

УДК 621.3:622

М.К. БАГДАСАРЯН, С.М. ОВСЕПЯН, А.М. АВЕТИСЯН

## ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА ВНУТРИМЕЛЬНИЧНОЙ НАГРУЗКИ НА ДИНАМИКУ ПРИВОДА РУДОРАЗМОЛЬНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Предлагается модель, позволяющая имитировать процессы, происходящие в системе электропривода рудоразмольной мельницы. Используя пакет Matlab, содержащий в своем составе инструмент визуального моделирования Simulink, выявлены закономерности изменения электромагнитного момента двигателя и момента нагрузки упругого элемента при разных значениях демпфирующего элемента и разных законах изменения момента сопротивления, создаваемого рудоразмольной мельницей.

**Ключевые слова:** электромагнитный момент двигателя, инструмент визуального моделирования, упругий элемент.

Известно, что в период эксплуатации рудоразмольной мельницы в зависимости от состояния качественных и количественных характеристик измельчаемой руды, а также футеровки и коэффициента заполнения барабана мельницы внутримельничная нагрузка во времени может изменяться по разным законам. Исследования показали, что изучение динамики привода рудоразмольной мельницы в условиях изменения нагрузки во времени по разным законам является сложнейшей задачей со многими неизвестными. Вследствие обилия факторов и их взаимодействий, влияющих на процесс, возникает типичная для многих сложных производств ситуация. Детальное изучение таких технических систем невозможно, что приводит к необходимости создания адекватной модели, которая имитирует поведение исследуемой системы и позволяет прогнозировать тот или иной процесс, протекающий при определенных внешних воздействиях в системе.

Данная статья посвящена разработке модели для изучения динамики привода рудоразмольной мельницы.

Предлагаемая модель представляет собой имитационный объект исследования, выраженный аналитическими зависимостями. При получении аналитической модели необходимо иметь в виду механические, электромеханические и технологические процессы, происходящие в системе, т.е. модель должна учитывать электромагнитные явления, технологические процессы в мельнице и упругость системы.

Для разработки модели составлена система дифференциальных уравнений, описывающая динамику систем синхронного привода рудоразмольной мельницы [1]:

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

где  $M_M$  - приведенный момент сопротивления внутримельничной нагрузки;  $\varphi_1$  - приведенное к валу двигателя перемещение мельниц;  $\varphi_2$  - угол поворота вала двигателя;  $c$  - жесткость элемента трансмиссии;  $M$  - электромагнитный момент синхронного двигателя;  $J_1, J_2$  - моменты инерции барабана мельницы и ротора синхронного двигателя.

Электромагнитный момент двигателя определяется уравнениями Парка-Горва [2]

$$\begin{cases} U_d = d\psi_d/dt - \psi_q \omega + r i_d, \\ U_q = d\psi_q/dt + \psi_d \omega + r i_q, \\ U_f = d\psi_f/dt + r_f i_f, \\ 0 = d\psi_{hd}/dt + r_{hd} i_{hd}, \\ 0 = d\psi_{hq}/dt + r_{hq} i_{hq}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\omega$  - угловая частота вращения ротора;  $i_d, i_q$  - ток статора по продольной и поперечной осям;  $U_f, i_f$  - напряжение и ток обмотки возбуждения;  $i_{cd}, i_{cq}$  - ток демпферной обмотки по продольной и поперечной осям;  $\psi_d, \psi_q$  - потокосцепление обмотки статора по продольной и поперечной осям;  $\psi_f$  - потокосцепление обмотки возбуждения;  $\psi_{hd}, \psi_{hq}$  - потокосцепление демпферной обмотки по продольной и поперечной осям;  $r, r_f$  - активные сопротивления фазы статора и обмотки возбуждения;  $r_{hd}, r_{hq}$  - активные сопротивления демпферной обмотки по продольной и поперечной осям;  $U_d, U_q$  - напряжения статора по продольной и поперечной осям, определяемые в виде

$$U_d = U_m \sin \theta, \quad U_q = U_m \cos \theta.$$

Здесь  $U_m$  - амплитудное значение номинального фазного напряжения статора;  $\theta$  - угол между вектором наведенной в статоре ЭДС от тока возбуждения и вектором напряжения сети.

