

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СТАНОК – ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ МЕТАЛЛОТКАЦКИХ СТАНКОВ ТИПА СТР

Самойлов Д.К., Тувин А.А.

Самойлов Даниил Константинович, Тувин Александр Алексеевич
Ивановский государственный политехнический университет,
г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, 21.
Email: gendalf_37@mail.ru, tuvin1958@mail.ru

Для анализа динамических процессов ткацкого станка нужно знать закон изменения угловой скорости главного вала. Так как жесткость упругой связи характеристики электродвигателя значительно меньше жесткости других упругих звеньев станка и ее можно не учитывать при определении собственных частот и форм свободных колебаний механической системы. Таким образом, при изучении вопроса неравномерности вращения главного вала используют одномассовую или двухмассовую модели. При использовании одномассовой модели из анализа удаляются упруго-диссипативные свойства всех звеньев механической системы ткацкий станок и электродвигатель, а в двухмассовой модели – рассматриваются наиболее податливые элементы привода, например, клиноременная передача и т.п. Разработана математическая модель установившегося вращения главного вала с учетом динамической характеристики электродвигателя металлоткацких станков типа СТР для обоих вариантов динамической модели.

Ключевые слова: модель, механическая система, ткацкий станок, динамическая модель, привод станка

DEVELOPMENT OF A DYNAMIC MODEL OF THE MECHANICAL SYSTEM MACHINE – ELECTRIC MOTOR FOR METAL WEAVING MACHINES TYPE STR

Samoilov D.K., Tuvin A.A.

Samoilov Daniil Konstantinovich, Tuvin Alexander Alekseevich
Ivanovo State Polytechnic University,
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 21.
Email: gendalf_37@mail.ru, tuvin1958@mail.ru

To analyze the dynamic processes of the weaving machine, it is necessary to know the law of change of angular velocity of the main shaft. Since the stiffness of the elastic connection of the electric motor characteristic is much less than the stiffness of other elastic links of the machine and it can be ignored when determining the natural frequencies and forms of free oscillations of the mechanical system. Thus, when studying the issue of non-uniformity of rotation of the main shaft use a single-mass or twomass model. When using a single-mass model, the elastic-dissipative properties of all links of the mechanical system weaving machine and electric motor are removed from the analysis, and in the twomass model, the most pliable elements of the drive are considered, for example, V-belt transmission, etc. The mathematical model of the steady rotation of the main shaft taking into account the dynamic characteristic of the electric motor of metal weaving machines of STR type is developed for both variants of the dynamic model.

Keywords: model, mechanical system, weaving machine, dynamic model, machine drive

Для анализа динамических процессов ткацкого станка нужно знать закон изменения угловой скорости главного вала и влияния на нее различных факторов. К таким факторам можно отнести закон изменения приведенных моментов инерции подвижных звеньев станка, закон изменения моментов трения и сил трения, характеристики электродвигателя и др. Зная закономерность изменения угловой скорости ткацкого станка можно оценить неравномерность вращения глав-

ного вала, рассчитать угловые скорости и ускорения звеньев, необходимые для анализа механизмов [1]. Это важно для тяжелых ткацких станков, в частности для металлотацких, в которых наблюдаются большие неравномерности вращения главного вала, где она может достигать до 40% и выше [2, 3]. Источником движения в приводах ткацких станков является асинхронный трехфазный двигатель с короткозамкнутым ротором (рис. 1) [4]. В режиме установившегося движения на роторе асинхронного электродвигателя развивается движущий момент, связанный с угловой скоростью ротора статической характеристикой. При этом статическая характеристика двигателя не всегда достаточно точно и полно отражает взаимосвязь между движущим моментом на роторе и его угловой скоростью, например - в режиме разгона привода станка без сцепной муфты в пусковом механизме. Переходные электромагнитные явления в электродвигателе и искажения статической характеристики могут возникать и в режиме установившегося движения при перегрузках двигателя [4]. В этом случае, используется предложенная В.Л. Вейцем [5] динамическая характеристика электродвигателя. В основе этого параметра находится представление ее при установившемся режиме работы станка в виде дополнительного элемента, установленного между статором и ротором двигателя.

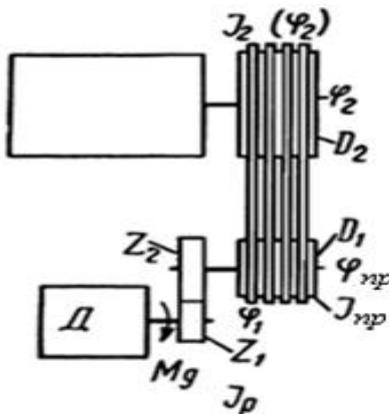


Рис. 1. Расчетная схема привода металлотацкого станка с учетом клиноременной передачи
 Fig. 1. Design diagram of the metal loom drive taking into account the V-belt drive

Данный элемент состоит из соединенных последовательно упругого элемента жесткостью c_d и демпфирующего элемента, развивающего линейный диссипативный момент с коэффициентом пропорциональности β_d , причем c_d и β_d зависят от электромеханических параметров двигателя, рис. 2 и 3. Подобный подход рассмотрен в

ряде работ по динамическому анализу механизмов машин текстильной и легкой промышленности, например, И.И. Вульфсона [6, 7], Я.И. Коритыцкого [1, 8], М.С. Комарова [9] и др.

