

УДК 677.024

**Е.Н. Хозина**, к.т.н., проф., **А.Н. Гаврилов**, к.т.н., **В.А. Макаров**, к.т.н., доц., Московский государственный университет дизайна и технологии

e-mail: [hozina2006@yandex.ru](mailto:hozina2006@yandex.ru)

## **О приведении масс и моментов инерции к ведущему звену рычажно-стержневого механизма**

*Предложен алгоритм расчета приведённого к ведущему звену суммарного момента инерции всего механизма, основанный на определении передаточных отношений приведения и служащий для оптимизации существующих схем рычажно-стержневых механизмов и проектирования новых рациональных механизмов.*

**Ключевые слова:** рычажно-стержневой механизм, момент инерции, частное передаточное отношение, приведенная масса, приведенный момент инерции, ведущее звено, передаточное отношение приведения.

**E.N. Hozina, A.N. Gavrilov, V.N. Makarov**

## **About the Reduced Mass and Moments of Inertia to the Leading Link of a Linkage Rod-Mechanism**

*An algorithm for calculating the cast to the leading element of the total moment of inertia of the whole mechanism, based on the definition of reduction ratios. Serving to optimize the existing schemes rod-mechanisms and rational design of new mechanisms.*

**Keywords:** rod-mechanism, moment of inertia, private ratio, reduced mass, reduced moment of inertia, the driving member, the gear ratio reduction.

Ведущее звено в механизмах является наиболее нагруженным, т.к. на него действует суммарные нагрузки, возникающие в рычажно-стержневых механизмах (РСМ), и его нагрузка определяет мощность привода механизма, которая необходима для совершения полезной работы, соответствующей назначению данного механизма.

Для определения общей нагрузки на ведущем звене механизма необходимо «привести» все нагрузки механизма к его ведущему звену [1].

При приведении сложного плоскопараллельного движению звеньев его момент инерции определяется по формуле:

$$J_{O_{ЦМi}} = J_{ЦМi} + m_i \cdot r_{O_{ЦМi}}^2 \quad (1)$$

где:

$J_{ЦМi}$  – момент инерции звена относительно оси проходящей через центр масс;

$r_{ОЦМVi}$  – расстояние от центра масс до оси вращения  $O_{ЦМVi}$ .

Для механизма, звено которого имеет центр вращения  $O_i$  и, кроме собственного момента инерции  $J_{O_i}$ , имеет ещё в некоторой точке  $A$  присоединённую массу, то момент инерционных сил звена относительно оси  $O_i$  определяется как:

$$M_{ИНОi} = -(J_{O_i} + m_i \cdot r_{O_i A}^2) \cdot \varepsilon_{O_i} \quad (2)$$

где:

$r_{O_i A}^2$  – квадрат расстояния от оси вращения (качания) звена  $O_i$  до точки расположения центра присоединённых масс  $m_i$ .

В передаточных механизмах значения передаточных отношений определяются углом качания и длиной рычагов, а соединительные шатуны не искажают закон движения.

Значение углов качания рычагов следует принимать таким, чтобы изменение частных передаточных отношений  $i_{ЧАСТH}$  по ступеням передачи за цикл движения привода по своей величине не превосходило бы  $5 \div 7\%$  от своего среднего значения [2]. В этом случае, если массу шатунов перенести в центры их шарниров на качающиеся рычаги [3], то величинами угла поворота и собственного момента инерции шатунов  $J_{Шi}$  можно пренебречь. Масса каждого шатуна разделяется и приводится к двум базовым звеньям: предыдущему и последующему.

На рис. 1 (а, б, в) показаны шатуны рычажно-стержневого механизма симметричные относительно продольной оси и с центром масс (ЦМ), смещённым относительно его середины.

Рассмотрим 4-х ступенчатый механизм, в котором каждая ступень (диада) может иметь частное передаточное отношение на интервале:

$$i_{ОБЩ} = i_{ЧАСТH1} \cdot i_{ЧАСТH2} \cdot i_{ЧАСТH3} \cdot i_{ЧАСТH4} = 0,25 \div 1,0 \div 4,0 \quad (3)$$

Для механизма, рис. 2, рычаг  $AO_1$  – *ведущие* базовое звено приведения.  $J_{МХМ}$  – приведенный момент инерции механизма относительно оси  $O_1$ ;  $m_{ПРВ}^A$  – приведенная масса механизма в точке  $A$  базового рычага  $AO_1$ .