Токи определяются по формулам [3]:

$$\begin{cases} i_d = \psi_d / x_d'' - \psi_f / x_{fd}'' - \psi_{hd} / x_{dhd}'', \\ i_q = \psi_q / x_q'' - \psi_{hq} / x_{qhq}'', \\ i_f = \psi_f / x_f'' - \psi_d / x_{df}'' - \psi_{hd} / x_{fhd}'', \\ i_{hd} = \psi_{hd} / x_{hd}'' - \psi_f / x_{fhd}'' - \psi_d / x_{dhd}'', \quad i_{hq} = \psi_{hq} / x_{hq}'' - \psi_q / x_{qhq}'', \\ i_{hq} = \psi_{hq} / x_{hq}'' - \psi_q / x_{qhq}'', \end{cases} \quad (3)$$

где  $x_{fd}'', x_{fhd}'', x_{dhd}'', x_{qhq}''$  - взаимоиנדуктивные сверхпереходные сопротивления [3];  $x_d'', x_q'', x_f'', x_{hd}'', x_{hq}''$  - сверхпереходные сопротивления, определяемые с учетом приведенных расчетных схем (рис.1) по формулам

$$x_d'' = x_\sigma + \frac{1}{1/x_{ad} + 1/x_{f\sigma} + 1/x_{hd\sigma}} \quad (\text{см. рис. 1а}),$$

$$x_q'' = x_\sigma + \frac{1}{1/x_{aq} + 1/x_{hq\sigma}} \quad (\text{см. рис. 1б}),$$

$$x_f'' = x_{f\sigma} + \frac{1}{1/x_{ad} + 1/x_\sigma + 1/x_{hd\sigma}} \quad (\text{см. рис. 1в}),$$

$$x_{hd}'' = x_{hd\sigma} + \frac{1}{1/x_{ad} + 1/x_\sigma + 1/x_{f\sigma}} \quad (\text{см. рис. 1г}),$$

$$x_{hq}'' = x_{hq\sigma} + \frac{1}{1/x_{aq} + 1/x_\sigma} \quad (\text{см. рис. 1д}),$$

$$X_{ad} = X_d - X_\sigma, \quad X_{aq} = X_q - X_\sigma.$$

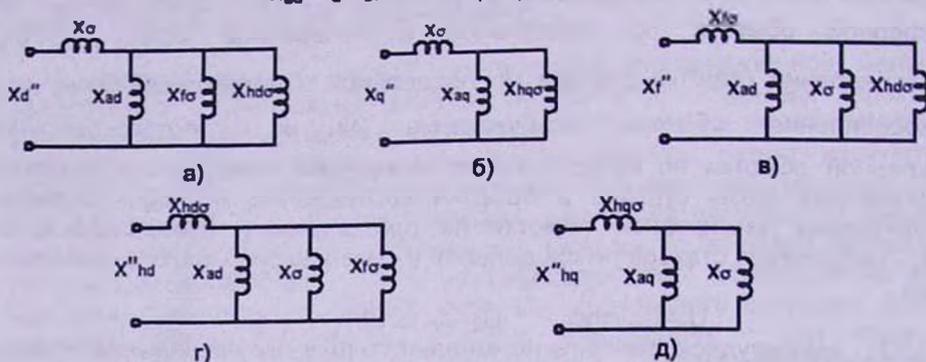


Рис.1. Схемы для расчетов сверхпереходных сопротивлений

В вышеприведенных уравнениях  $X_\sigma$ ,  $X_{f\sigma}$ ,  $X_{hd\sigma}$ ,  $X_{hq\sigma}$  - индуктивные сопротивления рассеяния статора в обмотках возбуждения и демфера;  $X_d$ ,  $X_q$  - индуктивные сопротивления статора по продольной и поперечной осям.

С учетом (3) и после соответствующих преобразований система уравнений (2) принимает следующий вид:

$$\begin{cases} d\psi_d/dt = U_d - (\psi_d/x_d'' - \psi_f/x_{fd}'' - \psi_{hd}/x_{hd}'' ) r + \psi_q \omega_2, \\ d\psi_q/dt = U_q - (\psi_q/x_q'' - \psi_{hq}/x_{hq}'' ) r - \psi_d \omega_2, \\ d\psi_f/dt = U_f - (\psi_f/x_f'' + \psi_d/x_{fd}'' - \psi_{hd}/x_{hd}'' ) r_f, \\ d\psi_{hd}/dt = -(\psi_{hd}/x_{hd}'' - \psi_f/x_{fd}'' - \psi_d/x_{hd}'' ) r_{hd}, \\ d\psi_{hq}/dt = -(\psi_{hq}/x_{hq}'' - \psi_q/x_{hq}'' ) r_{hq}. \end{cases} \quad (8)$$

Для исследования динамики привода рудоразмельной мельницы весьма эффективным является использование пакета Matlab, содержащего в своем составе инструмент визуального моделирования Simulink [4].

Структура составленной модели приведена на рис. 2 и 3.

