

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ
РАЗНЫХ ЗАКОНАХ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

М.К. Багдасарян, А.М. Аветисян

Национальный политехнический университет Армении

Проведено исследование электроприводной системы при разных законах изменения технологической нагрузки. Выявлено, что для обеспечения высокой точности при исследовании динамических процессов электроприводной системы технологического процесса важное значение имеет учет не только характера существующих инерционных элементов систем, связей между ними, но и изменений момента сопротивления, создаваемого технологической нагрузкой.

Исследование электроприводной системы в условиях изменения технологической нагрузки представляет интерес также с точки зрения рационального выбора параметров привода при его управлении.

Показано, что из-за большого объема факторов и их влияния на технологический процесс детальное изучение электроприводной системы невозможно. В связи с этим обосновывается необходимость создания адекватной модели, имитирующей поведение исследуемой системы. Для исследования динамики привода при изменении технологической нагрузки использован программный пакет Matlab, содержащий инструмент визуального моделирования Simulink. Рассмотрена динамика электроприводной системы при изменении момента сопротивления, создаваемого технологической нагрузкой, по постоянному, экспоненциальному и периодическому законам. Разработана расчетная схема электромеханической системы. На основе метода нормальных координат составлена система дифференциальных уравнений, описывающая динамику приводной системы с учетом механических, электромагнитных и технологических явлений. Получены зависимости, характеризующие изменение динамического момента системы с учетом разных значений жесткости упругого элемента при постоянном, экспоненциальном и периодическом моментах сопротивления. Полученные данные дают основание утверждать, что для уменьшения динамической нагрузки системы в качестве оптимального параметра следует использовать жесткость приводного вала систем двигатель-механизм.

Ключевые слова: механизм, электропривод, динамический момент, упругий элемент, технологическая нагрузка.

Введение. Электроприводные системы технологических процессов в реальности являются достаточно сложными со многими соединениями. Динамика технологического объекта во многом зависит от электропривода. В некоторых технологических процессах механические колебания взаимодействуют не только с источником энергии, но и с рабочим органом механизма. Из вышесказанного следует, что для обеспечения высокой точности при исследовании динамических процессов электроприводной системы необходимо учитывать не только характер существующих инерционных элементов систем, связи между ними, действующие силы, но и изменения момента сопротивления, создаваемого технологической нагрузкой [1-3].

Исследование электроприводной системы в условиях изменения технологической нагрузки представляет интерес также с точки зрения рационального выбора параметров привода при его управлении.

Целью настоящей работы является исследование электроприводной системы при разных законах изменения технологической нагрузки с учетом жесткости упругого элемента.

Методы исследования. Решение поставленных вопросов представляет собой достаточно сложную задачу со многими неизвестными. Вследствие большого объема факторов и их влияния на технологический процесс детальное изучение таких систем невозможно, что приводит к необходимости создания адекватной модели, имитирующей поведение исследуемой системы.

В технологических процессах практическое применение получили разнообразные конструкции приводов, обеспечивающие передачу энергии от электродвигателей к механизму. В частности, в разных технологических процессах используются безредукторные и редукторные системы привода. В данной статье рассматривается безредукторная система электропривода. Для наиболее точного моделирования динамических явлений необходимо учитывать характеристики технологического механизма, его приводного двигателя и передачи звеньев, обеспечивающих связь механизм-двигатель. С этой целью была разработана расчетная вычислительная схема электромеханической системы (рис. 1).

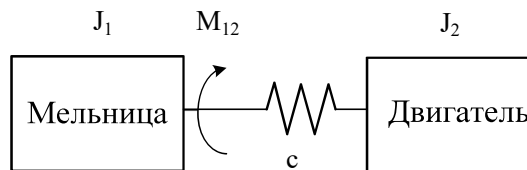


Рис. 1. Расчетная схема электромеханической системы безредукторного электропривода

На основе метода нормальных координат [2] составлена система дифференциальных уравнений, описывающая динамику приводной системы с учетом механических, электромагнитных и технологических явлений [4]:

$$\begin{cases} J_1 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} - c(\varphi_2 - \varphi_1) = -M_M, \\ J_2 \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} + c(\varphi_2 - \varphi_1) = M_D, \end{cases} \quad (1)$$

где $c(\varphi_2 - \varphi_1) = M_{12}$ - динамический момент нагрузки упругого элемента; M_M - приведенный момент сопротивления, создаваемый технологической нагрузкой; φ_1 - перемещение технологического механизма, приведенное к валу двигателя; φ_2 - угол поворота вала двигателя; c – жесткость приводного вала двигатель-механизм; M_D – электромагнитный момент синхронного двигателя; J_1, J_2 – моменты инерции технологического механизма и ротора синхронного двигателя.