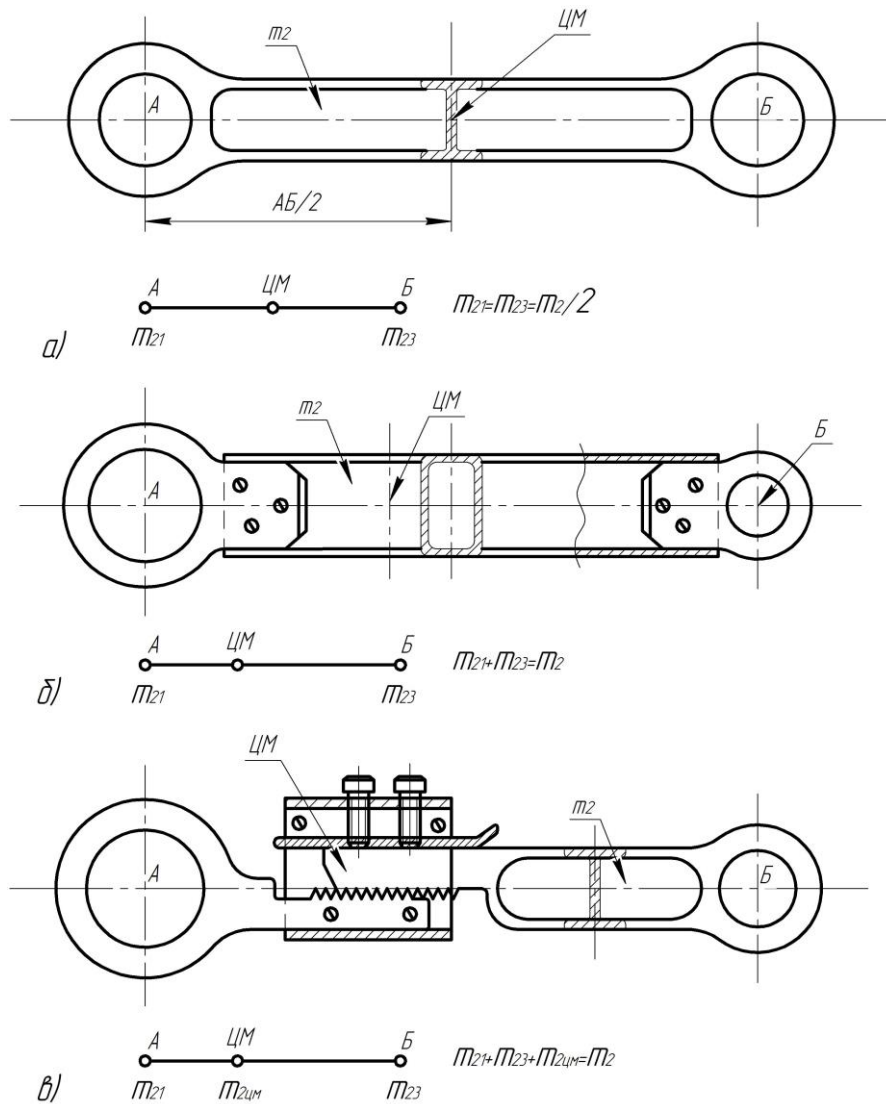


Рис. 1. Шатуны рычажно-стержневого механизма

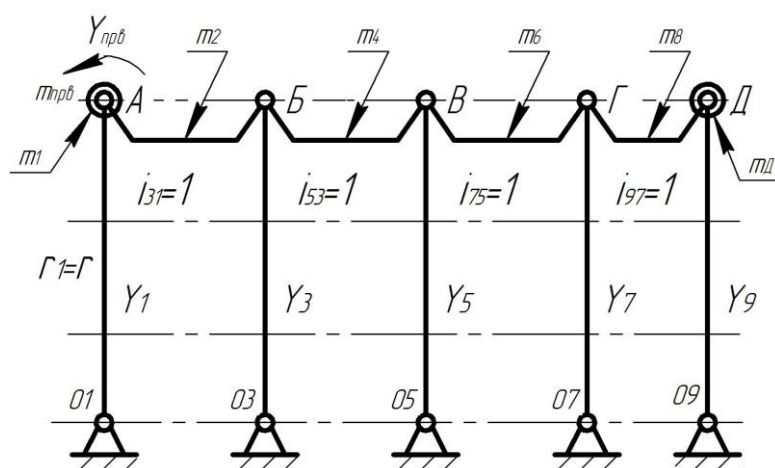


Рис. 2. Рычажно-стержневой механизм (PCM)

В соответствии с кинематической схемой (КС) привода обозначим:

–  $AO_1$ ;  $BO_3$ ;  $BO_5$ ;  $GO_7$  – рычаги-коромысла, качающиеся вокруг неподвижных осей  $O_i$ , их моменты инерции:  $J_1, J_3, J_5, J_7$ .

