

Расчёт податливости шарнирной упругой муфты

08, август 2015

Богачёв В.Н.¹, Аникина В.С.^{1,*}

УДК 621.825

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

dm-rk-3@yandex.ru

*vinsina@rambler.ru

Введение

Муфта [1], изображённая на рис. 1, содержит две полумуфты 1 и 2, связанных между собой соединительными элементами. Число соединительных элементов в муфте – не менее трёх. Каждый соединительный элемент выполнен в виде двух звеньев 3 и 4, шарнирно связанных между собой и с полумуфтами 1 и 2 соответственно. Шарниры 5, 6, 7 выполнены упругими в виде резиновых втулок, привулканизованных к цилиндрическим стержням 8 и наружным обоймам 9. Муфта обладает крутильной податливостью и способна компенсировать осевые, радиальные и угловые смещения валов.

Особенностью рассматриваемой муфты являются малая крутильная и высокая осевая податливости, что определяет область её применения, например, для соединения тяжело нагруженного плавающего вала с другим валом или двух плавающих валов.

Для практического использования муфты необходимо уметь определять её нагрузочную способность и осевую силу, действующую со стороны муфты на соединяемые валы и опоры валов. В настоящее время такие расчёты отсутствуют, поэтому материал статьи является актуальным.

1. Определение вращающего момента T

На рис. 2 и рис. 3 показаны вид на муфту по стрелке B на рис. 1.

