

УДК

ВЛИЯНИЕ ВИДА МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ (СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ) НА ФОРМИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ ВЫНЕСЕННОЙ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ

Мезникова Е.А., магистрант

Семенченко А.К., докт. техн. наук, проф.,

Донецкий национальный технический университет

Эффективность процесса моделирования горных машин как динамических систем в значительной мере определяется затратами компьютерного времени на реализацию математических моделей (ММ). Именно сокращение затрат времени позволяет увеличить количество вариантов, а следовательно, и обеспечивает возможность более глубокого анализа исследуемых процессов.

Анализ ММ перемещения комбайна с вынесенной системой подачи [1] показывает, что в значительной мере продолжительность её реализации зависит от характера задания моделей двигателя.

Целью данной работы является установить влияние вида характеристики двигателя (статической и динамической) на формирование нагрузки вынесенной системы подачи, а также выявить область их использования.

На рисунке 1 представлена статическая механическая характеристика $M=M(n)$ электродвигателя выемочной машины.

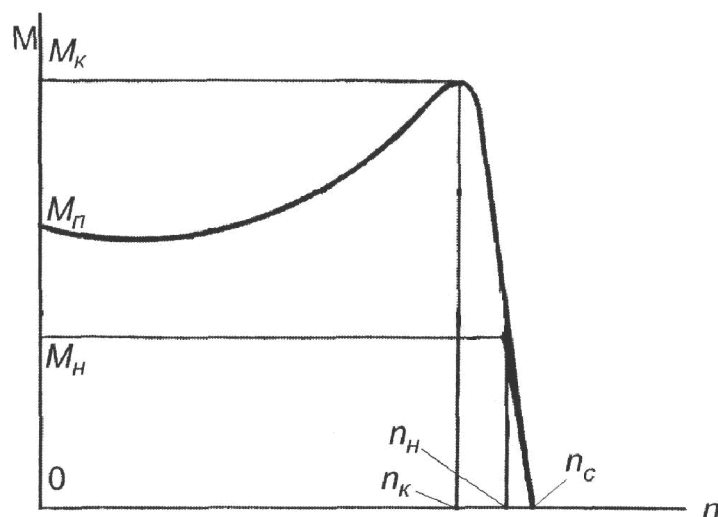


Рисунок 1 – Статическая характеристика электродвигателя

Приняты следующие условные обозначения:

$M_к$ – критический момент электродвигателя;

- M_n – пусковой момент электродвигателя;
- M_H – номинальный момент электродвигателя;
- n_k – критическая частота вращения;
- n_H – номинальная частота вращения;
- n_c – синхронная частота вращения.

Статическая и динамическая модели двигателя (ЭКВ4-45-6) были реализованы на примере двигателя вынесенной системы подачи комбайна УКД 200-250.

Статическая механическая характеристика была построена по следующим параметрам:

Синхронная частота вращения $n_c = 1000$ об/мин;

Пусковой момент $M_n = 672$ Нм;

Максимальный момент $M_{max} = 807$ Нм;

Номинальный момент $M_H = 448$ Нм.

На рисунке 2 изображена статическая механическая характеристика ЭД, реализованная с помощью программного пакета Mathcad 14.