–  $AB$ ;  $BB$ ;  $BГ$  и  $ГД$  – поступательно движущиеся шатуны, имеющие массу:  $m_1$ ;  $m_2$ ;  $m_4$ ;  $m_6$ ;  $m_8$  соответственно, причём масса  $m_1$  – присоединённая масса привода, а  $m_8$  – масса условного рабочего органа механизма.

Приведённый момент инерции  $J_{ПРВ}^{МХМ}$ , и приведённая масса  $m_{ПРВ}^{МХМ}$  механизма имеющего  $n$  звеньев, КС (рис.2) будут равны [1]:

$$J_{ПРВ}^{МХМ} = \sum m_i \cdot (v_i / \omega_1)^2 + \sum J_i \cdot (\omega_i / \omega_1)^2 \quad (5)$$

$$m_{ПРВ}^{МХМ} = J_{ПРВ}^{МХМ} / AO_1^2 \quad (6)$$

где:

$m_i$  и  $J_i$  – присоединённая масса и собственный момент инерции приводимого звена  $i$ ;

$v_i$  – скорость центра масс  $m_i$ ;

$\omega_i$  – угловая скорость приводимого звена;

$\omega_1$  – угловая скорость звена приведения, может быть выражен суммой инерционных параметров его звеньев и условий их приведения:

$$\begin{aligned} J_{ПРВ}^{МХМ} = & m_1 (v_1 / \omega_1)^2 + J_1 (\omega_1 / \omega_1)^2 + m_{21} (v_1 / \omega_1)^2 + \\ & + m_{23} (v_3 / \omega_1)^2 + J_3 (\omega_3 / \omega_1)^2 + m_{43} (v_3 / \omega_1)^2 + \\ & + m_{45} (v_5 / \omega_1)^2 + J_5 (\omega_5 / \omega_1)^2 + m_{65} (v_5 / \omega_1)^2 + \dots + \\ & + m_{(i-1)i} (v_i / \omega_1)^2 + J_i \cdot (\omega_i / \omega_1)^2 + m_{(i+1)i} (v_i / \omega_1)^2 + \dots + \\ & + m_{(n-1)n} (v_n / \omega_1)^2 + J_n (\omega_n / \omega_1)^2 + m_{(n+1)n} (v_n / \omega_1)^2 \end{aligned} \quad (7)$$

где:

$J_1, J_3, J_5, \dots, J_n$  – моменты инерции базовых звеньев: 1, 3, 5, ...,  $n$  относительно их осей вращения:  $O_1, O_3, O_5, \dots, O_n$ ;

$m_{21}, m_{23}, m_{43}, m_{45}, \dots, m_{n(n+1)}$  – массы звеньев: 2, 4, 6, ...,  $(n+1)$  распределенные по шарнирам рычагов: 2, 4, 6, 8, ..., т.е

$m_2 = m_{21} + m_{23}, m_4 = m_{43} + m_{45}, \dots, m_i = m_{i(i-1)} + m_{i(i+1)}$  и т.д.

Заменим в формуле (7) выражение  $(v_i / \omega_1)$  на  $r_{OKi}^2 \cdot (\omega_i / \omega_1)^2$ .

где:

$\omega_i$  – угловая скорость звена приведения, имеющая индекс  $i$ , где  $(i-2)$  – индекс предыдущего базового звена приведения, а  $(i+2)$  – индекс последующего звена приведения.

В связи с тем, что массы последующих звеньев: 2; 4; 6; ...  $i+1$ , ...  $n$ , разделяются и приводятся и к предыдущему звену, и к последующему, индексы приводимой (разделяемой) массы будет либо  $i(i-1)$ , либо  $i(i+1)$ .

Выражения:  $m_1 \cdot r_{O1A}^2, m_{21} \cdot r_{O1A(A1)}^2, m_{23} \cdot r_{O3B(B1)}^2, \dots, m_{(i+1)i} \cdot r_{OKi}^2$  – есть моменты инерции некоторой части массы шатунов, последовательно при-

соединённой к рычагам:  $AO_1, BO_3, BO_5, GO_7, \dots, KO_i$  в точках:  $A(A_1), B(B_1), B(B_1), G(G_1), \dots, KK_i$ .

