

УДК 621.771

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ЗУБЧАТОЙ МУФТЫ

Андрей Анатольевич Мальцев

доцент кафедр ФН-7 и МТ-10 МГТУ имени Н.Э. Баумана

e-mail: a.a.mal@bmstu.ru

Аннотация

Установлено приблизительное значение коэффициента распределения массы зубчатой муфты, входящей в состав электропривода рабочих валков прокатного стана, что существенно облегчает выполнение ориентировочного расчета ее осевого момента инерции.

Ключевые слова: металлургия, момент инерции, электропривод, муфта.

IDENTIFICATION OF THE GEAR COUPLING MOMENT OF INERTIA

Andrey A. Maltsev

associate professor of BMSTU ФН-7 and МТ-10 departments

e-mail: a.a.mal@bmstu.ru

ABSTRACT

The approximate value of the gear coupling mass distribution coefficient, which is part of the rolling mill working rolls electric drive, has been established, which greatly facilitates the approximate calculation of its axial moment of inertia.

Keywords: metallurgy, moment of inertia, electric drive, coupling.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью выполнения динамического расчета индивидуального электропривода рабочих валков в рамках дипломного проектирования прокатного стана.

Объект исследования — зубчатая муфта, входящая в состав электропривода рабочего валка прокатного стана (рис. 1).

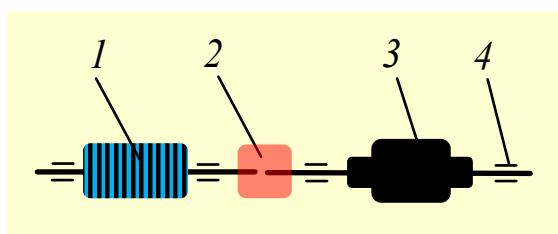


Рисунок 1. Кинематическая схема электропривода:

- 1 – ротор электродвигателя;
- 2 – зубчатая муфта;
- 3 – рабочий валок;
- 4 – подшипник

Цель исследования – указать студентам путь идентификации осевого момента инерции (динамического момента инерции) зубчатой муфты при построении дискретной динамической модели электропривода (рис. 2).

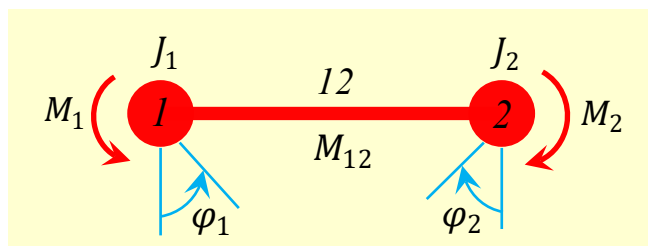


Рисунок 2. Динамическая расчетная схема электропривода:

- 1 – первый массивный диск;
- 2 – второй массивный диск
- 12 – невесомая упругая связь

Динамическая крутильно-колебательная модель электропривода (без учета люфта) записана в виде системы дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\begin{cases} J_1 \varepsilon_1 + M_{12} = M_1 \\ J_2 \varepsilon_2 - M_{12} = -M_2 \end{cases} \quad (1)$$

где

J_1 [кг · м²] – осевой момент инерции первого массивного диска;

J_2 [кг · м²] – осевой момент инерции второго массивного диска;

φ_1 [рад] – угловая координата первого массивного диска;

φ_2 [рад] – угловая координата второго массивного диска;

$\omega_1 = d\varphi_1/dt$ [рад/с] – угловая скорость первого массивного диска;

$\omega_2 = d\varphi_2/dt$ [рад/с] – угловая скорость второго массивного диска;

$\varepsilon_1 = d^2\varphi_1/dt^2$ [рад/с²] – угловое ускорение первого массивного диска;

$\varepsilon_2 = d^2\varphi_2/dt^2$ [рад/с²] – угловое ускорение второго массивного диска;

M_{12} [Н · м] – упругий крутящий момент невесомой связи;

$M_{12} = C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + B_{12}(\omega_1 - \omega_2)$; (2)

C_{12} [Н · м/рад] – крутильная жесткость связи;

B_{12} [Н · м · с/рад] – коэффициент демпфирования в связи;

M_1 [Н · м] – электромагнитный крутящий момент электродвигателя;

M_2 [Н · м] – крутящий момент технологического сопротивления (прокатки).