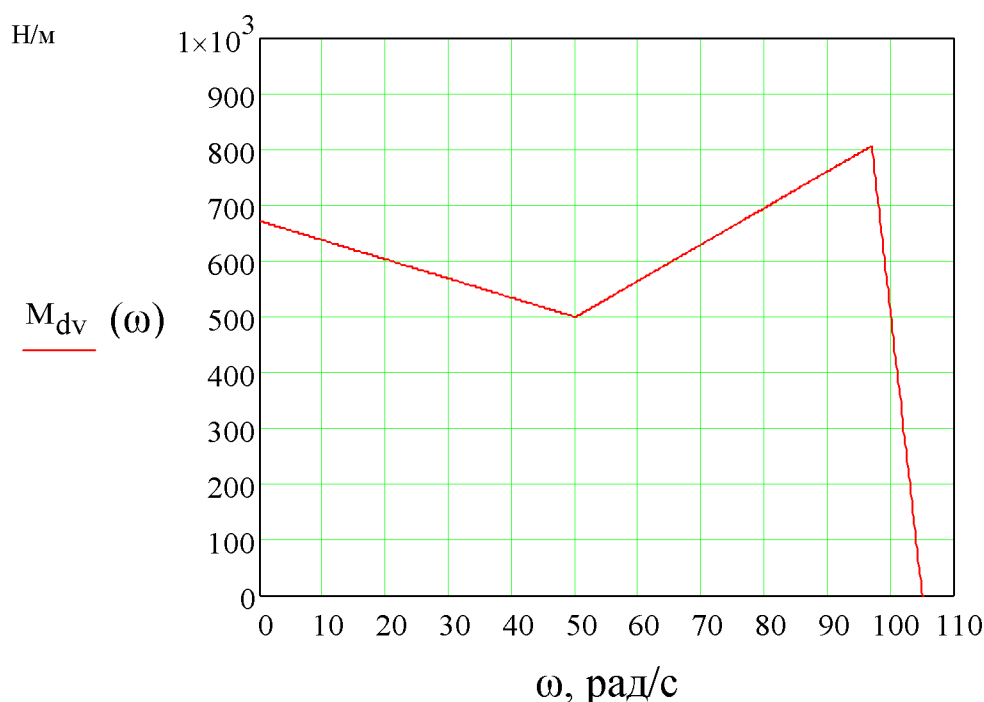


Рисунок 2 – Статическая характеристика электродвигателя

Математическая модель момента электродвигателя привода комбайна в интегрированном виде запишется как векторная функция:

$$\vec{f}_{\partial \delta}(\bar{X}, \bar{P}, \bar{Y}) = 0$$

где \bar{X} – вектор входных параметров, компонентами которого является момент сопротивления и $\omega_{\partial\beta}$;

\bar{P} – вектор параметров, компонентами которого являются: n_c , M_n , M_{\max} , M_H .

\bar{Y} – вектор выходных параметров, компонентом которого является $M_{\partial\beta}$.

Динамическая модель двигателя может быть реализована на основе исследований Парка-Горева. Им предложена двухконтурная схема замещения глубокопазного ротора, позволяющая при параметрах, не зависящих от скольжения, учесть влияние вытеснения тока в роторе (рис. 3).