где:

$r_{OK_i}$  – расстояние от оси поворота  $O_i$   $i$ -ого звена приведения ( $K_iO_i$ ), до точки  $K_i$ , в которой сосредоточена часть массы  $m_{(i-1)i}$  предыдущего звена механизма, и/или части массы  $m_{(i+1)i}$  следующего звена механизма ( $K_iK_{i+1}$ );

$\omega_i, c^{-1}$  – угловая скорость вращения  $i$ -того базового звена механизма (рычага  $K_iO_i$ ) вокруг его неподвижной оси  $O_i$ ;  $\omega_1$ ,

$c^{-1}$  – угловая скорость вращения 1-ого, *ведущего*, базового звена приведения ( $A_1O_1$ ) вокруг оси его вращения  $O_1$ .

Заметим, что  $(\omega_i/\omega_1)$  – есть передаточное отношение между  $i$ -той и 1-ой ступенью передачи. Назовем отношение любой последующей ступенью передачи к её первой ступени *передаточным отношением приведения*. Тогда, передаточные отношения приведения ступеней передачи запишем в виде:

$$\begin{aligned} (i_{\text{ЧАСТН1}} i_{\text{ЧАСТН1}})^2 &= i_{(1/1)}^2 = 1; \\ (i_{\text{ЧАСТН1}} \times i_{\text{ЧАСТН2}} i_{\text{ЧАСТН1}})^2 &= (i_{\text{ЧАСТН2}})^2 = i_{(2/1)}^2; \\ (i_{\text{ЧАСТН1}} \times i_{\text{ЧАСТН2}} \times i_{\text{ЧАСТН3}} i_{\text{ЧАСТН1}})^2 &= (i_{\text{ЧАСТН2}} \times i_{\text{ЧАСТН3}})^2 = i_{(3/1)}^2; \\ (i_{\text{ЧАСТН1}} \times i_{\text{ЧАСТН2}} \times i_{\text{ЧАСТН3}} \times i_{\text{ЧАСТН4}} i_{\text{ЧАСТН1}})^2 &= i_{(4/1)}^2; \\ (i_{\text{ЧАСТН1}} \times i_{\text{ЧАСТН2}} \times i_{\text{ЧАСТН3}} \times \dots \times i_{\text{ЧАСТН}i} i_{\text{ЧАСТН1}})^2 &= i_{(i/1)}^2, \end{aligned} \quad (8)$$

Таким образом, произведение  $[J_i^{m(i-1)i} + J_i + J_i^{m(i+1)i}] \cdot (\omega_i/\omega_1)^2$ , представляющее собой приведённый к *ведущему* звену суммарный момент инерции  $i$ -того звена приведения с учетом (8) представить в виде:

$$J_i^{PPB} = [J_i^{m(i-1)i} + J_i + J_i^{m(i+1)i}] \cdot i_{(i/1)}^2, \text{ или } J_i^{PPB} = J_i^{\Sigma} \cdot i_{(i/1)}^2; \quad (9)$$

где:

$J_i^{PPB}$  – *частный*, приведённый к *ведущему*, 1-му базовому звену момент инерции  $i$ -того базового звена механизма (качающегося рычага-коромысла РСМ с учётом присоединённых масс от шатунных звеньев механизма:  $m_{(i-1)i}$  и  $m_{(i+1)i}$ , т.е. части массы шатунов и/или массы иных его элементов);

$J_i^{\Sigma}$  – *частный* (суммарный) момент инерции  $i$ -того базового качающегося рычага-коромысла РСМ с учётом присоединённых к нему части масс предыдущего и последующего звеньев механизма.

Для первого, *ведущего* звена приведения момент инерции  $J_1^{PPB}$  равен:

$$J_1^{PPB} = [J_1^{m1} + J_1 + J_1^{m21}] \cdot (\omega_1/\omega_1)^2, \text{ но так как } (\omega_1/\omega_1)^2 = 1, \text{ то:}$$

$$J_1^{PPB} = [J_1^{m1} + J_1 + J_1^{m21}] = J_1^{\Sigma}. \quad (10)$$

Для любого другого  $i$ -того рычага-коромысла РСМ,  $i$ -ый момент инерции, приведённый к первому, *ведущему* звену механизма, будет равен:

$$J_i^{PPB} = [J_i^{m(i-1)i} + J_i + J_i^{m(i+1)i}] \cdot i_{(i/1)}^2 = J_i^\Sigma \cdot i_{(i/1)}^2 \quad (11)$$

