление воздуха в задней полости корпуса при прямом и обратном ходах бойка соответственно. Выходы этих блоков коммутируются на вход блока 8 с помощью второй тройки контактов реле Р3.

Задание послеударной скорости для бойка при ударе последнего по инструменту реализуется с помощью блоков 8 и 12 подобно тому, как осуществлялось задание послеударной скорости для инструмента при ударе по нему бойка.

Емкости  $C_3$  и  $C_4$  в этих блоках меняются местами с помощью четырех троек контактов 1Р2, 2Р2, 3Р2, 4Р2 реле 2, расположенного в переключающем блоке ПУ1.

Положительная ударная сила для бойка (и корпуса) при ударе его по стенке корпуса реализуется с помощью блока 17, имеющего на выходе диодное ограничение на уровне 0.

Нелинейные блоки БН1, БН2, БН3, БН4, последние два при исследовании молотка КЕ22 не должны использоваться, решающие усилители 5, 14, 15, 17, 19 используются для решения дифференциального уравнения движения корпуса.

Блоки 14 и 19 служат для задания послеударной скорости корпуса при ударе по нему инструмента после отскока последнего от обрабатываемой породы.

Емкости  $C_5$  и  $C_6$  этих блоков меняются местами с помощью четырех троек контактов 1Р4, 2Р4, 3Р4, 4Р4 реле Р4, находящегося в переключающем устройстве ПУ2.

Это устройство реле Р4 переключает каждый раз, когда напряжение на выходе блока 5 переходит через нуль в отрицательную сторону, то есть тогда, когда выполняется условие удара между корпусом и инструментом ( $x_k \leq x_{н}$ ).

Между инструментом и корпусом, кроме ударов, имеют место длительные контакты, что моделируется с помощью блока 17, на выходе которого при  $x_k \leq x_{н}$  появляется положительное напряжение, соответствующее силе контакта.

При задании послеударных скоростей бойка и корпуса вместо отрицательной скорости инструмента требуется использовать положительную скорость инструмента. Для этого используется инвертирующий усилитель 18.

Блок 11 предназначен для подачи на вход блоков нелинейностей величины —  $(AU_6 - U_k)$ .

Умножение на постоянные коэффициенты, значение которых варьируется в каждом опыте, осуществляется с помощью блоков постоянных коэффициентов типа СБ-4А, обозначенных на схеме кружками.

Начальное условие  $x_b(0) = x_{бмакс}$  задавалось в схеме с пульта управления модели, а регистрация интересующих выходных величин осуществлялась с помощью электронного индикатора И-4М и вольтметра, расположенного на пульте ИПТ-5.

Для исследования быстропротекающих процессов важным достоинством электронных моделирующих установок является возможность вести исследование в замедленном масштабе времени. Выбор масштаба времени обуславливается разрешающей способностью регистрирующей аппаратуры или стремлением визуально наблюдать исследуемые процессы. Для исследования машин ударного и вибрационного действия с частотой циклов 15—50 гц удобно выбрать масштаб времени в пределах  $10^{-3}$ — $10^{-4}$ .

Предлагаемая электронная модель позволяет проводить исследование динамики молотков в процессе рубки металла, изготовления заклепок, разрушения горных пород и мерзлых грунтов и т. п. Особенно важным в подобных исследованиях является изучение частоты и амплитуды вибрации корпуса молотка, по которым оценивается качество молотков с санитарно-гигиенической точки зрения [4].

Исследование вибрационных характеристик машин ударного и вибрационного действия методом математического моделирования позволяет выявить их поведение при широком изменении исходных данных (характеристики, условия и режимы работы и т. д.). На основании результатов моделирования определяются зоны оптимальных режимов работы существующих машин, выявляются резервы повышения их производительности при одновременном снижении вибрационного воздействия на организм рабочего. Кроме того, моделирование позволяет предсказать ряд целесообразных конструктивных вариантов новых машин лучшего качества.

Данная модель разработана на кафедре математических и счетно-решающих приборов и устройств Томского политехнического института и проверена в работе при исследовании пневматических рубильно-клепальных молотков Томского электромеханического завода и электромагнитных молотков ТПИ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Бабуров, В. Ф. Горбунов, В. М. Разин, И. Г. Смышляева, А. В. Триханов. Исходные предпосылки для электронного моделирования изоляции и гашения вибрации пневматических молотков. (Печатается в данном сборнике).
2. В. Ф. Горбунов, В. М. Разин, И. Г. Смышляева, А. В. Триханов. Расчетная схема и математическое описание пневматического молотка для электронного моделирования. (Печатается в данном сборнике).
3. В. Ф. Горбунов, В. М. Разин, А. В. Триханов. Некоторые исследования пневматических молотков с виброизоляционными устройствами на электронной модели. Математические методы в горном деле. Сборник докладов. Горные машины и автоматика. Изд. СО АН СССР, Новосибирск, 1963.
4. Сборник важнейших официальных материалов по вопросам гигиены труда и производственной санитарии, I—II, Медгиз, 1962.