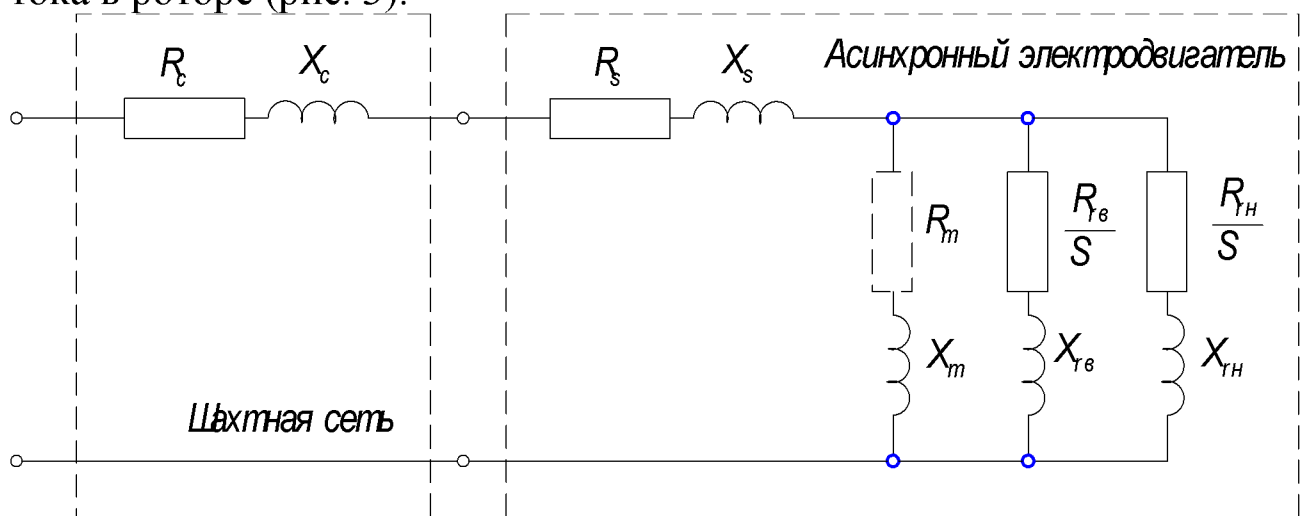


Рисунок 3 – Схема замещения фазы асинхронного электродвигателя с двухконтурным ротором, включённого в шахтную сеть

Параметры схемы замещения были вычислены по каталожным данным электродвигателя.

Основные уравнения ММ [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} J\dot{\omega}_p = M_{\partial} - M_{ped}; \quad \dot{\phi}_p = \omega_p; \\ \dot{\psi}_{S\alpha} = \omega_c b_S [(a_S - 1)\psi_{S\alpha} + a_{r6}\psi_{6\alpha} + a_{rH}\psi_{H\alpha}] + U_m \cos(\omega_c t) - \Delta U_{S\alpha}; \\ \dot{\psi}_{6\alpha} = \omega_c b_{r6} [a_S \psi_{S\alpha} + (a_{r6} - 1)\psi_{6\alpha} + a_{rH}\psi_{H\alpha}] - \omega_p \psi_{6\beta} P; \\ \dot{\psi}_{H\alpha} = \omega_c b_{rH} [a_S \psi_{S\alpha} + a_{r6}\psi_{6\alpha} + (a_{rH} - 1)\psi_{H\alpha}] - \omega_p \psi_{H\beta} P; \\ \dot{\psi}_{S\beta} = \omega_c b_S [(a_S - 1)\psi_{S\beta} + a_{r6}\psi_{6\beta} + a_{rH}\psi_{H\beta}] + U_m \sin(\omega_c t) - \Delta U_{S\beta}; \\ \dot{\psi}_{6\beta} = \omega_c b_{r6} [a_S \psi_{S\beta} + (a_{r6} - 1)\psi_{6\beta} + a_{rH}\psi_{H\beta}] + \omega_p \psi_{6\alpha} P; \\ \dot{\psi}_{H\beta} = \omega_c b_{rH} [a_S \psi_{S\beta} + a_{r6}\psi_{6\beta} + (a_{rH} - 1)\psi_{H\beta}] + \omega_p \psi_{H\alpha} P; \\ M_{\partial} = \frac{3\omega_c P}{2X_S} [\psi_{S\beta} A - \psi_{S\alpha} B] \end{array} \right. , (1)$$

где φ_p, ω_p – угол поворота и угловая скорость вращения ротора;

J – момент инерции ротора двигателя;

M_d – электромагнитный момент, развиваемый двигателем;

M_c – момент нагрузки на валу двигателя;

$\Psi_{S\alpha}, \Psi_{S\beta}, \Psi_{n\alpha}, \Psi_{n\beta}, \Psi_{v\alpha}, \Psi_{v\beta}$ – составляющие векторов потокоцеплений;

ω_c – угловая скорость магнитного поля;

t – текущее время;

$\Delta U_{S\alpha}, \Delta U_{S\beta}$ – проекции вектора падения напряжения статора на оси α и β , учитывающие влияние питающей сети;

$$\Delta U_{S\alpha} = R_c i_{S\alpha} - X_c i_{S\beta}; \quad \Delta U_{S\beta} = R_c i_{S\beta} - X_c i_{S\alpha};$$

R_c, X_c – соответственно активное и индуктивное сопротивление питающей сети;

$i_{S\alpha}, i_{S\beta}$ – токи статора в проекции на оси α и β ;