Электромагнитный момент двигателя определяется уравнениями Парка-Горева [4].

Для исследования динамики привода при изменении технологической нагрузки использован пакет Matlab, содержащий в своем составе инструмент визуального моделирования Simulink. Динамика электроприводной системы рассмотрена при следующих состояниях технологической нагрузки [5]:

- момент сопротивления механизма постоянный, $M(t) = const$ (рис. 2);
- момент сопротивления механизма изменяется по экспоненциальному закону, $M_M = A(1 - e^{-t/b})$ (рис. 2);
- момент сопротивления механизма изменяется по периодическому закону, $M_M = a_1 t^3 + a_2 t^2 + a_3 t + a_4$ (рис.3).

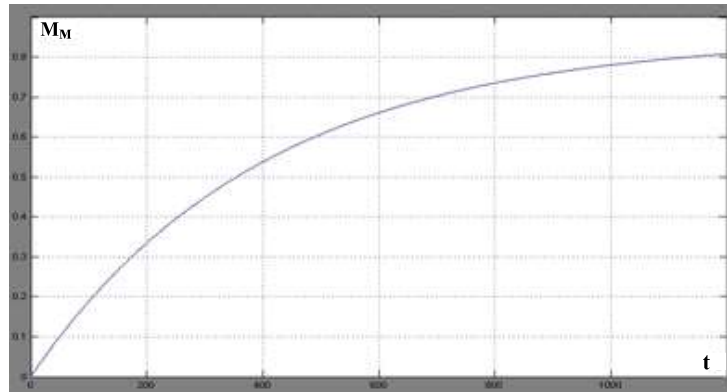


Рис. 2. Характеристика момента сопротивления при экспоненциальном законе изменения технологической нагрузки

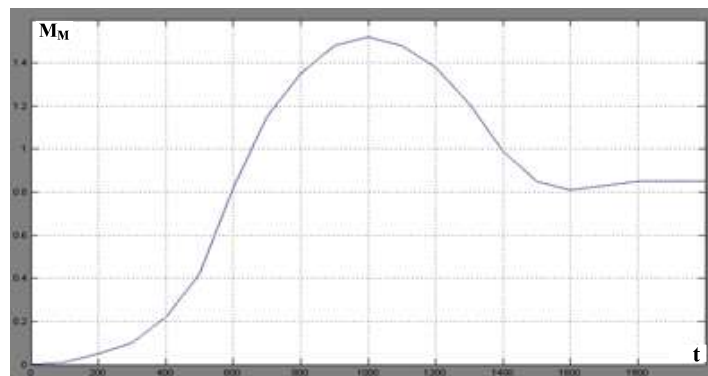


Рис. 3. Характеристика момента сопротивления при периодическом законе изменения технологической нагрузки

Электромагнитный момент синхронного двигателя определяется по формуле [6]

$$M_D = \psi_d i_q - \psi_q i_d,$$

где ψ_d , ψ_q - потокосцепление обмотки статора, соответственно, по продольной и поперечной осям; определяется по модели, приведенной на рис. 4.