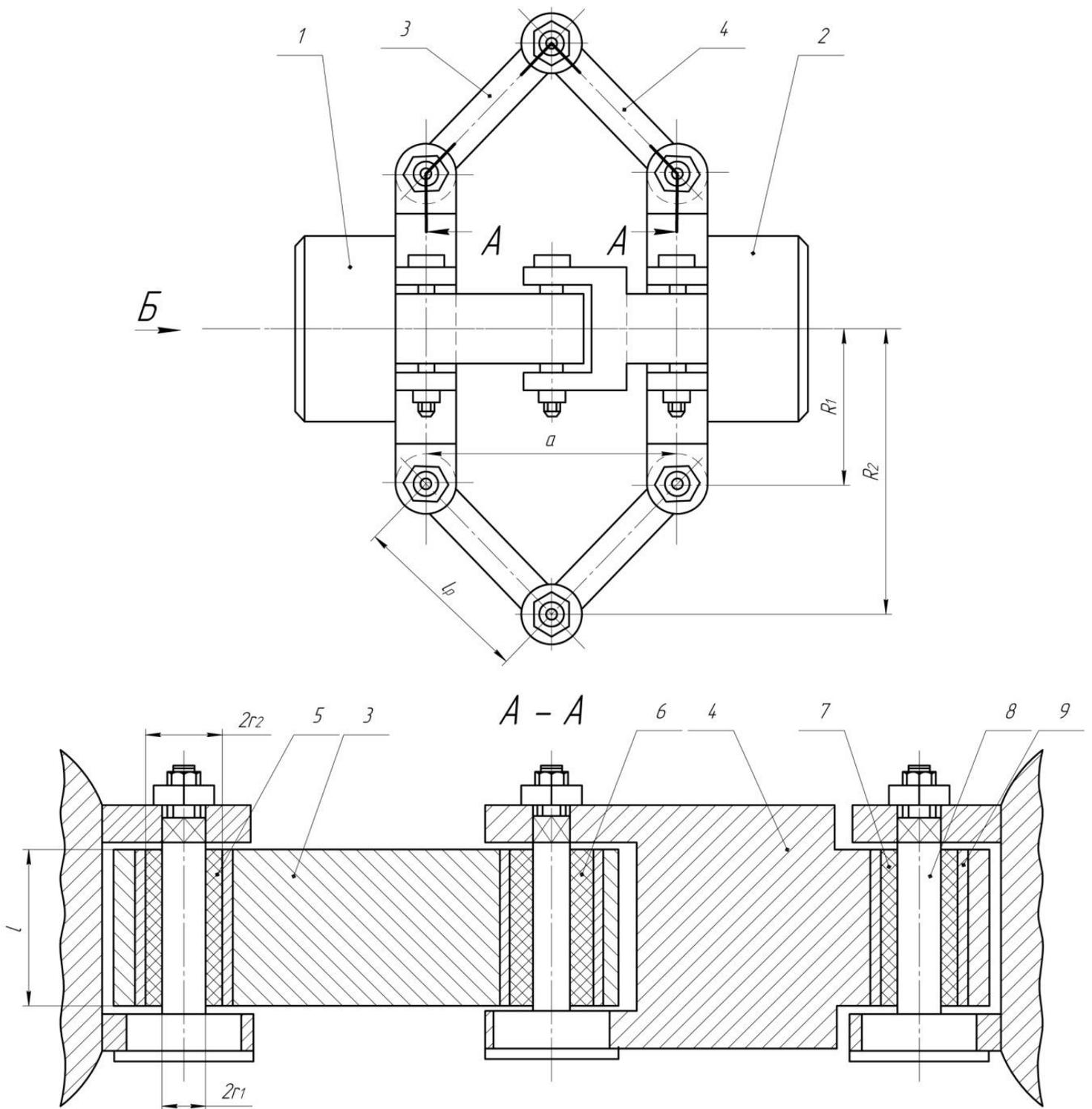


Рис. 1. Упруго-компенсирующая муфта с резинометаллическими шарнирами:

- 1, 2 – полумуфты;
- 3, 4 – звенья соединительных элементов;
- 5, 6, 7 – резиновые втулки;
- 8 – цилиндрический стержень;
- 9 – наружная обойма.