Таким образом, частный, приведённый к *ведущему* звену, момент инерции  $i$ -того звена механизма  $J_i^{PPB}$ , равен сумме собственного момента инерции  $J_i$  и приведённых к этому звену моментов инерции присоединённых масс:  $J_i^{m(i-1)i}$ ,  $J_i^{m(i+1)i}$ , т.е. частному моменту инерции  $i$ -ого *базового* звена  $J_i^\Sigma$ , умноженного на квадрат передаточного отношения приведения  $i_{(i/1)}^2$  данного  $i$  звена к *ведущему* звену (*базовому* звену 1).

Алгоритм расчета приведённого к *ведущему* звену механизма суммарного момента инерции всего механизма  $J_\Sigma^{PPB}$ .

1. Рассчитать собственные моменты инерции базовых звеньев частного приведения, т.е. рычагов-коромысел механизма.

2. Определить массу звеньев механизма совершающих возвратно-поступательное и/или поступательно-вращательное движение.

3. Распределить массы шатунов по их шарнирам на каждом базовом звене частного приведения.

4. Рассчитать значения радиусов от оси поворота до положения присоединённых масс на каждом базовом звене частного приведения.

5. Рассчитать моменты инерции присоединённых масс для каждого базового звена частного приведения.

6. Суммировать собственные моменты инерции базовых звеньев  $J_i$  с моментами инерции от присоединённых к ним масс, т.е. определить суммарные моменты инерции базовых звеньев  $J_i^\Sigma$ .

7. Знать или задать: общее передаточное отношение  $i_{\text{ОБЩ}}$  для механизма в целом; частные передаточные отношения  $i_{\text{ЧАСТН } i}$ , по всем ступеням механизма.

8. Рассчитать по ступеням приведения для всей передачи *передаточные отношения приведения*  $i_{(i/1)}$  и значения их *квадратов*  $i_{(i/1)}^2$ .

10. Рассчитать частные суммарные приведённые моменты инерции  $J_i^{PPB}$  базовых звеньев механизма.

11. Рассчитать, приведённый к *ведущему* звену, момент инерции всего механизма, просуммировав частные суммарные приведённые моменты инерции  $J_i^{PPB}$  базовых звеньев механизма:

$$J_{MXM} = J_\Sigma^{PPB} = J_1^{PPB} + J_2^{PPB} + J_3^{PPB} + \dots + J_i^{PPB} + \dots + J_n^{PPB}. \quad (12)$$

Рассмотрим предложенный алгоритм на примере модели механизма (рис. 2).

Для расчета примем следующие исходные данные:

1.  $AO_1 = BO_3 = BO_5 = \Gamma O_7 = r$  ;
2.  $AB = BV = B\Gamma = \Gamma D = O_1O_3 = O_3O_5 = O_5O_7 = r$  ;
3.  $m_1 = m_2 = m_4 = m_6 = m_8 = m$  ;
4.  $J_1 = J_3 = J_5 = J_7 = m \cdot r^2$  ;
5.  $m_{21} = m_{23} = m_2/2, m_{43} = m_{45} = m_4/2, m_{65} = m_{67} = m_6/2$ .

Тогда, частные (суммарные) моменты инерции базовых звеньев: 1; 3; 5; 7 с присоединёнными к ним массами звеньев: 2; 4; 6; 8, будут равны:

$$J_1^\Sigma = [J_1^{m(i-1)i} + J_1 + J_1^{m(i+1)i}],$$

где:  $J_1^\Sigma = m_1 \cdot r^2 + m \cdot r^2 + m_{21} \cdot r^2 = 2,5 \cdot m \cdot r^2$  ;

$$J_3^\Sigma = m_{23} \cdot r^2 + m \cdot r^2 + m_{43} \cdot r^2 = 2,0 \cdot m \cdot r^2$$
 ;
$$J_5^\Sigma = m_{45} \cdot r^2 + m \cdot r^2 + m_{65} \cdot r^2 = 2,0 \cdot m \cdot r^2$$
 ;
$$J_7^\Sigma = m_{67} \cdot r^2 + m \cdot r^2 + m_8 \cdot r^2 = 2,5 \cdot m \cdot r^2$$
 ,

Передаточные отношения приведения  $i_{(i/1)}$ , при заданных равным 1 частных передаточных отношениях РСМ (рис.2), также будут равны 1. Тогда *приведённый* к ведущему звену 1 момент инерции механизма  $J_{M1}$  будет равен:

$$J_{M1} = J_\Sigma^{IPB} = [J_1^\Sigma + J_3^\Sigma + J_5^\Sigma + J_7^\Sigma] \cdot I^2 = 9,0 \cdot m \cdot r^2 ; \quad (13)$$

Приведённая масса механизма по КСМ1  $m_{IPB}^{M1} = 9,0 \cdot m$ .