U_m – амплитуда напряжения в фазе; $U_m = \sqrt{\frac{2}{3}} U_n$

U_n – номинальное напряжение сети (линейное);

p – число пар полюсов электродвигателя;

P_d – активная мощность, потребляемая электродвигателем;

$$P_d = \frac{3}{2} \left[(U_m \cos(\omega_c t) - \Delta U_{S\alpha}) i_{S\alpha} + (U_m \sin(\omega_c t) - \Delta U_{S\beta}) i_{S\beta} \right]$$

$$A = a_S \Psi_{S\alpha} + a_{r6} \Psi_{v\alpha} + a_{rn} \Psi_{n\alpha}; \quad B = a_S \Psi_{S\beta} + a_{r6} \Psi_{v\beta} + a_{rn} \Psi_{n\beta},$$

Расчётные коэффициенты:

$$\begin{cases} b_s = R_s X_s^{-1}; & b_{r6} = R_{r6} X_{r6}^{-1}; & b_{rn} = R_{rn} X_{rn}^{-1}; \\ X_{sr} = (X_m^{-1} + X_s^{-1} + X_{r6}^{-1} + X_{rn}^{-1})^{-1} \\ a_s = X_{sr} X_s^{-1}; & a_{r6} = X_{sr} X_{r6}^{-1}; & a_{rn} = X_{sr} X_{rn}^{-1}; \end{cases}, \quad (2)$$

где b_s, b_{r6}, b_{rn} – коэффициенты относительного активного сопротивления;

a_s, a_{r6}, a_{rn} – коэффициенты относительного реактивного сопротивления.

R_s, X_s – активное и индуктивное сопротивления фазы обмотки статора;

R_{r6}, R_{rn} – активные сопротивления фаз верхней и нижней клеток ротора соответственно;

$X_{rв}, X_{rн}$ – индуктивные сопротивления рассеяния верхней и нижней клеток ротора соответственно;

R_m, X_m – активное и индуктивное сопротивления взаимоиндукции;

R_c, X_c – активное и индуктивное сопротивления питающей сети.

Математическая модель динамической характеристики электродвигателя привода комбайна в интегрированном виде запишется как векторная функция:

$$\vec{f}_{\partial в}(\bar{X}, \bar{P}, \bar{Y}) = 0$$

где \bar{X} – вектор входных параметров, компонентами которого являются момент сопротивления, ω_c, U_m, M_c ;

\bar{P} – вектор параметров, компонентами которого являются: $J, R_c, X_c, p, b_s, b_{rв}, b_{rн}, a_s, a_{rв}, a_{rн}, R_s, X_s, R_{rв}, R_{rн}, X_{rв}, X_{rн}, R_m, X_m, R_c, X_c$;

\bar{Y} – вектор выходных параметров, компонентами которого являются $M_{\partial в1}, \omega_{p1}, M_{\partial в2}, \omega_{p2}, \Psi S\alpha, \Psi S\beta, \Psi n\alpha, \Psi n\beta, \Psi в\alpha, \Psi в\beta, iS\alpha, iS\beta$.

На рисунке 4 изображена динамическая характеристика ЭД, реализованная с помощью программного пакета Mathcad 14.