Задача исследования – требуется идентифицировать осевой момент инерции зубчатой муфты, состоящей из левой и правой полумуфт:

$$J_{\text{муфты}} = J_{\text{левой полумуфты}} + J_{\text{правой полумуфты}} \quad (3)$$

Тогда осевые моменты инерции первого и второго массивных дисков

$$J_1 = J_{\text{ротора электродвигателя}} + J_{\text{левой полумуфты}} \quad (4)$$

$$J_2 = J_{\text{рабочего валка}} + J_{\text{правой полумуфты}} \quad (5)$$

Материалы исследования – эскиз (рис. 3) и технические характеристики (табл. 1) зубчатой муфты, взятые с сайта завода ОАО «ЭЗТМ», а также эскиз (рис. 4) и технические

характеристики (табл. 2) зубчатой муфты, взятые по ГОСТ 5006 – 83 «Муфты зубчатые. Технические условия».

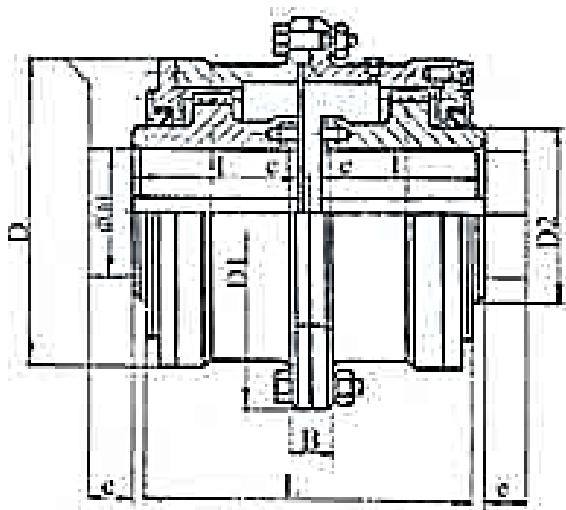


Рисунок 3. Эскиз зубчатой муфты конструкции ОАО «ЭЗТМ»:

<http://www.eztm.ru/catalog/otdelnye-mekhanizmy-i-uzly/mufty-zubchatye/>

Таблица 1. Технические характеристики муфты конструкции ОАО «ЭЗТМ»

| № муфты | d, мм. от...до | D, мм. | D1, мм. | D2, мм. | L, мм. | l, мм. | c, мм. | c1, мм. | B, мм. | e, мин. | Число об/мин, наиб. | Крутящий момент, кНм, не более |
|---------|----------------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|---------------------|--------------------------------|
| МЗ-9 | 100...160 | 335 | 430 | 210 | 332 | 165 | 5 | 30 | 50 | 40 | 1050 | 3 |
| МЗ-10 | 120...180 | 395 | 490 | 260 | 360 | 180 | 5 | 35 | 50 | 40 | 850 | 5 |
| МЗ-11 | 140...210 | 450 | 545 | 300 | 392 | 200 | 5 | 35 | 60 | 40 | 750 | 7,1 |
| МЗ-12 | 160...240 | 495 | 590 | 340 | 472 | 240 | 5 | 40 | 60 | 40 | 665 | 10 |
| МЗ-13 | 180...270 | 555 | 680 | 380 | 516 | 260 | 7,5 | 45 | 70 | 50 | 600 | 15 |
| МЗ-14 | 200...300 | 610 | 730 | 420 | 562 | 280 | 7,5 | 50 | 70 | 50 | 530 | 20 |
| МЗ-15 | 220...340 | 660 | 780 | 450 | 640 | 320 | 7,5 | 50 | 70 | 50 | 500 | 25 |
| МЗ-16 | 240...380 | 755 | 900 | 530 | 700 | 350 | 10 | - | 90 | 50 | 430 | 37,5 |
| МЗ-17 | 270...450 | 855 | 1000 | 600 | 800 | 400 | 10 | - | 90 | 50 | 375 | 56 |
| МЗ-18 | 340...500 | 950 | 1100 | 670 | 910 | 450 | 15 | - | 110 | 60 | 330 | 75 |
| МЗ-19 | 380...550 | 1050 | 1250 | 750 | 1090 | 485 | 15 | - | 110 | 60 | 300 | 100 |