Так в работах [1, 7] доказано, что жесткость упругой связи характеристики электродвигателя значительно меньше жесткости других упругих звеньев станка и ее можно не учитывать при определении собственных частот и форм свободных колебаний механической системы. Таким образом, при изучении вопроса неравномерности вращения главного вала или ротора электродвигателя D (рис. 1) используют одну из моделей, представленных на рис. 2 и 3. В то же время в одно-массовой модели (рис. 2) – из анализа удаляются упруго-диссипативные свойства всех звеньев механической системы - ткацкий станок и электродвигатель, а в двухмассовой модели – рассматриваются наиболее податливые элементы привода, например, клиноременная передача и т.п. (рис. 3).

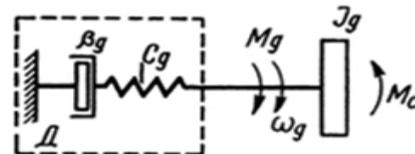


Рис. 2. Одномассовая динамическая модель механической системы ткацкий станок – электродвигатель
 Fig. 2. Single-mass dynamic model of a mechanical system weaving machine - electric motor

Для асинхронных двигателей и двигателей постоянного тока при реальных соотношениях параметров c_d значительно ниже приведенной жесткости остальных упругих элементов привода [6]. На основании этого вначале можно рассматривать самую простую модель - одномассовую модель механической системы ткацкий станок – электродвигатель (рис. 2).

Для одномассовой динамической модели уравнение движения ротора электродвигателя выражается [5, 7]:

$$J(\phi) \frac{d(\omega)}{d(t)} + 0,5\omega^2 \frac{d(\phi)}{d\phi} = M_d - M_c, \quad (1)$$

где ϕ - угол поворота ротора электродвигателя, $J(\phi)$ - приведенный к валу электродвигателя момент инерции массы подвижных звеньев станка, ω - угловая скорость вала электродвигателя, M_c - приведенный к валу двигателя момент сопротивления, M_d - движущий момент на валу двигателя.

На этапе проектирования в теоретических расчетах принимаем момент M_c сопротивления постоянным и равным номинально движущему моменту на валу электродвигателя. Динамическая характеристика асинхронного электродвигателя

при установившемся режиме работы на основании рекомендаций работ [5, 7] приближенно описывается уравнением:

$$\omega = \omega_0 \left[1 - v \left(M_d + T_d \frac{dM_d}{dt} \right) \right], \quad (2)$$

где: ω_0 - угловая скорость идеального холостого хода двигателя,

v - крутизна статической характеристики двигателя,

T_d - электромагнитная постоянная времени.

Принимая во внимание, что $\frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{d\phi} \frac{d\phi}{dt}$ и

$\frac{dM_d}{dt} = \frac{dM_d}{d\phi} \frac{d\phi}{dt}$ уравнения (1 и 2) представим в виде

$$\omega' = \frac{d\omega}{d\phi} = \frac{1}{\omega J(\phi)} (M_d - M_c - 0,5J'\omega^2), \quad (3)$$

$$M'_d = \frac{dM_d}{d\phi} = \frac{1}{\omega T_d} \left(\frac{1}{v} - \frac{\omega}{\omega_0} - M_d \right). \quad (4)$$

Таким образом получена система двух уравнений:

$$y' = f(x, y, z), \quad (5)$$

где: $y = \omega$, $x = \phi$, $z = M_d$.

Для механической системы станок-электродвигатель (рис. 3), которую представим в виде двухмассовой модели, составим дифференциальные уравнения движения системы из условия, что все звенья станка считаются абсолютно жесткими и учитывается только податливость клиноременной передачи. В качестве обобщенных координат выберем угол поворота ротора электродвигателя - ϕ_1 и угол поворота главного вала - ϕ_2 .