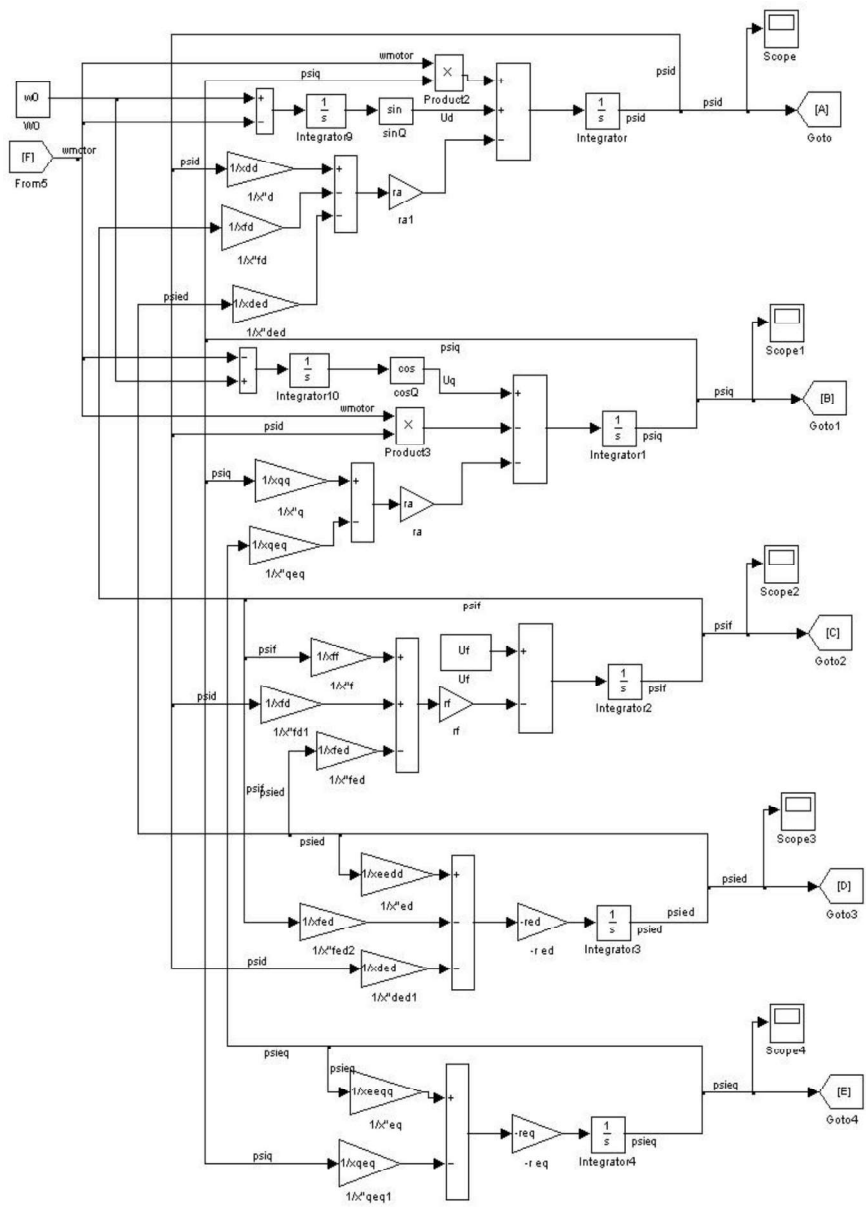


Рис. 4. Модель для определения потокосцепления

С помощью приведенной на рис. 4 модели определены также угол перемещения φ_1 технологического механизма и угол поворота φ_2 вала двигателя при разных законах изменения технологической нагрузки (рис.5).

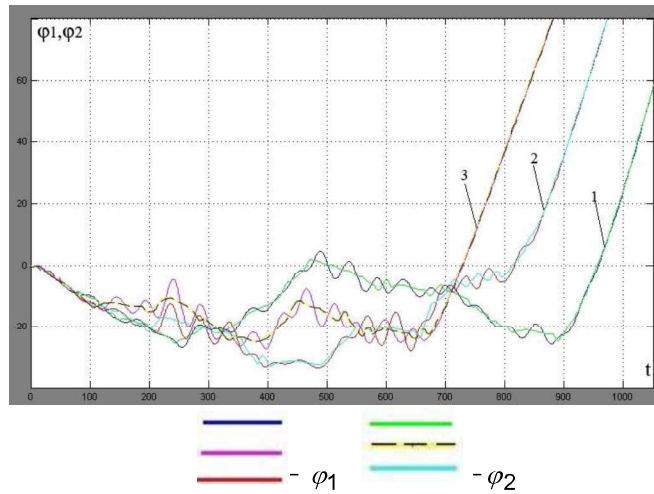


Рис. 5. Изменение перемещения угла поворота технологического механизма и вала двигателя: 1 - момент сопротивления механизма постоянный; 2 - момент сопротивления механизма изменяется по экспоненциальному закону; 3 - момент сопротивления механизма изменяется по периодическому закону

Результаты исследования. Исследования показали, что в зависимости от значений жесткостей упругого элемента ($c' < c'' < c'''$) при постоянном, экспоненциальном и периодическом моментах сопротивления динамический момент системы в случае разных законов изменения технологической нагрузки изменяется по одному и тому же закону (рис.6 - 8).