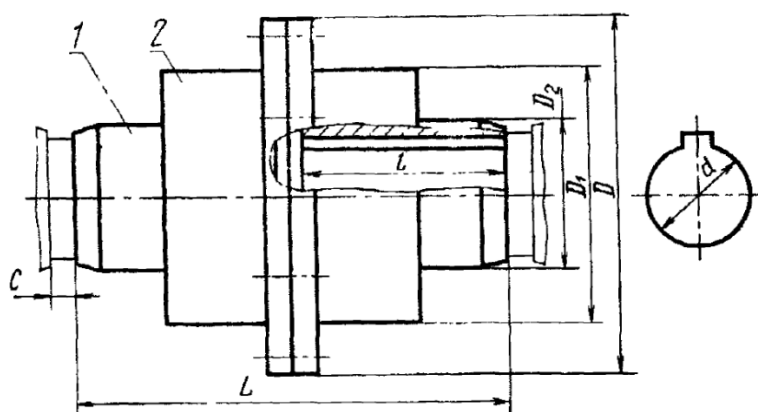


Рисунок 4. Эскиз зубчатой муфты по ГОСТ 5006 – 83:

1 – втулка; 2 – обойма

Таблица 2. Технические характеристики муфты по ГОСТ 5006 – 83

| Номинальный крутящий момент, Н·м | $d; d_1$ | D | D_1 | D_2 | l , не более | L , не бо- лее | C , не ме- нее | Частота вращения для типа 1, с ⁻¹ , не более | Динамический момент для типа 1, кг·м ² (справ.) | Масса для типа 1, кг, не более |
|----------------------------------|----------|-----|-------|-------|-------------------|------------------------|------------------------|---|--|--------------------------------|
| | не более | | | | | | | | | |
| 1000 | 40 | 145 | 105 | 60 | 82 | 174 | 12 | 90 | 0,05 | 6,7 |
| 1600 | 55 | 170 | 125 | 80 | | | | 80 | 0,06 | 9,2 |
| 2500 | 60 | 185 | 135 | 85 | 105 | 220 | 18 | 75 | 0,08 | 11,2 |
| 4000 | 65 | 200 | 150 | 95 | | | | 62 | 0,15 | 15,2 |
| 6300 | 80 | 230 | 175 | 115 | 130 | 270 | 55 | 0,25 | 22,6 | |
| 10000 | 100 | 270 | 200 | 145 | 165 | 340 | 25 | 47 | 0,50 | 40,5 |
| 16000 | 120 | 300 | 230 | 175 | | | | 40 | 1,15 | 62,5 |
| 25000 | 140 | 330 | 260 | 200 | 200 | 415 | 30 | 35 | 2,25 | 100,0 |
| 40000 | 160 | 410 | 330 | 230 | | | | 29 | 6,00 | 164,3 |
| 63000 | 200 | 470 | 390 | 290 | 240 | 500 | 35 | 20 | 10,50 | 228,0 |

Метод исследования – аналитический.

Осевой момент инерции полумуфты складывается из осевого момента инерции зубчатой обоймы и осевого момента инерции зубчатой втулки:

$$J_{\text{полумуфты}} \approx J_{\text{обоймы}} + J_{\text{втулки}}, \quad (6)$$

Осевой момент инерции зубчатой обоймы зависит от массы обоймы и от распределения этой массы и может быть точно вычислен по формуле

$$J_{\text{обоймы}} = \int r^2 dm = \int \rho r^2 dV, \quad (7)$$

где

$dm = \rho dV$ – масса малого элемента объема обоймы dV ;

ρ – плотность материала обоймы;

r – расстояние от элемента dV до оси вращения обоймы.