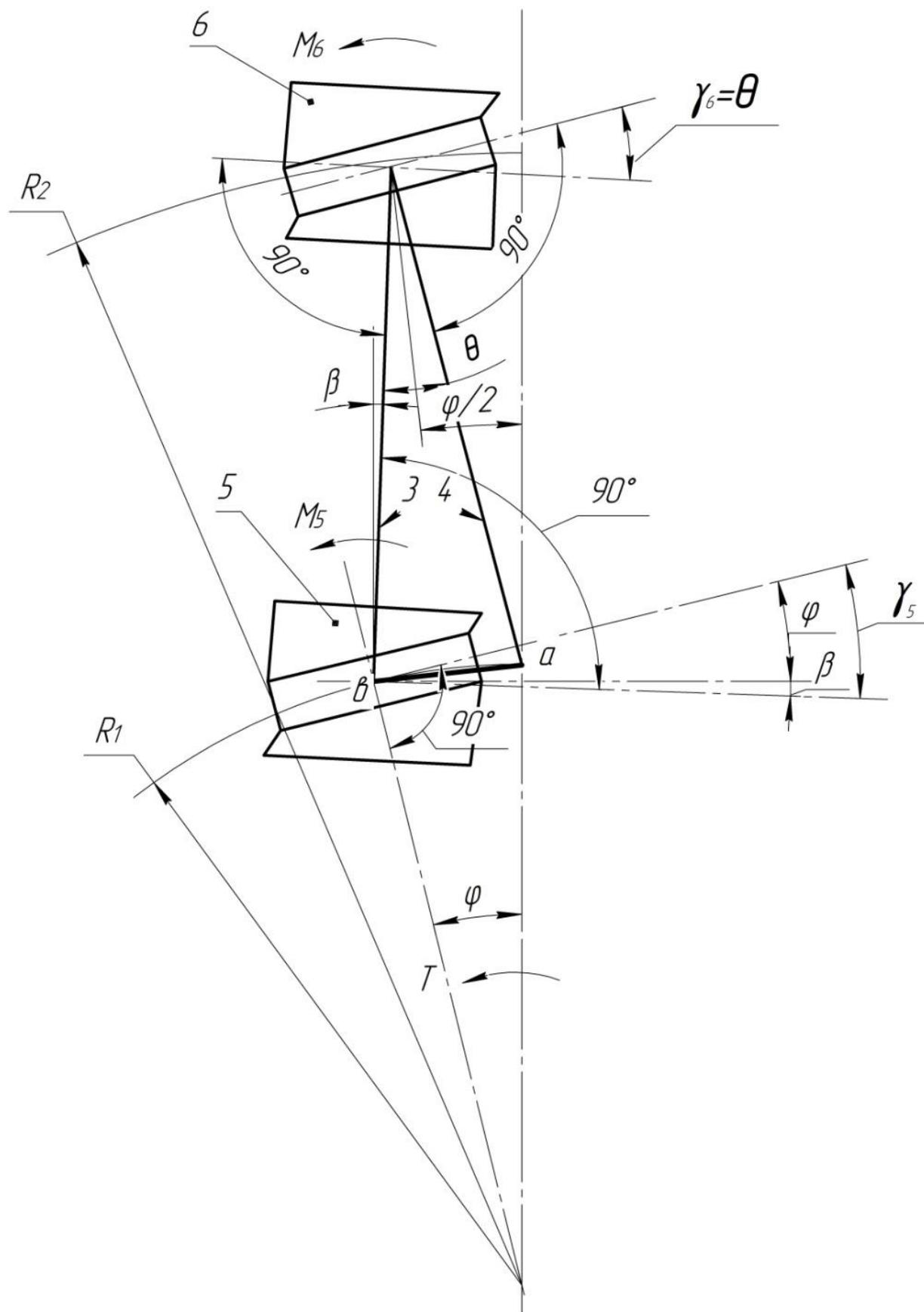


Рис. 2. Расчётная схема для определения углов перекоса γ_5 и γ_6 резинометаллических шарниров 5 и 6:
3 и 4 - стержни, заменяющие звенья 3 и 4 соединительных элементов.