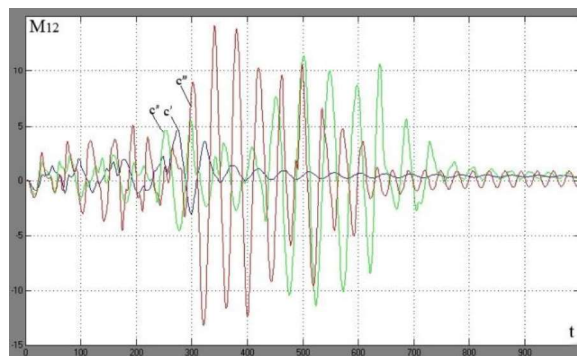


Рис. 6. Зависимость динамического момента системы от разных значений жесткостей упругого элемента при постоянном моменте сопротивления

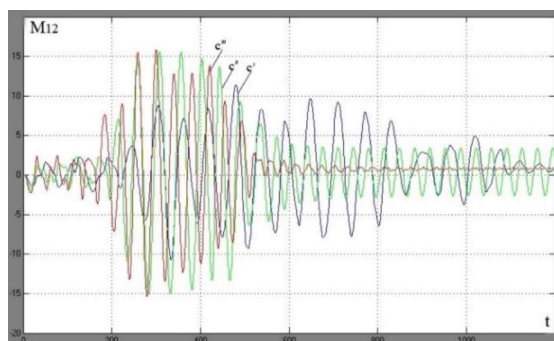


Рис. 7. Зависимость динамического момента системы от разных значений жесткостей упругого элемента при изменении момента сопротивления по экспоненциальному закону

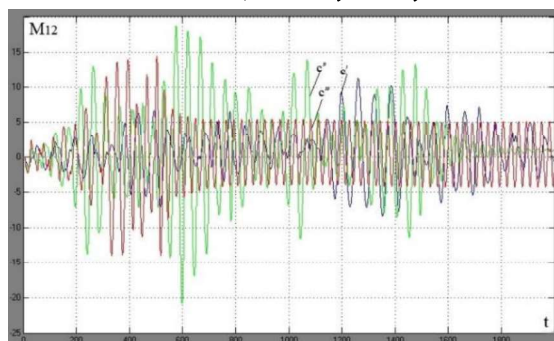


Рис. 8. Зависимость динамического момента системы от разных значений жесткостей упругого элемента при изменении момента сопротивления по периодическому закону

Результаты исследования показали, что при разных жесткостях приводного вала двигатель-механизм возникают значительные изменения амплитудного значения и интенсивности пульсации электромагнитного момента двигателя и динамического момента упругого элемента. Сравнительный анализ полученных результатов подтверждает, что при постоянном моменте сопротивления, создаваемом технологической нагрузкой, система работает более устойчиво.

Выводы

Таким образом, исследования динамических моментов электроприводной системы при разных законах изменения технологической нагрузки показали, что амплитуда динамического момента достигает своего максимального значения в случае его периодического изменения, что подтверждает необходимость учета закона изменения момента сопротивления для стабильной работы системы.

Кроме того, очевидно, что динамический момент в зависимости от жесткости связи подвергается тем же качественным изменениям, что и

устойчивый к крутящему моменту момент импульса при разных законах. Полученные данные дают основание утверждать, что для уменьшения динамической нагрузки системы в качестве оптимального параметра можно использовать жесткость приводного вала двигатель-механизм.

Литература

1. **Ключев В.И., Терехов В.М.** Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов.– М.: Энергия, 1980.– 360 с.
2. **Красношарпа В.А., Бережной Ю.И.** Исследование динамических моделей приводов и проектирование горных машин.- Киев: Наукова думка, 1983.- 184 с.
3. **Важнов А.И.** Переходные процессы в машинах переменного тока.- Л.: Энергия, 1980.- 255с.
4. **Багдасарян М.К., Овсепян С.М., Аветисян А.А.** Влияние характера внутримельничной нагрузки на динамику привода рудоразмольной мельницы // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер.Техн. наук.– 2008.- Т. LXI, №4.- С. 558-564.
5. **Дьяконов В.П.** MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения: Полное руководство пользователя.- М.: СОЛОН-Пресс, 2002.- 768 с.
6. **Иванов-Смоленский А.В.** Электрические машины. Том 2. - М.: Мелго, 2004.- 532 с.

