

УДК 677.054:6283

**АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК
В КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЯХ
ТКАЦКОГО СТАНКА АТПР-100
С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ**

Э.Ф. ШАДРИН, СЮЕ ЮН

(Ивановская государственная текстильная академия)

Несогласованность механических характеристик электродвигателей и энергодинамических характеристик отечественных ткацких станков является причиной их низкой производительности и аварийности, что обуславливает необходимость совершенствования системы электропривода данного оборудования.

В этой связи необходимо отметить, что исследования российских ученых [1], направленные на устранение этого недостатка, нашли свое воплощение в зарубежных высокопроизводительных ткацких станках.

Выполним анализ динамических нагрузок в кинематических звеньях станка АТПР-100 с асинхронным электроприводом.

Рассмотрим для этого критерий подобия асинхронного электродвигателя [1]:

$$K_m = \frac{dS/dt}{S_m/T_s}, \quad (1)$$

где S_m – критическое скольжение приводного электродвигателя; T_s – постоянная времени статора, с.

Заменяя скольжение S в (1) на угловую скорость ω и используя классическое уравнение движения, получим этот критерий в другом виде:

$$K_m = -\frac{(M - M_c)}{(J_1 + J_2)\omega_0^2 S_m^2}, \quad (2)$$

где M – момент двигателя, действующий на валу станка, Н·м; M_c – момент сопротивления на валу станка, Н·м; J_1 – момент инерции ротора двигателя, приведенной к валу станка, кг·м²; J_2 – момент инерции на валу станка, кг·м²; ω_0 – синхронная угловая скорость электродвигателя, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

Анализ (2) показывает, что уменьшения влияния на динамику механизмов станка колебаний электромагнитного момента электродвигателя ($K_M \cong 0$) можно достичь подбором его параметров J_1 , ω_0 , S_m . Это уменьшает отклонение реальной механической характеристики электродвигателя от требуемой по условиям пуска и тем самым уменьшает момент приводного двигателя при переменной нагрузке [2].

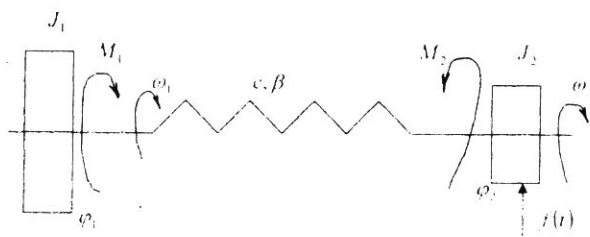


Рис. 1

В общем случае система электропривода ткацкий станок – асинхронный электродвигатель может быть представлена двух-

массовой динамической моделью (рис. 1), где J_1 и J_2 – моменты инерции электродвигателя и механизма, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; c – коэффициент упругости передачи, $\frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$; β – жесткость механической характеристики двигателя, $\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$; φ_1 и φ_2 – углы поворота вала двигателя и механизма, рад ; ω_1 и ω_2 – частоты вращения валов, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$; M_1 и M_2 – действующие на валах двигателя и станка моменты, $\text{Н}\cdot\text{м}$.

Действие переменного момента учитывается здесь возмущением $f(t)$, приложенным к валу станка.

Приняв исследуемую систему за двухмассовую с упругой связью (рис. 1), за ось приведения – ось вала станка, а за обобщенные координаты $q=\varphi_2$ и $\dot{q}=\dot{\varphi}_2$, можно определить составляющие силовой функции [3], а выполнив необходимые преобразования, получить дифференци-

альное уравнение движения двухмассовой упругой системы [4], [5].

Для i -й гармонической составляющей дифференциальное уравнение примет вид:

$$\ddot{\varphi}_i + \beta\dot{\varphi}_i + k\varphi_i = \frac{M_i}{J} \sin(i\Omega t + \delta_i - \varepsilon_i), \quad (3)$$

где Ω – частота вынужденных колебаний системы, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$; δ_i – начальная фаза, рад ;

$\varepsilon_i = \arctg \frac{\beta\Omega}{k^2 - \Omega^2}$ – сдвиг фаз i -й гармоники вынужденных колебаний от i -й гармоники возмущающей силы, рад ; J – приведенный момент инерции системы, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