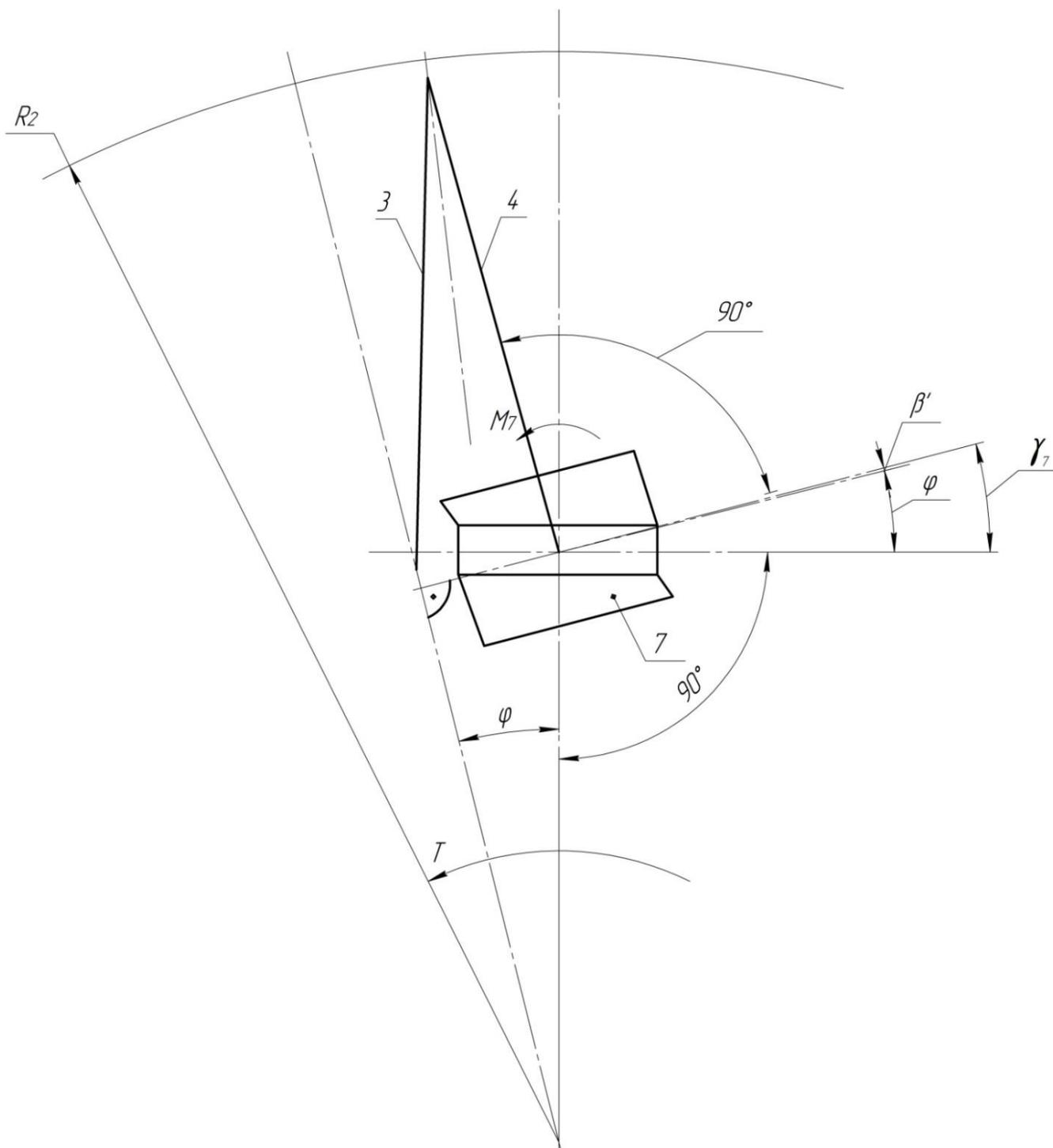


Рис. 3. Расчётная схема для определения угла перекоса γ_7 резинометаллического шарнира 7:

3 и 4 - стержни, заменяющие звенья 3 и 4 соединительных элементов.

На этих рисунках показана только одна пара звеньев 3 и 4. Чтобы не загромождать расчётные схемы несущественными элементами, звенья 3 и 4 изображены в виде стержней, а наружные обоймы 9 не показаны.

При нагружении муфты вращающим моментом взаимное смещение полумуфт рассмотрим, как смещение одной полумуфты при неподвижной другой. При повороте подвижной полумуфты 1 относительно неподвижной полумуфты 2 на угол φ оси стержней

8 и наружных обойм 9 шарниров 5, 6, 7 перекашиваются на углы $\gamma_5, \gamma_6, \gamma_7$ соответственно.

Рассмотрим перекосы шарниров 5 и 7 на углы γ_5 (рис. 2) и γ_7 (рис. 3) $\gamma_5 = \varphi + \beta$, $\gamma_7 = \varphi + \beta'$. Вследствие малой величины углов β и β' приближенно принимаем

$$\gamma_5 = \gamma_7 = \varphi. \quad (1)$$

Чтобы вызвать перекося γ (рис. 4) к шарниру надо приложить момент

$$M_\gamma = F_r \frac{l}{2}, \quad (2)$$

где F_r - радиальная сила, вызывающая радиальное смещение Δr , l - длина шарнира.