Суммарная масса механизма по КСМ1  $\sum m = 9,0 \cdot m$ .

На рис.3(а, б) приведены кинематические схемы 4-х ступенчатых РСМ редуктора М2 и мультипликатора М3 с  $i_{общ}$ , *равномерно распределённым* по ступеням передачи.

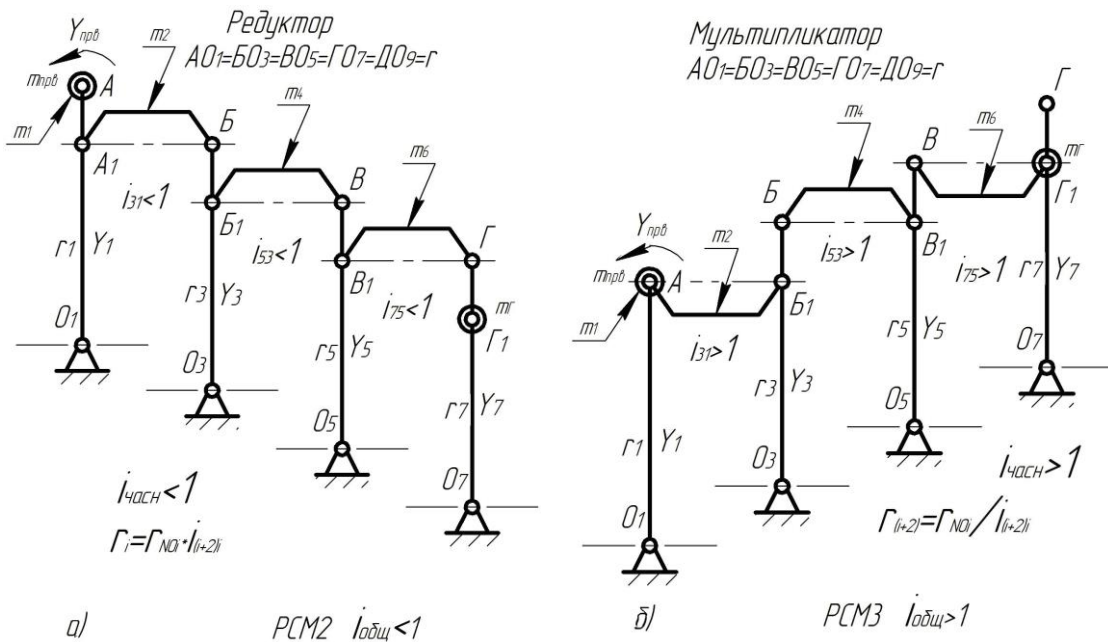


Рис. 3. Кинематические схемы (КС) 4-х ступенчатых (а) 7-и звенных рычажно-стержневых механизмов (РСМ) (б)

При этом значения общих и частных передаточных отношений будет для:

- редуктора:  $i_{\text{ОБЩ}} = 0,25$ ;  $i_{\text{ЧАСТН}} = 0,7071$ ;
- мультипликатора:  $i_{\text{ОБЩ}} = 4,0$ ;  $i_{\text{ЧАСТН}} = 1,4142$ .

Передаточные отношения *приведения* по ступеням передачи  $i_{(i/1)}$  будут для:

- редуктора:

$$i_{(1/1)} = 1,0; i_{(2/1)} = 0,7071; i_{(3/1)} = i_{(2/1)}^2 = 0,5; i_{(4/1)} = i_{(2/1)}^3 = 0,35354;$$

- мультипликатора:

$$i_{(1/1)} = 1,0; i_{(2/1)} = 1,4142; i_{(3/1)} = i_{(2/1)}^2 = 2,0; i_{(4/1)} = i_{(2/1)}^3 = 2,82835.$$

Квадраты значений передаточных отношений *приведения* по ступеням передачи  $i_{(i/1)}^2$  будут для:

- редуктора:

$$i_{(1/1)}^2 = 1,0; i_{(2/1)}^2 = 0,5; i_{(3/1)}^2 = i_{(2/1)}^4 = 0,25; i_{(4/1)}^2 = i_{(2/1)}^6 = 0,125;$$

- мультипликатора:

$$i_{(1/1)}^2 = 1,0; i_{(2/1)}^2 = 2,0; i_{(3/1)}^2 = i_{(2/1)}^4 = 4,0; i_{(4/1)}^2 = i_{(2/1)}^6 = 8,0.$$

Для редуктора (рис. 3а) частные (суммарные) моменты инерции базовых звеньев: 1; 3; 5; 7 с присоединёнными к ним массами звеньев: 2; 4; 6; 8, для принятых исходных данных, будут равны:

$$\begin{aligned} J_1^{\Sigma} &= m_1 \cdot r^2 + m \cdot r^2 + (m_2/2) \cdot (0,7071 \cdot r)^2 = 2 \cdot m \cdot r^2 + 0,5m \cdot 0,5r^2 = 2,25 \cdot m \cdot r^2; \\ J_3^{\Sigma} &= m_{23} \cdot r^2 + m \cdot r^2 + 0,5m_4 \cdot 0,5r^2 = 0,5 \cdot m \cdot r^2 + m \cdot r^2 + 0,25m \cdot r^2 = 1,75 \cdot m \cdot r^2; \\ J_5^{\Sigma} &= m_{45} \cdot r^2 + m \cdot r^2 + 0,5m_6 \cdot 0,5r^2 = 0,5 \cdot m \cdot r^2 + m \cdot r^2 + 0,25m \cdot r^2 = 1,75 \cdot m \cdot r^2; \\ J_7^{\Sigma} &= m_{67} \cdot r^2 + m \cdot r^2 + m_8 \cdot 0,5r^2 = 0,5 \cdot m \cdot r^2 + m \cdot r^2 + 0,5m \cdot r^2 = 2,0 \cdot m \cdot r^2. \end{aligned}$$

Частные моменты инерции базовых звеньев, приведённые к ведущему звену, будут равны:

$$\begin{aligned} J_1^{\text{ПРВ}} &= 2,25 \cdot m \cdot r^2 \times 1 = 2,25 \cdot m \cdot r^2; \\ J_3^{\text{ПРВ}} &= 1,75 \cdot m \cdot r^2 \times i_{(2/1)}^2 = 1,75 \cdot m \cdot r^2 \times 0,5 = 0,875 \cdot m \cdot r^2; \\ J_5^{\text{ПРВ}} &= 1,75 \cdot m \cdot r^2 \times i_{(3/1)}^2 = 1,75 \cdot m \cdot r^2 \times 0,25 = 0,4375 \cdot m \cdot r^2; \\ J_7^{\text{ПРВ}} &= 2,0 \cdot m \cdot r^2 \times i_{(4/1)}^2 = 2,0 \cdot m \cdot r^2 \times 0,35354 = 0,7071 \cdot m \cdot r^2. \end{aligned}$$

Момент инерции редуктора (рис.3а), *приведённый* к ведущему звену 1 механизма будет равен:

$$J_{M2} = \sum J_i^{\text{ПРВ}} = [2,25 + 0,875 + 0,4375 + 0,7071] \cdot m \cdot r^2 = 4,27 \cdot m \cdot r^2. \quad (14)$$

*Приведённая масса* механизма по КСМ2  $m_{\text{ПРВ}}^{M2} = 4,27 \cdot m$ .



Суммарная масса механизма по КСМ2  $\sum m = 9,0 \cdot m$ .

Для мультипликатора (рис. 3б) для принятых исходных данных, частные моменты инерции базовых звеньев: 1; 3; 5; 7 будут равны:

$$\begin{aligned} J_1^\Sigma &= m_1 \cdot r^2 + m \cdot r^2 + m_{21} \cdot (1 \cdot r)^2 = m \cdot r^2 + m \cdot r^2 + 0,5m \cdot r^2 = 2,5 \cdot m \cdot r^2; \\ J_3^\Sigma &= m_{23} \cdot (0,7071 \cdot r)^2 + m \cdot r^2 + m_{43} \cdot r^2 = 0,5m \cdot 0,5r^2 + m \cdot r^2 + 0,5m \cdot r^2 = \\ &= 1,75m \cdot r^2; \\ J_5^\Sigma &= m_{45} \cdot (0,7071 \cdot r)^2 + m \cdot r^2 + m_{65} \cdot r^2 = 0,5m \cdot 0,5r^2 + m \cdot r^2 + 0,5m \cdot r^2 = \\ &= 1,75m \cdot r^2; \\ J_7^\Sigma &= m_{67} \cdot (0,7071 \cdot r)^2 + m \cdot r^2 + m_8 \cdot r^2 = 0,5m \cdot 0,5r^2 + m \cdot r^2 + m \cdot r^2 = 2,25 \cdot m \cdot r^2. \end{aligned}$$