$k = \sqrt{\frac{c}{J}}$ – частота свободных колебаний, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$; M_i – возмущающий момент системы, $\text{Н}\cdot\text{м}$:

$$M_i = J \sqrt{\left(\frac{M_1}{J_1}\right)^2 + \left(\frac{M_2}{J_1}\right)^2} + \frac{M_1 M_2}{J_1 J_2} \cos(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (4)$$

Рассмотрим частное решение уравнения двухмассовой системы:

$$\varphi_i = \frac{M_i}{J} \frac{\sin(i\Omega t + \delta_i - \varepsilon_i)}{k^2 \sqrt{\left[1 - \left(\frac{i\Omega}{k}\right)^2\right]^2 + 4\left(\frac{\beta i\Omega}{c}\right)^2}}. \quad (5)$$

При этом гармонический момент, нагружающий упругий элемент двухмассовой системы, составит:

$$M_{ir} = c\varphi_i = \frac{M_i \sin(i\Omega t + \delta_i - \varepsilon_i)}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{i\Omega}{k}\right)^2\right]^2 + 4\left(\frac{\beta i\Omega}{c}\right)^2}}. \quad (6)$$

Наибольшая величина упругого момента

$$M_{i\max} = \frac{M_i}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{i\Omega}{k}\right)^2\right]^2 + 4\left(\frac{\beta i\Omega}{c}\right)^2}}, \quad (7)$$

$$\text{где } K_\partial = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{i\Omega}{k}\right)^2\right]^2 + 4\left(\frac{\beta i\Omega}{c}\right)^2}}. \quad (8)$$

– коэффициент динамичности системы электропривода.

По формулам (3...8) выполнен расчет возмущающего и максимального моментов нагрузки двухмассовой системы в установившемся режиме, определен коэффициент динамичности системы при разных значениях параметров упругой передачи.

Наименование параметра	Двигатель D1			Двигатель D2		
Коэффициент упругости $c, \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$	6.4	15.6	90.0	6.4	15.6	90.0
Частота собственных колебаний $k, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	42	66	160	26	42	100
Коэффициент динамичности K_δ	0.64	1.0	0.95	0.4	1.05	0.95
Возмущающий момент $M_i, \text{Н} \cdot \text{м}$	18.5	18.5	18.5	15.4	15.4	15.4
Максимальный момент $M_{i \max}, \text{Н} \cdot \text{м}$	12.0	18.5	17.5	6.2	16.2	14.6

Результаты расчета, выполненного для электропривода с электродвигателем D1 отечественного производства 4A100L6У3 и электродвигателем D2 производства НБР АТМ-160-2-6, приведены в табл. 1.

В период разгона ткацкого станка гармоническая составляющая момента [4], нагружающая вал станка вблизи частоты резонанса, имеет вид

$$M_{\text{ги}} = c\varphi_i + \beta\dot{\varphi}_i = \frac{\sqrt{1 + 4\left(\frac{\beta i \Omega}{c}\right)^2} M_i \sin(i\Omega t + \delta_i - \varepsilon_i)}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{i\Omega}{k}\right)^2\right]^2 + 4\left(\frac{\beta i \Omega}{c}\right)^2}} \quad (9)$$

Наибольшая величина момента, нагружающего вал:

$$M_{i \max} = M_i K_p, \quad (10)$$

$$\text{где } K_p = \frac{\sqrt{1 + 4\left(\frac{\beta i \Omega}{c}\right)^2}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{i\Omega}{k}\right)^2\right]^2 + 4\left(\frac{\beta i \Omega}{c}\right)^2}} \quad -$$

коэффициент резонанса. (11)

В момент резонанса ($\Omega = k$):

$$K_{p \max} = \sqrt{1 + \frac{1}{4}\left(\frac{\beta i \Omega}{c}\right)^2} \approx \frac{1}{2} \frac{c}{\beta i \Omega}. \quad (12)$$

В соответствии с (9...12) построены зависимости K_p при разных значениях коэффициента упругости c и $\frac{\omega}{k}$ с двигателя-

ми D1 отечественного (рис. 2-а) и D2 зарубежного (рис. 2-б) производства.