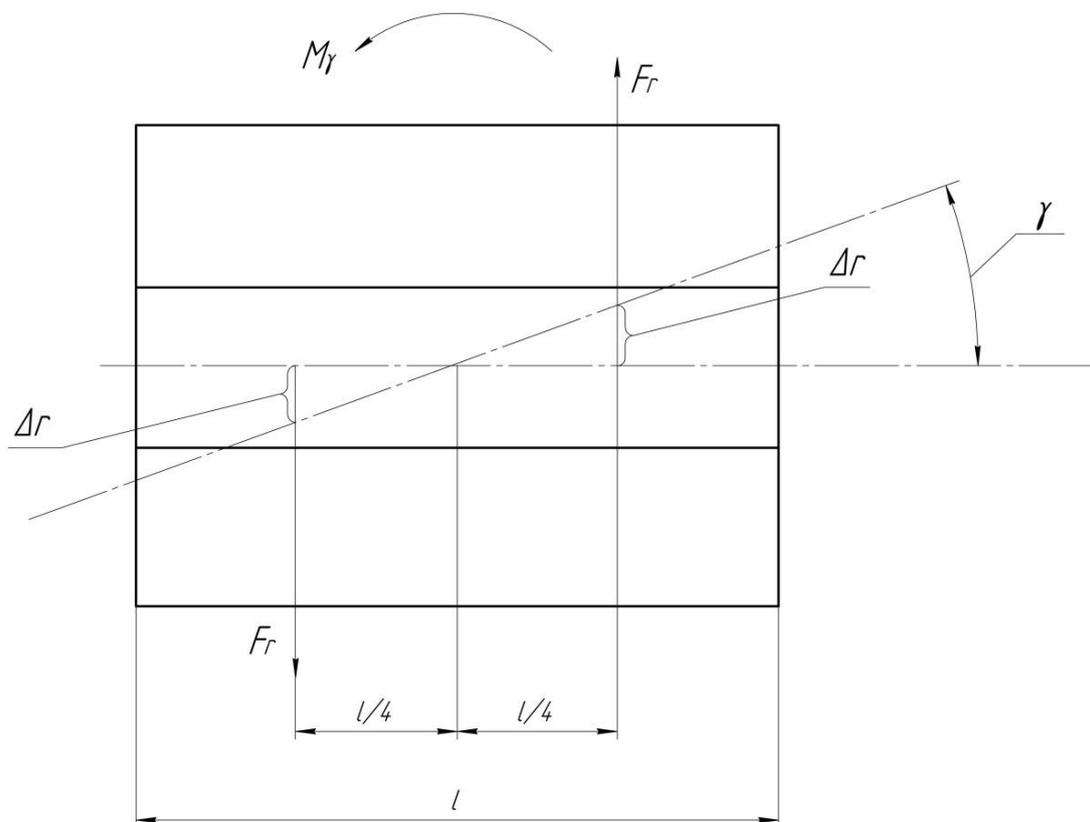


Рис. 4. Расчётная схема для определения среднего радиального смещения Δr при перекосе резинометаллического шарнира на угол γ .

Среднее радиальное смещение на длине $\frac{l}{2}$

$$\Delta r = \frac{l}{4} \operatorname{tg} \gamma. \quad (3)$$

Формула для определения силы F_r при известном радиальном смещении Δr приведена в работах [2, 3]

$$F_r = \Delta r \cdot \frac{3\pi G l}{2} \cdot \frac{l^2 + 6(r_2 - r_1)^2}{l^2 + 3(r_1 + r_2)^2} \cdot \frac{(r_1 + r_2)^3}{(r_2 - r_1)^3} = \Delta r C_p, \quad (4)$$

где

$$C_p = \frac{3\pi G l}{2} \cdot \frac{l^2 + 6(r_2 - r_1)^2}{l^2 + 3(r_1 + r_2)^2} \cdot \frac{(r_1 + r_2)^3}{(r_2 - r_1)^3}$$

- радиальная жёсткость шарниров 5, 6 и 7.

Формула (2) справедлива при отношениях $\frac{r_2}{r_1} < 2$ и $\frac{l}{(r_1 + r_2)} > 6$. Применительно к расчётной схеме на рис. 4 второе ограничение принимает вид $\frac{l}{2(r_1 + r_2)} > 6$.

Подставив (4) в (2) и учитывая (1) и (3) получим

$$M_5 = M_7 = \frac{l}{8} C_p \operatorname{tg} \varphi. \quad (5)$$

Далее рассмотрим перенос шарнира 6 на угол $\gamma_6 = \theta$. Найдём угол θ .

Длина l_{ab} хорды кругового сектора с центральным углом φ и радиусом R_1 (рис. 2)

$$l_{ab} = 2R_1 \sin \frac{\varphi}{2}. \quad (6)$$

Эта хорда принадлежит одновременно и центральному углу θ с радиусом $R_2 - R_1$

$$l_{ab} = 2(R_2 - R_1) \sin \frac{\theta}{2}. \quad (7)$$

Приравняв правые части формул (6) и (7), получим

$$R_1 \sin \frac{\varphi}{2} = (R_2 - R_1) \sin \frac{\theta}{2},$$

откуда

$$\theta = 2 \arcsin \frac{R_1 \sin \frac{\varphi}{2}}{R_2 - R_1}.$$

Заменив в формуле (5) угол φ на угол θ получим

$$M_6 = \frac{l}{8} C_p \operatorname{tg} \theta. \quad (8)$$

Момент T , закручивающий муфту на угол φ

$$T = z(M_5 + M_6 + M_7), \quad (9)$$

где z - число соединительных элементов в муфте (в муфте на рис. 1 $z = 4$).

Подставив (5) и (8) в (9) окончательно получим

$$T = z \frac{l}{8} C_p (2 \operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \theta).$$

Определение осевой силы F_a

Расчётная схема представлена на рис. 5. Как и на рис. 2, 3 показана только одна пара звеньев 3 и 4, звенья 3 и 4 заменены стержнями. Шарниры 5, 6, 7 заменены точками, соответствующими продольным осям шарниров.