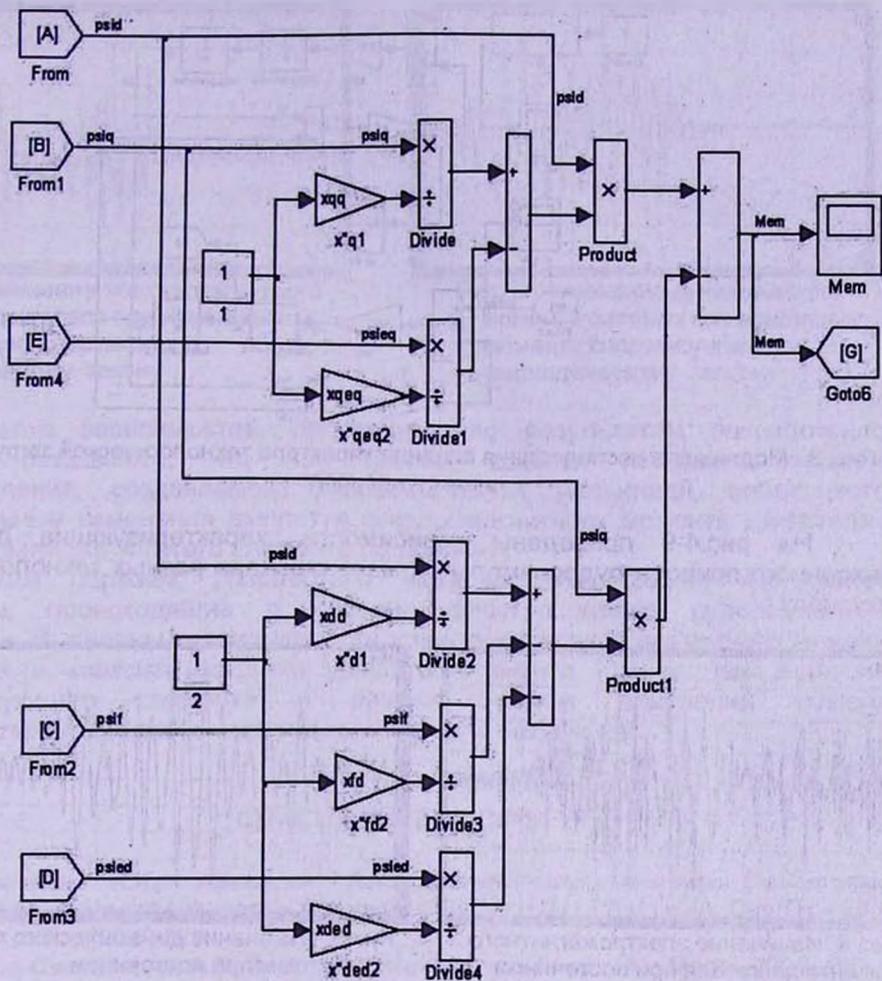


Рис. 2. Модель для выявления изменения электромагнитного момента

Динамика системы рассмотрена при следующих состояниях технологического нагружения: момент сопротивления мельницы постоянный; момент сопротивления мельницы изменяется по экспоненциальному закону; момент сопротивления мельницы изменяется по периодическому закону.

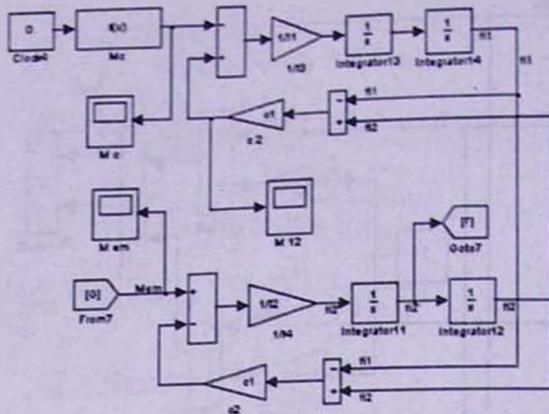


Рис. 3. Модель для исследования влияния характера технологической загрузки на динамику привода

На рис.4-9 приведены зависимости, характеризующие динамику синхронного привода рудоразмольной мельницы при разных технологических ситуациях.

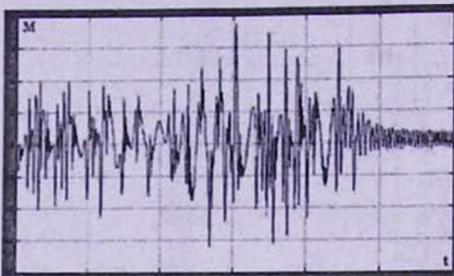


Рис. 4. Изменение электромагнитного момента двигателя при постоянном моменте сопротивления



Рис.5. Изменение динамического момента системы при постоянном моменте сопротивления