Частные моменты инерции базовых звеньев, приведённые к ведущему звену, будут равны:

$$\begin{aligned} J_1^{\text{ПРВ}} &= 2,5 \cdot m \cdot r^2 \times 1 = 2,5 \cdot m \cdot r^2; \\ J_3^{\text{ПРВ}} &= 1,75 \cdot m \cdot r^2 \times i_{(2/1)}^2 = 1,75 \cdot m \cdot r^2 \times 2,0 = 3,5 \cdot m \cdot r^2; \\ J_5^{\text{ПРВ}} &= 1,75 \cdot m \cdot r^2 \times i_{(3/1)}^2 = 1,75 \cdot m \cdot r^2 \times 4,0 = 7,0 \cdot m \cdot r^2; \\ J_7^{\text{ПРВ}} &= 2,25 \cdot m \cdot r^2 \times i_{(4/1)}^2 = 2,25 \cdot m \cdot r^2 \times 8,0 = 18,0 \cdot m \cdot r^2. \end{aligned}$$

Момент инерции мультипликатора (рис.3б), приведённый к ведущему звену 1 механизма будет равен:

$$J_{M3} = \sum J_i^{\text{ПРВ}} = [2,5 + 3,5 + 7,0 + 18,0] \cdot m \cdot r^2 = 31,0 \cdot m \cdot r^2. \quad (15)$$

Приведённая масса механизма по КСМ3  $m_{\text{ПРВ}}^{M3} = 31,0 \cdot m$ .

Суммарная масса механизма по КСМ3  $\sum m = 9,0 \cdot m$ .

## Выводы:

1. Предложен алгоритм расчета приведённого к ведущему звену механизма суммарного момента инерции всего механизма  $J_\Sigma^{\text{ПРВ}}$ .

2. По предложенному алгоритму проведен расчет для 4-х ступенчатых РСМ, имеющих форму канонических параллелограммов с равномерным распределением масс и общего передаточного отношения по ступеням передачи с  $i_{\text{ОБЩ1}} = 1,0$ ; для редуктора с  $i_{\text{ОБЩ2}} = 0,25$ ; для мультипликатора с  $i_{\text{ОБЩ3}} = 4,0$ ;

3. Анализ полученных результатов показал:

– при равных ускорениях ведущего звена 1 (рис.2), моменты инерционных сил на ведущем звене  $M_{\text{ИНО1}}$  и приведённые инерционные массы  $m_{\text{ПРВ}}^{O1}$  4-х ступенчатых РСМ передач, у редуктора в 2,11 раза меньше, а у мультипликатора в 3,44 раза больше, чем у равной по массе РСМ передачи с  $i_{\text{ОБЩ}} = 1,0$ ;

– момент инерционных сил  $M_{\text{ИН}}$  и приведённая инерционная масса  $m_{\text{ПРВ}}^{O1}$  в приводе 4-х ступенчатого редуктора в 7,26 раза меньше, чем  $M_{\text{ИН}}$  и  $m_{\text{ПРВО1}}$  в приводе мультипликатора.

### Список литературы

1. **Артоболевский И.И.** Теория механизмов и машин. М.: Наука. 1988. 640 с.
2. **Макаров В.А., Хозина Е.Н., Гаврилов А.Н.** Использование четырёхзвенников в качестве элементов рычажно-стержневой трансмиссии зевобразующих механизмов ткацких машин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2012, №3, с. 102–108.
3. **Макаров В.А., Хозина Е.Н., Гаврилов А.Н.** Анализ распределения передаточного отношения по ступеням механизма привода ремиз // Химические волокна. 2013, №4, с. 46–51.
4. **Решетов Л.Н.** Конструирование рациональных механизмов. М.: Машиностроение, 1972, 256 с.
5. **В.А. Макаров, Е.Н. Хозина, А.Н. Гаврилов.** Оптимальное распределение передаточного отношения в редукторе и мультипликаторе // Сборник научных трудов семинара «Современные технологии в горном машиностроении». – М.: МГГУ. – 2014. с. 353–359.