

В. Г. АРАКЕЛЯН

## ПОЛНОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ УРАВНОВЕШИВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ МЕТОДОМ ЗАМЕЩЕНИЯ МАСС

Для погашения динамических нагрузок от масс механизма на фундамент необходимо полностью уравновесить главный вектор и главный момент сил инерции звеньев механизма. В работах [1, 2] предложен метод динамического уравновешивания масс механизмов, суть которого заключается в добавлении корректирующей массы на шатуне и в динамическом замещении массы шатуна двумя точечными массами, расположенными в его шарнирах и уравновешиваемыми вместе с массами кривошипа и коромысла с помощью противовесов. В указанных работах авторы ограничиваются рассмотрением лишь плоского четырехзвенного механизма с шатуном, имеющим плоскость симметрии, параллельную плоскости движения механизма, и не учитывают пространственность системы сил инерции звеньев рассматриваемого ими плоского механизма. Если при статическом уравновешивании замена пространственной системы сил плоской не приводит к точным решениям, то при динамическом уравновешивании такое замещение приводит к частичному уравновешиванию главного момента сил инерции. Возникающая при этом неточность существенна для машин, содержащих значительное количество параллельно действующих плоских механизмов. Примером таких машин являются трикотажные машины и механизмы двигателей внутреннего сгорания.

Целью данной работы является развитие предложенного в [1] метода динамического уравновешивания масс механизма, его расширение на пространственные и плоские механизмы с произвольным распределением масс шатуна, при учете пространственности последних.

На рис. 1 представлен шатун плоского кривошипно-коромыслового механизма, имеющего произвольное распределение масс. Если массу такого шатуна динамически замещать сосредоточенными массами, расположенными на осях  $z_1 - z_2$  и  $z_3 - z_4$  вращательных кинематических пар, то задачу уравновешивания механизма можно свести к задаче уравновешивания подвижно соединенных с ним вращающихся звеньев. Чтобы система замещающих сосредоточенных масс была эквивалентна первоначальной, должны выполняться следующие условия:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \sum_{i=1}^k m_i = m; & \sum_{i=1}^k m_i (x_i^2 + y_i^2) = I_z; \\ \sum_{i=1}^k m_i x_i = 0; & \sum_{i=1}^k m_i x_i z_i = I_{xz}; \\ \sum_{i=1}^k m_i y_i = 0; & \sum_{i=1}^k m_i y_i z_i = I_{yz}. \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $m_i$  — масса, сосредоточенная в заменяющей точке с индексом  $i$ ;  $m$  — масса шатуна;  $x_i, y_i, z_i$  — координаты  $i$ -й точки относительно осей, проходящих через центр масс шатуна;  $I_z$  и  $I_{xz}, I_{yz}$  — осевой и центробежные моменты инерции шатуна;  $k$  — число заменяющих точек.

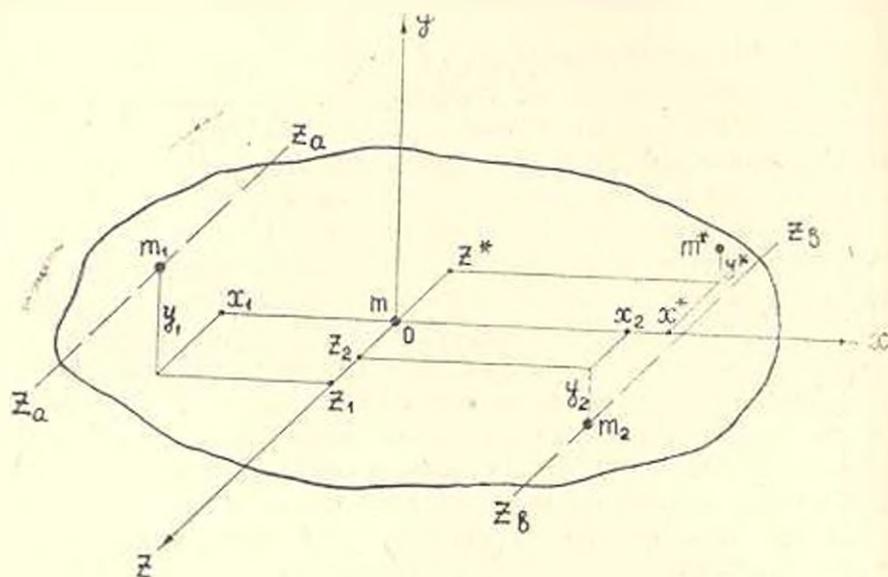


Рис. 1.