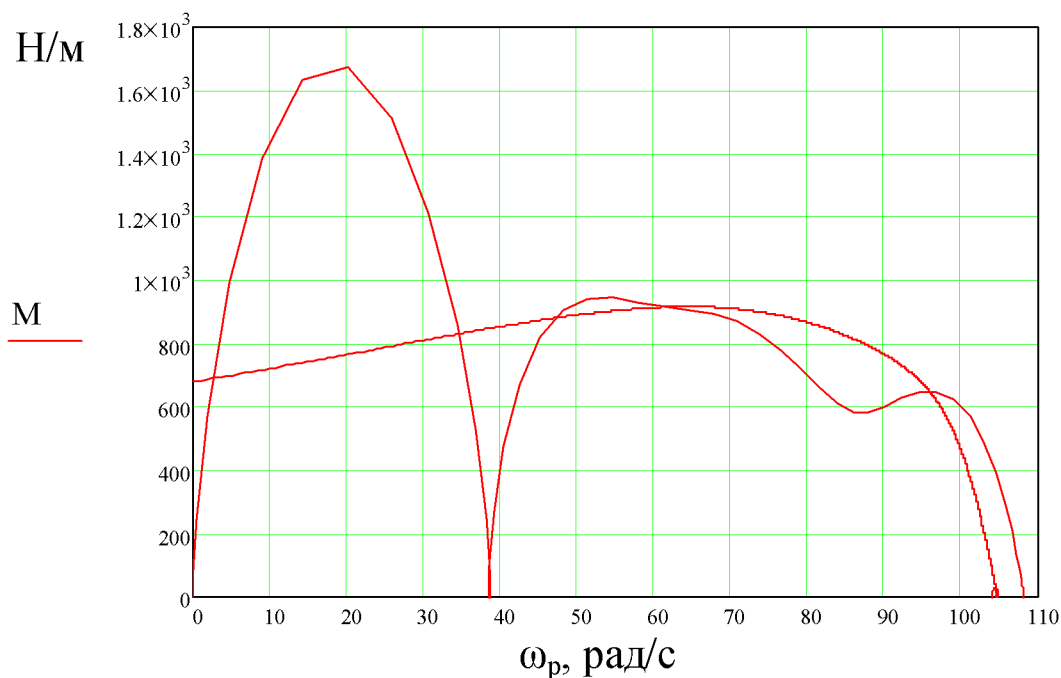
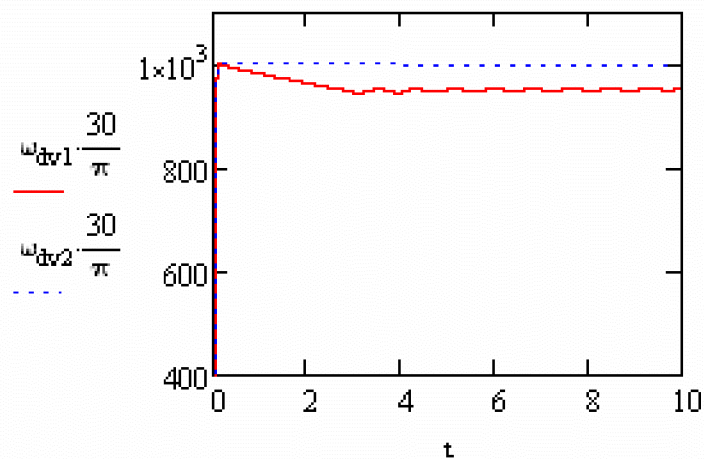
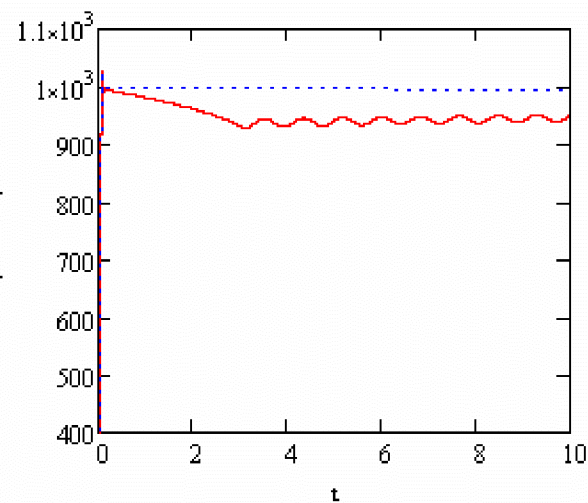