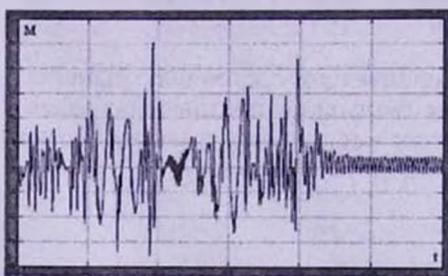


Рис. 6. Изменение электромагнитного момента двигателя при изменении момента сопротивления по экспоненциальному закону

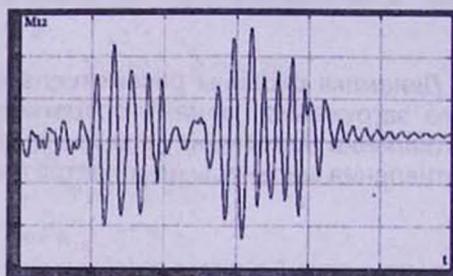


Рис.7. Изменение динамического момента системы при изменении момента сопротивления по экспоненциальному закону

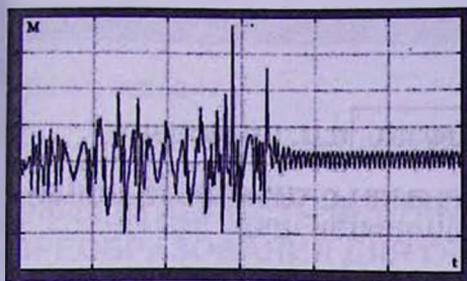


Рис. 8. Изменение электромагнитного момента двигателя при изменении момента сопротивления по периодическому закону

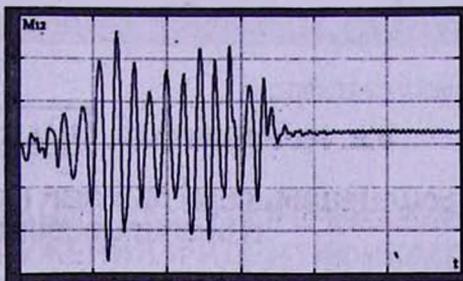


Рис. 9. Изменение динамического момента системы при изменении момента сопротивления по периодическому закону

Анализ зависимостей, полученных по результатам разработанной модели, показывает, что при разных законах изменения момента сопротивления, создаваемого рудоразмельной мельницей, наблюдаются значительные изменения амплитуд электромагнитного момента двигателя и момента загрузки упругого элемента по времени.

Таким образом, разработана модель, позволяющая имитировать процессы, происходящие в системе электропривода рудоразмельной мельницы. Выявлены закономерности изменения электромагнитного момента двигателя и момента загрузки упругого элемента при разных значениях демпфирующего элемента и разных законах изменения момента сопротивления, создаваемого рудоразмельной мельницей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багдасарян М.К., Аветисян А.М. Динамические нагрузки в системе электропривода рудоразмельной мельницы // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер.ТН.– 2006. – Т.LIX, N2. – С.372-378.
2. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. Том 2. - М.: Мелго, 2004.- 532 с.
3. Важнов А.И. Переходные процессы в машинах переменного тока.- Л.: Энергия, 1980.- 255с.
4. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения: Полное руководство пользователя.- М.: СОЛОН-Пресс, 2002.-768 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 11.05.2008.

Մ.Զ. ԲԱԴՂԱՍԱՐՅԱՆ, Ս.Ս. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ, Ա.Ս. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ

ՆԵՐԱՂԱՑԱՅԻՆ ԲԵՌԻ ԲՆՈՒՅԹԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ԱՂԱՑԻ  
ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՎՐԱ

Առաջարկված է հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման համակարգում կատարվող երևույթները իմիտացնող մոդել: Օգտագործելով MATLAB ծրագրային փաթեթի կազմում առկա Simulink տեսանելի մոդելավորման գործիքը՝ բացահայտվել են շարժիչի էլեկտրամագնիսական մոմենտի և դինամիկ բեռնվածքի փոփոխման օրինաչափությունները հանքաքարի աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտնտի փոփոխման տարբեր բնութագրերի և շարժահաղորդման օղակի տարբեր կոշտությունների դեպքում:

*Առանցքային բառեր.* շարժիչի էլեկտրամագնիսական մոմենտ, տեսանելի մոդելավորման գործիք, առաձգական օղակ:

M.K. BAGHDASARYAN, S.M. HOVSEPYAN, A.M. AVETISYAN

INFLUENCE OF INTRAMILL LOADING CHARACTER ON DRIVE DYNAMICS OF  
ORE GRINDING MILL

A model allowing to simulate processes which occur in the electric drive ore grinding mill is proposed. Using a MatLab package containing in it, composition a visual simulating instrument Simulink, the electromagnetic moment regularities of the engine and the moment of elastic element loading are revealed with various damping element values and different laws of resistance moment change by the ore grinding mill.

*Keywords:* electromagnetic moment of the engine, visual simulating instrument, elastic element.