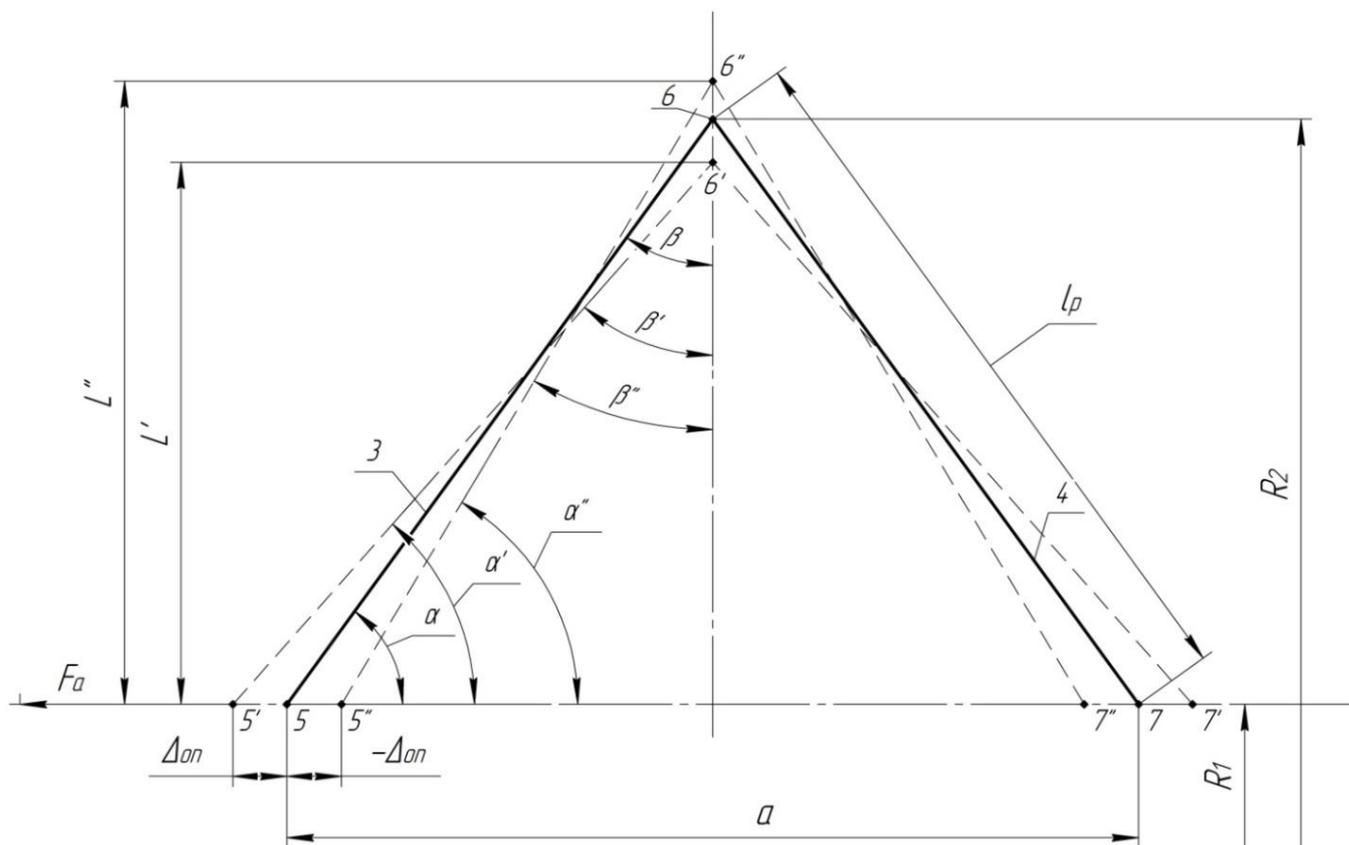


Рис. 5. Расчётная схема для определения осевой силы F_a , вызывающей осевое смещение полумуфт:

- 3 и 4 - стержни, заменяющие звенья 3 и 4 соединительных элементов;
- 5, 6, 7 - продольные оси резинометаллических шарниров 5, 6, 7.

Сначала рассмотрим шарниры 5 и 7.

$$\cos \alpha = \frac{a/2}{l_p},$$

где α - начальное (т.е. до осевых смещений полумуфт) продольное расстояние между осями шарниров 5 и 7 (рис. 1, 5); l_p - длина звеньев 3 и 4.

$$\cos \alpha'(\alpha'') = \frac{a/2 \pm \Delta_{оп}}{l_p}, \quad (10)$$

где $\Delta_{оп}$ - осевое перемещение каждой из полумуфт.

В формуле (10) и ниже знак плюс соответствует удалению полумуфт, а знак минус – сближению.

$$\Delta_{оп} = \frac{\Delta_o}{2},$$

где Δ_O - полное осевое смещение полумуфта.