*Поступила в редакцию 03.09.2018.
Принята к опубликованию 14.12.2018.*

ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ՝ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԲԵՌԻ ՏԱՐԲԵՐ ՕՐԵՆՔՆԵՐՈՎ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

Մ.Ք. Բաղդասարյան, Ա.Մ. Ավետիսյան

Կատարվել է էլեկտրաբանեցման համակարգի հետազոտություն՝ տեխնոլոգիական բեռի տարբեր օրենքներով փոփոխությունների դեպքում: Բացահայտվել է, որ տեխնոլոգիական գործընթացի էլեկտրաբանեցման համակարգերի դինամիկ երևույթները բարձր ճշտությամբ հետազոտելու համար անհրաժեշտ է հաշվի առնել ոչ միայն համակարգում առկա իներցիոն տարրերի բնույթը, նրանց միջև առկա կապերը, այլև տեխնոլոգիական բեռի առաջացրած դինամիկ մոմենտի փոփոխությունը: Էլեկտրաբանեցման համակարգի հետազոտումը տեխնոլոգիական բեռի փոփոխման պայմաններում հետաքրքրություն է ներկայացնում նաև բանեցման համակարգի կառավարման պարամետրերի ռացիոնալ ընտրման տեսանկյունից:

Տույց է տրված, որ մեծաթիվ գործոնների առկայության և տեխնոլոգիական գործընթացների վրա դրանց ազդեցության պատճառով էլեկտրաբանեցման համակարգի համալիր ռաումնասիրությունը հնարավոր չէ: Ուստի հիմնավորվում է հետազոտվող համակարգի վարքը նույնականացնող համաժեշտ մոդելի ստեղծումը: Էլեկտրաբանեցման դինամիկական տեխնոլոգիական բեռի փոփոխման դեպքում հետազոտելու համար օգտագործվել է Matlab ծրագրային փաթեթը, որը պարունակում է մոդելավորման Simulink գործիքը: Էլեկտրաբանեցման համակարգի դինամիկական դիտարկվել է տեխնոլոգիական

բեռով ստեղծված դիմադրող մոմենտի հաստատուն, էքսպոնենցիալ և պարբերական օրենքներով փոփոխման դեպքերում: Մշակվել է էլեկտրամեխանիկական համակարգի հաշվարկային սխեմա: Նորմալ կոորդինատների մեթոդի հիմքով կազմվել է մեխանիկական էլեկտրամագնիսական և տեխնոլոգիական երևույթները հաշվի առնող բանեցման համակարգի դինամիկան բնութագրող դիֆերենցիալ հավասարում:

Ստացվել են կախվածություններ, որոնք բնութագրում են համակարգի դինամիկ մոմենտի փոփոխությունը առաձգական տարրի տարբեր արժեքների դեպքում հաստատուն, էքսպոնենցիալ և պարբերական դիմադրող մոմենտների համար: Ստացված տվյալները հիմք են տալիս հաստատելու, որ համակարգի դինամիկ բեռի փոքրացման համար որպես լավարկվող պարամետրեր անհրաժեշտ է օգտագործել շարժիչ-մեխանիզմ համակարգի բանեցման լիսեռի կոշտությունը:

Առանցքային բաներ. մեխանիզմ, էլեկտրաբանեցում, դինամիկ մոմենտ, առաձգական տարր, տեխնոլոգիական բեռ:

INVESTIGATING THE ELECTRICAL DRIVE SYSTEM AT DIFFERENT LAWS OF MODIFICATION OF TECHNOLOGICAL LOADING

M.K. Baghdasaryan, A.M. Avetisyan

The study of the electrical drive system at different laws of technological load change is conducted. It has been revealed that to ensure high accuracy in the study of dynamic processes of an electrical drive system of a technological process, it is important to take into account not only the nature of the existing inertial elements of the systems, the connections between them, but also the changes in the moment of resistance created by the technological load.

The study of the electrical drive system under the conditions of changing the technological load is also of interest from the point of view of a rational choice of drive parameters during its control.

It is shown that due to the large number of factors and their influence on the technological process, a detailed study of the electrical drive system is impossible. In this connection, the necessity of creating an adequate model that imitates the behavior of the system under study is substantiated. To study the dynamics of the drive when the technological load is changed, the Matlab software package containing the Simulink visual modeling tool is used. The dynamics of the electrical drive system is considered at the change in the moment of resistance created by the technological load according to constant, exponential and periodic laws, is considered. The design scheme of the electromechanical system has been developed. Based on the method of normal coordinates, a system of differential equations has been developed, describing the dynamics of the drive system with regard to mechanical, electromagnetic and technological phenomena. The dependences, characterizing the change in the dynamic moment of the system, taking into account different values of the stiffness of the elastic element with constant, exponential and periodic moments of resistance are obtained. The data obtained suggest that in order to reduce the dynamic load of the system, the rigidity of the drive shaft of the engine mechanism should be used as the optimal parameter.

Keywords: mechanism, electrical drive, dynamic moment, elastic element, technological load.