Из рассмотрения системы уравнений (1) следует, что в общем случае при заданных значениях  $x_i, y_i$  массу шатуна невозможно динамически замещать двумя ( $k = 2$ ) сосредоточенными массами, расположенными на осях  $z_a - z_a$  и  $z_b - z_b$ , ибо из  $2 \times 4$  параметров заменяющих масс свободными остаются лишь 4, а число уравнений — 6. Для осуществления такого замещения необходимо добавить корректирующую массу  $m^*$ , параметры которой определяются из следующей системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 + m_2 = m + m^*; \\ m_1 x_1 + m_2 x_2 = m^* x^*; \\ m_1 y_1 + m_2 y_2 = m^* y^*; \\ m_1 (x_1^2 + y_1^2) + m_2 (x_2^2 + y_2^2) = I_z + m^* (x^{*2} + y^{*2}); \\ m_1 x_1 z_1 + m_2 x_2 z_2 = I_{xz} + m^* x^* z^*; \\ m_1 y_1 z_1 + m_2 y_2 z_2 = I_{yz} + m^* y^* z^*, \end{array} \right. \quad (2)$$

справедливых для системы координат, имеющей начало в центре масс шатуна до добавления корректирующей массы. При решении системы уравнений (2) задаются параметрами  $x_1, x_2, y_1, y_2$  и двумя из 4 параметров корректирующей массы. Из четвертого уравнения следует, что для получения линейной системы уравнений необходимо задаться параметрами  $x^*$  и  $y^*$  корректирующей массы.

В случае пространственного движения шатуна условия динамической замены массы шатуна точечными массами описываются системой десяти уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n m_i = m; \quad \sum_{i=1}^n m_i x_i = 0; \quad \sum_{i=1}^n m_i y_i = 0; \quad \sum_{i=1}^n m_i z_i = 0; \\ \sum_{i=1}^n m_i (y_i^2 + z_i^2) = I_x; \quad \sum_{i=1}^n m_i x_i y_i = I_{xy}; \\ \sum_{i=1}^n m_i (x_i^2 + z_i^2) = I_y; \quad \sum_{i=1}^n m_i x_i z_i = I_{xz}; \\ \sum_{i=1}^n m_i (x_i^2 + y_i^2) = I_z; \quad \sum_{i=1}^n m_i y_i z_i = I_{yz}. \end{array} \right. \quad (3)$$

Уравнения (3) записаны в системе координат, имеющей начало в центре масс шатуна. Анализ этой системы уравнений показывает, что для динамической замены массы шатуна двумя сосредоточенными массами, расположенными в центрах А и В элементов его кинематических пар (рис. 2), необходимо добавить, как минимум, две корректирующие массы, параметры которых определяются из системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 + m_2 = m + m_1^* + m_2^*; \quad m_1 x_1 + m_2 x_2 = m_1^* x_1^* + m_2^* x_2^*; \\ m_1 y_1 + m_2 y_2 = m_1^* y_1^* + m_2^* y_2^*; \quad m_1 z_1 + m_2 z_2 = m_1^* z_1^* + m_2^* z_2^*; \\ m_1 (y_1^2 + z_1^2) + m_2 (y_2^2 + z_2^2) = I_x + m_1^* (y_1^{*2} + z_1^{*2}) + m_2^* (y_2^{*2} + z_2^{*2}); \\ m_1 (x_1^2 + z_1^2) + m_2 (x_2^2 + z_2^2) = I_y + m_1^* (x_1^{*2} + z_1^{*2}) + m_2^* (x_2^{*2} + z_2^{*2}); \\ m_1 (x_1^2 + y_1^2) + m_2 (x_2^2 + y_2^2) = I_z + m_1^* (x_1^{*2} + y_1^{*2}) + m_2^* (x_2^{*2} + y_2^{*2}); \\ m_1 x_1 y_1 + m_2 x_2 y_2 = I_{xy} + m_1^* x_1^* y_1^* + m_2^* x_2^* y_2^*; \\ m_1 x_1 z_1 + m_2 x_2 z_2 = I_{xz} + m_1^* x_1^* z_1^* + m_2^* x_2^* z_2^*; \\ m_1 y_1 z_1 + m_2 y_2 z_2 = I_{yz} + m_1^* y_1^* z_1^* + m_2^* y_2^* z_2^*. \end{array} \right. \quad (4)$$