При осевом смещении каждой из полумуфт на величину $+\Delta_{OII}$ шарниры 5 и 7 закручиваются на угол $\theta'_{5,7} = \alpha - \alpha'$, а при смещении $-\Delta_{OII}$ - на угол $\theta''_{5,7} = \alpha'' - \alpha$.

Вращающий момент $T'_{5,7}(T'_{5,7})$, необходимый для закручивания резинометаллического шарнира на угол $\theta'_{5,7}(\theta''_{5,7})$ определён в упомянутых выше работах [2], [3]

$$T'_{5,7}(T''_{5,7}) = \theta'_{5,7}(\theta''_{5,7}) \frac{4\pi G l r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} = \theta'_{5,7}(\theta''_{5,7}) \cdot C_\theta, \quad (11)$$

где

$$C_\theta = \frac{4\pi G l r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}$$

- крутильная жёсткость шарниров 5, 6, 7.

Закручивание шарниров 5 и 7 вызывает появление осевых сил $\pm F_{a5,7}$, действующих на полумуфты 1 и 2.

$$F_{a5,7} = \frac{T'_{5,7}}{L'}, \quad -F_{a5,7} = \frac{T''_{5,7}}{L''}, \quad (12)$$

где

$$L' = l_p \cdot \sin \alpha' \text{ и } L'' = l_p \cdot \sin \alpha''. \quad (13)$$

Подставив (11) и (13) в (12) получим

$$F_{a5,7} = C_\theta \frac{\theta'_{5,7}}{l_p \sin \alpha'}, \quad -F_{a5,7} = C_\theta \frac{\theta''_{5,7}}{l_p \sin \alpha''}. \quad (14)$$

Далее рассмотрим шарнир 6.

$$\sin \beta = \frac{a/2}{l_p}, \quad \sin \beta'(\beta'') = \frac{a/2 \pm \Delta_{OII}}{l_p}.$$

При осевом смещении одной из полумуфт на величину $+\Delta_{OII}$ шарнир 6 закручивается на угол $\theta'_6 = \beta - \beta'$, а при смещении $-\Delta_{OII}$ - на угол $\theta''_6 = \beta - \beta''$. Заменяя в формуле (11) углы $\theta'_{5,7}(\theta''_{5,7})$ на $\theta'_6(\theta''_6)$ получим

$$T'_6(T''_6) = \theta'_6(\theta''_6) \cdot C_\theta. \quad (15)$$

Закручивание шарнира 6 вызывает появление осевых сил $\pm F_{a6}$, действующих на полумуфты 1 и 2.

$$F_{a6} = \frac{T'_6}{L'}, \quad -F_{a6} = \frac{T''_6}{L''}, \quad (16)$$

Подставив (13) и (15) в (16), получим

$$F_{a6} = C_{\theta} \frac{\theta'_6}{l_p \sin \alpha'}, \quad -F_{a6} = C_{\theta} \frac{\theta''_6}{l_p \sin \alpha''}. \quad (17)$$

Осевые силы $\pm F_{an}$, перемещающие полумуфты на величину $\pm \Delta_{OP}$

$$\pm F_{an} = z(\pm F_{a5,7} \pm F_{a6}). \quad (18)$$

Подставив (14) и (17) в (18) получим

$$F_{an} = \frac{zC_{\theta}}{l_p \sin \alpha'} (\theta'_{5,7} + \theta'_6),$$

$$-F_{an} = \frac{zC_{\theta}}{l_p \sin \alpha''} (\theta''_{5,7} + \theta''_6).$$

Осевая сила, вызывающая осевое смещение полумуфт $\pm \Delta_o$

$$\pm F_a = \pm 2F_{an}.$$

При незначительных осевых смещениях полумуфт $F_a \cong |-F_a|$.

Заключение

Получены формулы для определения вращающего момента T , закручивающего муфту на угол φ , и осевой силы F_a , вызывающей осевое смещение полумуфт на величину Δ_o .

Список литературы

- [1]. Голованов Д.В., Снигирёва Н.И., Ряховский О.А., Богачев В.Н. Компенсационная муфта / А.С. 1551006 СССР. // «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки». 1990. №3.
- [2]. Бидерман В.Л. Расчёт резинометаллических и резинокордных элементов машин. Дис. . . . доктора технических наук. М.: НИИШП. 1958. 373 с.
- [3]. Потураев В.Н., Дырда В.И. Резиновые детали машин. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение. 1977. 216 с.