Осевой момент инерции зубчатой втулки также зависит от массы втулки и от распределения этой массы:

$$J_{\text{втулки}} = \int r^2 dm = \int \rho r^2 dV, \quad (8)$$

где

$dm = \rho dV$ – масса малого элемента объема втулки dV ;

ρ – плотность материала втулки;

r – расстояние от элемента dV до оси вращения втулки.

Автор предлагает студентам воспользоваться упрощенной методикой ориентировочного расчета осевого момента инерции зубчатой муфты, приведенной в учебнике [1]:

$$J_{\text{муфты}} = K_m m D_{\text{нар}}^2, \quad (9)$$

где

K_m – коэффициент распределения массы муфты;

m – масса муфты;

$D_{\text{нар}}$ – наружный диаметр муфты.

По данным, взятым из книги [2], коэффициент распределения массы сплошного вала равен 0,125, коэффициент распределения массы полого вала равен 0,25, коэффициент распределения массы шкива равен 0,15, коэффициент распределения массы зубчатого колеса равен 0,16, а коэффициент распределения массы соединительной муфты равен 0,11.

Результат исследования – найдено среднеарифметическое значение коэффициента распределения массы зубчатой муфты, которое оказалось примерно равным 0,4 (табл. 3).

Таблица 3. Зубчатая муфта по ГОСТ 5006 – 83

| Номинальный крутящий момент [Н · м] | Наружный диаметр муфты [мм] | Масса муфты [кг] | Осевой момент инерции [кг · м ²] | Коэффициент распределения массы |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------------|--|---------------------------------|
| 1 000 | 105 | 6,7 | 0,05 | 0,677 |
| 1 600 | 125 | 9,2 | 0,06 | 0,417 |
| 2 500 | 135 | 11,2 | 0,08 | 0,392 |
| 4 000 | 150 | 15,2 | 0,15 | 0,439 |
| 6 300 | 175 | 22,6 | 0,25 | 0,361 |
| 10 000 | 200 | 40,5 | 0,50 | 0,309 |
| 16 000 | 230 | 62,5 | 1,15 | 0,348 |
| 25 000 | 260 | 100 | 2,25 | 0,333 |
| 40 000 | 330 | 164,3 | 6 | 0,335 |
| 63 000 | 390 | 228 | 10,5 | 0,303 |

Заключение – результат исследования может быть использован студентами в дипломном проектировании новых технологических машин и комплексов при отсутствии достоверной информации о величине осевых моментов инерции зубчатых муфт (табл. 4).

Таблица 4. Зубчатая муфта конструкции завода ОАО «ЭЗТМ» (при наличии чертежей можно будет идентифицировать массу)

| № муфты | Наибольший крутящий момент [Н · м] | Наружный диаметр муфты [мм] | Масса муфты [кг] | Осевой момент инерции [кг · м ²] |
|---------|------------------------------------|-----------------------------|------------------|--|
| МЗ-9 | 3 000 | 335 | ? | |
| МЗ-10 | 5 000 | 395 | ? | |
| МЗ-11 | 7 100 | 450 | ? | |
| МЗ-12 | 10 000 | 495 | ? | |
| МЗ-13 | 15 000 | 555 | ? | |
| МЗ-14 | 20 000 | 610 | ? | |
| МЗ-15 | 25 000 | 660 | ? | |
| МЗ-16 | 37 500 | 755 | ? | |
| МЗ-17 | 56 000 | 855 | ? | |
| МЗ-18 | 75 000 | 950 | ? | |
| МЗ-19 | 100 000 | 1050 | ? | |

Список литературы:

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Том. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката / Учебник для вузов. – Москва: Металлургия, 1988. – 680 с.
2. Иванченко Ф.К., Красношарпа В.А. Динамика металлургических машин. – Москва: Металлургия, 1983. – 295 с.

References:

1. Tselikov A.I., Polukhin P.I., Grebenik V.M. et al. Machines and aggregates of metallurgical plants. Vol. 3. Machines and units for the production and finishing of rolled products / Textbook for universities. – Moscow: Metallurgy, 1988. – 680 p.
2. Ivanchenko F.K., Krasnoshapka V.A. Dynamics of metallurgical machines. – Moscow: Metallurgy, 1983. – 295 p.