Рисунок 4 – Характеристика электродвигателя на основе модели Парка-Горева

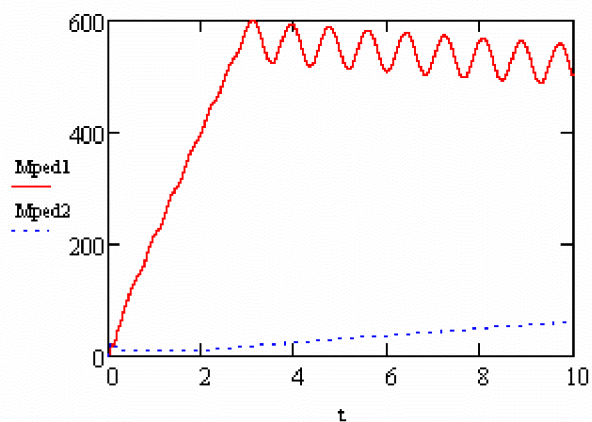
а)



б)



в)



г)

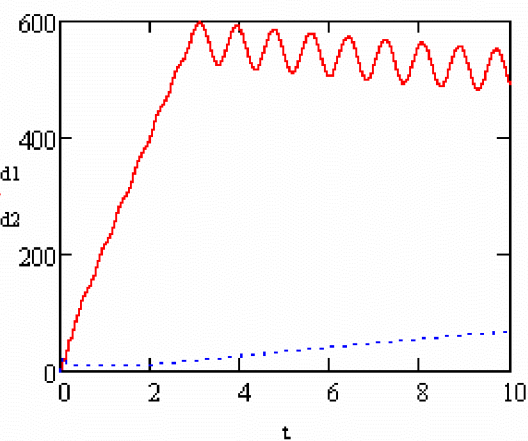


Рисунок 5 – Изменение частоты вращения двигателей и моментов трансмиссии во времени
 а, б – статическая характеристика двигателя в, г – динамическая характеристика двигателя