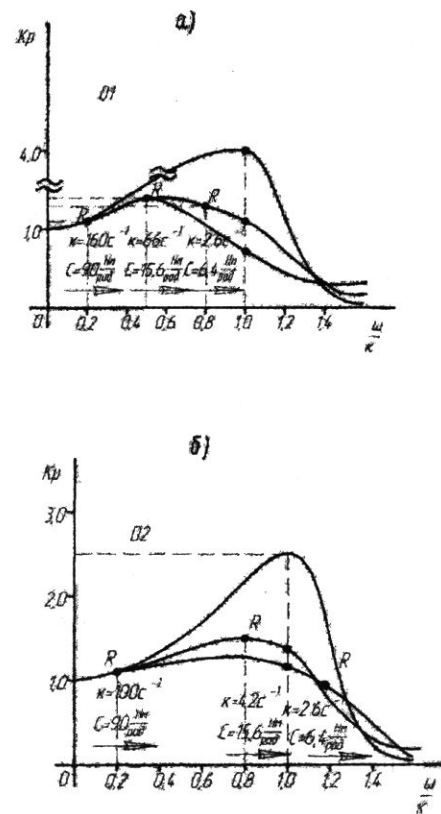


Рис. 2

В электроприводе ткацкого станка с электродвигателем D1 (рис. 2-а) снижение коэффициента упругости c от 90 до $6,4 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$ перемещает рабочую точку R в направлении зоны резонанса, но не обеспечивает отклонения параметра $\frac{\omega}{k}$, достаточного для уменьшения коэффициента динамичности K_d , что не способствует ограничению нагрузок на механизмы станка. В связи с малостью момента инерции ротора такое снижение c следует считать неперспективным.

Снижение коэффициента упругости c в таких же пределах с электродвигателем D2 не только перемещает рабочую точку R в сторону резонанса, но и переводит ее в зарезонансную зону (рис. 2-б). Это возможно при низкой частоте свободных колебаний и значительном отклонении параметра $\frac{\omega}{k}$ за счет увеличения момента инерции ротора электродвигателя D2 и жесткости его механической характеристики $\beta=2,1 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$ (рис. 3).

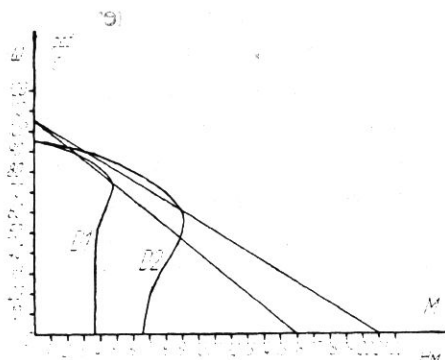


Рис. 3

В момент резонанса максимальное значение гармонического момента достигает значения $M_{i\max} = M_i K_p = 15,4 \cdot 1,1 \cong 17,0 \text{ Н} \cdot \text{м}$, а величина напряжения кручения увеличивается в пусковом режиме с 8,3 до $17,5 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{см}^2}$, что значительно меньше

допустимого напряжения кручения $\tau_{\text{доп}} = 600 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{см}^2}$ и не создает перенапряжений в валах механизмов.

Переход через резонансную зону определяется коэффициентом резонанса $K_p = 1,1$ (рис. 2-б), а при дальнейшем увеличении скорости до установившегося режима — коэффициентом динамичности $k_d = 0,4$, что вновь стабилизирует работу привода в зарезонансной зоне.

ВЫВОДЫ

1. Получена методика выбора оптимальных параметров электропривода при проектировании высокопроизводительного ткацкого оборудования.

2. С целью уменьшения динамических нагрузок на кинематические звенья ткацкого станка предлагается использовать асинхронный электродвигатель с повышенным моментом инерции ротора и критическим скольжением, снижающим значение критерия подобия до 0, что ограничивает величину коэффициента упругости кинематической связи между валами электродвигателя и станка и переводит систему в зарезонансную зону.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов-Смоленский А.В. // Электричество. — 1950, № 6. С.21...25.
2. Соколов М.М. и др. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе. — М.: Энергия, 1967.
3. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики. — Ч. 2. — М.: Гостехтеоретиздат, 1954.
4. Воробьев Н.Н. Передачи с гибкой связью в приводах станков. — М.: Машиностроение, 1971.
5. Чиликин М.Г. и др. Теория автоматизированного электропривода. — М.: Энергия, 1979.

Рекомендована кафедрой автоматики и радиоэлектроники. Поступила 12.05.03.