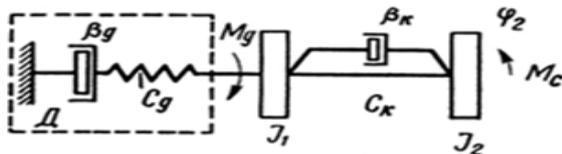


Рис. 3. Двухмассовая динамическая модель механической системы

ткацкий станок – электродвигатель

Fig. 3. Two-mass dynamic model of a mechanical system weaving machine - electric motor

Обозначим: $i_1 = Z_1/Z_2$, $i_2 = D_1/D_2$;

$$i = i_1 i_2 = (Z_1/Z_2)(R_1/R_2),$$

где i_1 - передаточные отношения от электродвигателя к промежуточному валу, на котором закреплены шестерня Z_2 и ведущий шкив D_1 ,

i_2 - передаточное отношение от ведущего шкива диаметром D_1 к ведомому шкиву диаметром D_2 ,

i - общее передаточное отношение от электродвигателя до главного вала станка,

$R_1 = D_1/2$; $R_2 = D_2/2$ - радиусы шкивов,

Z_1, Z_2 - число зубьев шестерен,

I_p - момент инерции ротора электродвигателя (включая приводную шестерню Z_1),

$I_{пр}$ - момент инерции вращающихся масс шестерни Z_2 и шкива D_1 относительно оси вращения промежуточного вала,

$I_2(\phi_2)$ - приведенный к главному валу момент инерции всех движущихся масс механизмов станка;

c_k - коэффициент линейной жесткости клиноременной передачи,

β_k - коэффициент линейного сопротивления клиноременной передачи,

$M_c(\phi_2)$ - приведенный к главному валу момент сопротивления.

Запишем выражения для кинетической T и потенциальной Π энергии и функции рассеяния Φ . Считая, что угол поворота промежуточного вала привода равен $\phi_{пр} = \phi_1 i_1$, можем записать выражение кинетической энергии:

$$T = 1/2 [I_1 \dot{\phi}_1^2 + I_2(\phi_2) \dot{\phi}_2^2],$$

где $I_1 = I_p I_{пр} i_1^2$ - приведенный к валу электродвигателя момент инерции ротора и вращающихся масс привода станка.

Тогда потенциальная энергия системы привода, не учитывая электродвигателя, выражается следующим выражением:

$$\Pi = 1/2 c_k.$$

Функцию рассеяния можно представить в виде:

$$\Phi = 1/2.$$

Используя уравнение Лагранжа второго рода выражения T , Π , Φ и считая, что в данной задаче приведенный момент инерции главного вала переменный, получим следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} I_2(\phi_2) \ddot{\phi}_2 + 1/2 \\ I_1 \ddot{\phi}_1 - \beta_k R_1 i_1 (R_2 \dot{\phi}_2 - R_1 i_1 \dot{\phi}_1) - \\ - c_k R_1 i_1 (R_2 \phi_2 - R_1 i_1 \phi_1) = M_d. \end{aligned} \quad (6)$$

Система уравнений (6) совместно с уравнением (2) описывают динамику двухмассовой динамической модели механической системы станок-электродвигатель с учетом динамической характеристики электродвигателя.

Систему дифференциальных уравнений (2) и (6), как и систему (5), можно решить, например численным методом Рунге - Кутты второго порядка. При использовании этого метода необходимо знать аналитическое выражение функций $J(\phi)$ и $J'(\phi)$. Наибольшее значение, приведенного к оси вала двигателя момента инерции массы, имеют основные исполнительные механизмы ткацкого станка – батанный, рапирный и зевообразовательный механизмы, а так же элементы привода станка.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

REFERENECES

1. **Коритыцкий Я.И.** Динамика упругих систем текстильных машин. М.: Легкая и пищевая промышленность. 1982. 272 с.
2. **Тувин А.А., Безменов А.Д.** Влияние батанного и рапирного механизмов на крутящий момент главного вала рапирных металлотакающих станков. *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 1987. N 4. С. 104-106.
3. **Скрехин А.П., Жукова Е.А., Тувин А.А.** Обоснование выбора закона движения толкателя кулачкового привода исполнительных механизмов ткацких станков типа СТБ. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2021. № 3 (67). С. 94-97. DOI:10.6060/snt.20216703.00013
4. **Мартынов И.А., Корнев Б.И., Мещеряков А.В., Ляпин М.Е., Фуртак И.В.** Приводные системы ткацких станков. М.: Легпромбытиздат. 1991. 272 с.
5. **Вейц В.Л., Кочура А.Е., Мартыненко А.М.** Динамические расчеты приводов машин. М.: Машиностроение. 1971. 352 с.
6. **Вульфсон И.И.** Динамические расчеты цикловых механизмов. Л.: Машиностроение. 1976. 328 с.
7. **Вульфсон И.И.** Колебания машин с механизмами циклового действия. Л.: Машиностроение. 1990. 309 с.
8. **Коритыцкий Я.И., Корнев И.В., Лагунов Л.Ф., Поболь О.Н., Сучкова Р.И., Худых М.И.** Вибрация и шум в текстильной и легкой промышленности. М.: Легкая индустрия. 1974. 328 с.
9. **Комаров М.С.** Динамика механизмов и машин. М.: Машиностроение. 1969. 295 с.

Поступила в редакцию 18.01.2024
Принята к опубликованию 16.02.2024

Received 18.01.2024
Accepted 16.02.2024