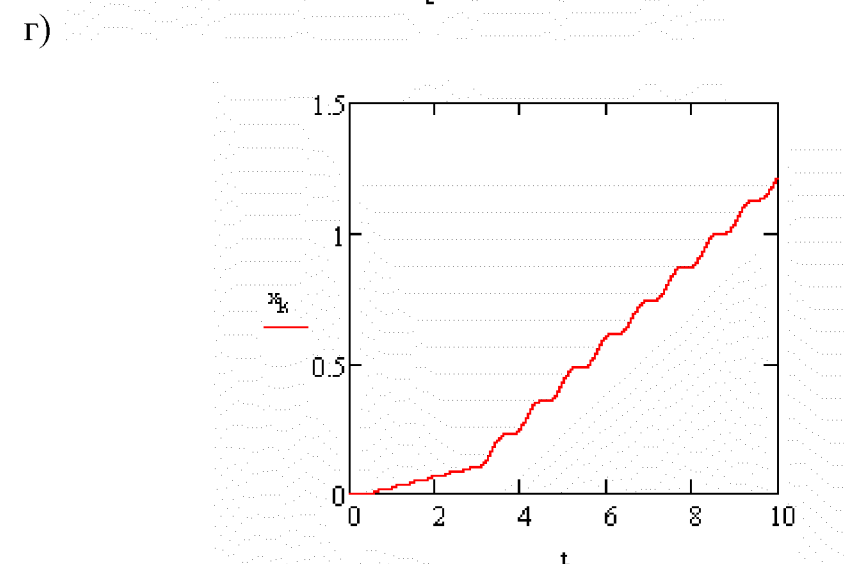
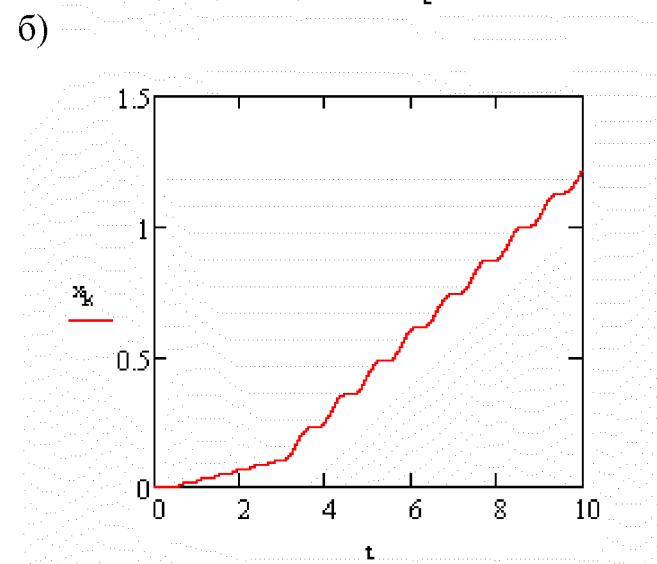
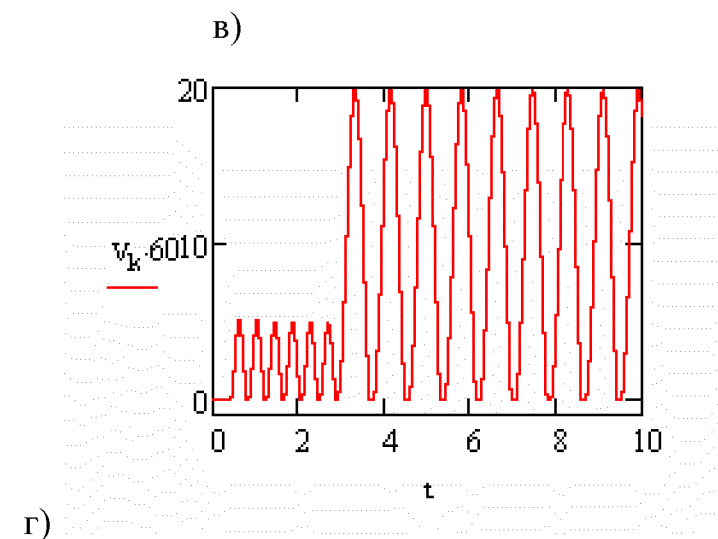
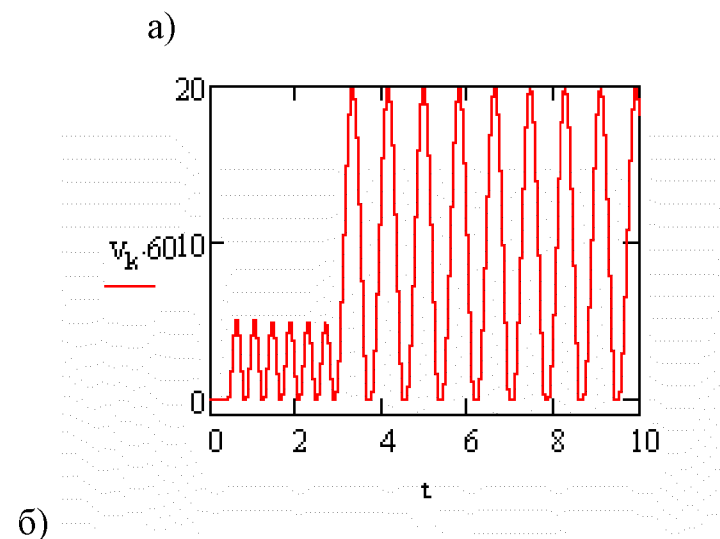
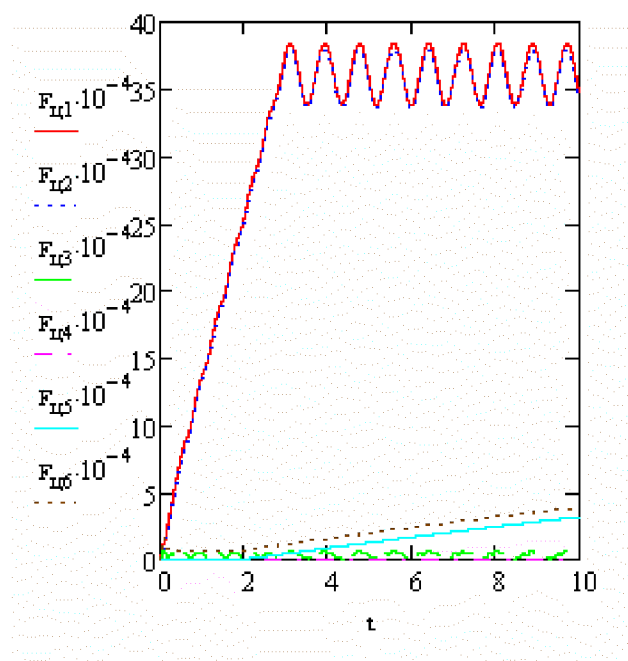