записанных в системе координат, имеющей начало в центре масс шатуна до добавления корректирующих масс. В системе уравнений (4) содержатся квадратные уравнения, при решении которых подрадикальная функция может принимать отрицательные значения. В таких случаях необходимо добавить еще одну корректирующую массу. Таким образом, и для пространственных механизмов осуществляется динамическое замещение массы шатуна двумя сосредоточенными массами,

расположенными в центрах шарниров кривошипа и коромысла, что дает возможность свести задачу уравнивания масс пространственного механизма к задаче уравнивания вращающихся масс.

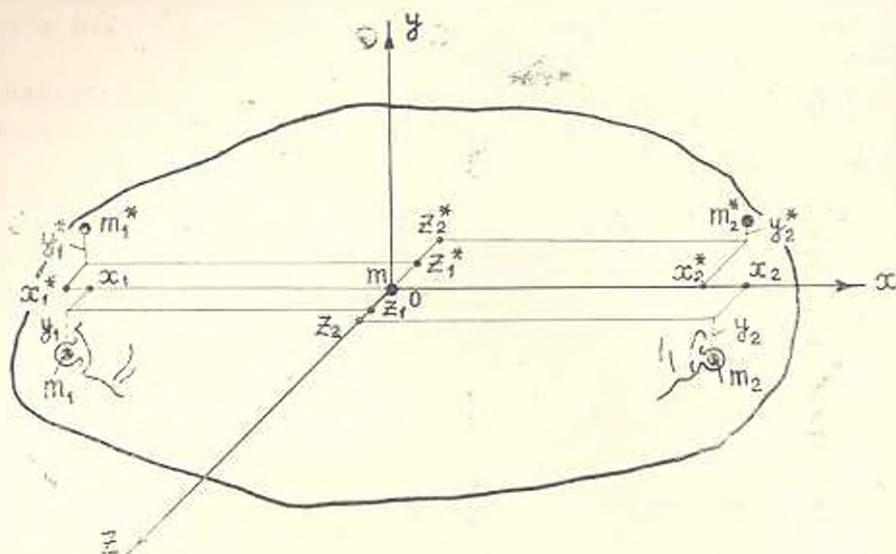


Рис. 2.

Песмотря на полную уравновешенность главного вектора и главного момента сил инерции, фундамент механизма через опорные шарниры испытывает давление со стороны кривошипа и коромысла, что объясняется динамической взаимосвязью привода и механизма. При уравнивании механизмов предлагаемым способом резко возрастают массы движущихся звеньев, что может привести к заметному увеличению входного движущего момента и реакции в кинематических парах механизма. Поэтому свободные параметры, появляющиеся при полном уравнивании механизма, целесообразно определить из условия минимизации динамических реакций и входного момента

#### Վ. Ն. ԱՍՏՈՒՅԱՆ

### ԽՆԵԱՆԻՋՄՆԵՐԻ ԼՐԻՎ ԳԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՀԱՎԱՍՏՐԱԿՇՈՒՄԻՄԸ ԶԱՆԳՎԱՑՆԵՐԻ ՓՈՆԵԱՐՆԵՐԱՆ ՄԵԹՈԳՈՎ

#### Ա մ փ ո փ ու լ մ

Զարգացված է մեխանիզմների դինամիկական հավասարակշռման մեթոդ՝ հիմնված շարժաթևի պոնդիվածների դինամիկական փոխարինման վրա, որը թույլ է տալիս հավասարակշռել հարթ մեխանիզմներ, հաշվի առնելով վերջիններիս տարածականությունը: Հայտնի մեթոդի բնղանրացումը թույլ է տալիս

կիրառելի արև կամայական տեղաբաշխված զանգվածներով շարժաթևով տուր-  
բաժանան մեխանիզմների հավասարակշռման համար:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Berkof R. S. Complete Force and Moment Balancing of Inline Four-Bar Linkages.— Mechanism and Machine Theory. 1973, v. 8, p. 397—410.*
2. *Острооский А. П., Капинов А. С., Усманов А. У. Об уравновешивании сил инерции рычажных механизмов с вращательными парами— Докл. АН Узб.ССР, 1983, № 9, с. 18—19.*