Рисунок 6 – Процесс изменения скорости и перемещение комбайна во времени
 а, б – статическая характеристика двигателя
 в, г – динамическая характеристика двигателя

а)



б)

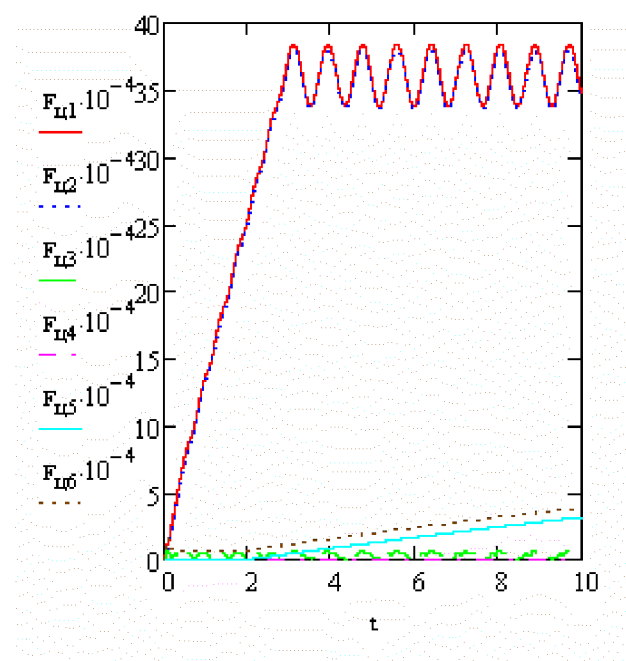


Рисунок 7 – Усилия в цепях на рабочей и холостой ветвях

а – статическая характеристика двигателя

б – динамическая характеристика двигателя

Рисунок отображает процесс запуска двигателя, а также его опрокид, что отображает реальную картину работы ЭД.

На рисунках 5 – 7 показаны процессы изменения частоты вращения двигателей и моментов трансмиссии во времени (рис. 5), скорости и перемещение комбайна (рис. 6), усилий в цепях на рабочей и холостой ветвях (рис. 7). Результаты были получены на основе реализации математической модели перемещения очистного комбайна с вынесенной системой подачи [2].

Анализ изменения частоты вращения показывает, что процессы, происходящие в двигателях, имеют незначительные отклонения, также нагруженность редукторов не зависит от принятой модели. Процессы изменения скорости, перемещения комбайна, усилий в цепях происходят идентично в случаях задания статической и динамической моделей двигателя.

Таким образом, для исследования и описания механических процессов, а также сокращения компьютерного времени их моделирования можно использовать модель электродвигателя на основе его статической характеристики. Динамическую характеристику электродвигателя необходимо применять для описания и исследования процессов, происходящих в двигателе, а также для управления скоростью подачи очистного комбайна, то есть при введении в систему интеллектуального управления.

Список источников.

1. Миничев В.И. Угледобывающие комбайны. Конструирование и расчёт. М., «Машиностроение», 1976, 248 с.
2. Семенченко А.К., Мезникова Е.А. Математическая модель перемещения комбайна с вынесенной системой подачи, оснащённой частотно-регулируемым приводом – Механика жидкости и газа/ Материалы VIII Международной научно-технической студенческой конференции. – Донецк: ДонНТУ, 2009