УДК 621.31

В. А. Негадаев

МОДЕЛЬ МАГИСТРАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СОВОКУПНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Известна математическая модель и схема электроснабжения приводов горных машин, состоящая из отдельных электромеханических модулей [1] (рис. 1).

На рис. 1 обозначено:

N_m – число электродвигателей в модуле;

N – число двигателей в системе;

$N_u=int\ ((j+N_m-1)/N_m)$ – номер модуля (функция *int* выделяет целую часть выражения в скобках);

j – номер двигателя;

M_j – двигатель;

$u_{k\alpha}$, $u_{k\beta}$ – составляющие падения напряжения на кабеле по осям α, β;

L_0 – длина общего участка питающего кабеля;

L_j – длина кабеля j-го электромеханического модуля.

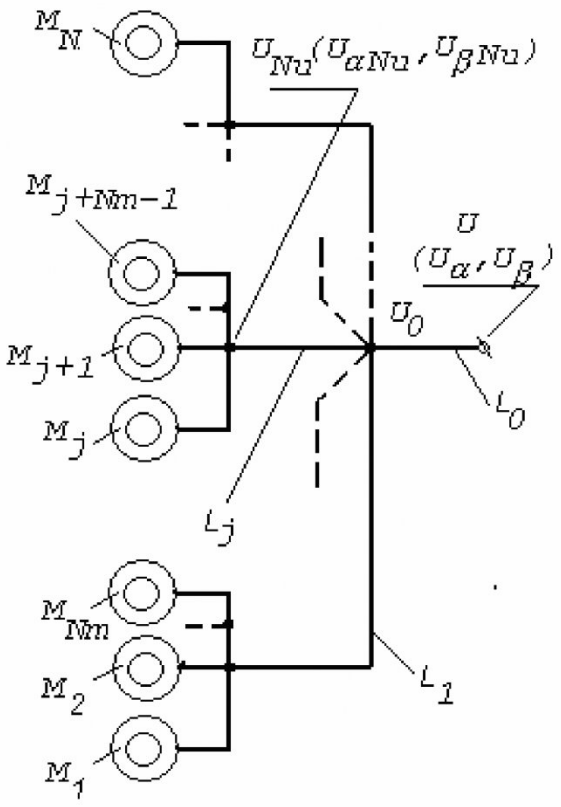

Рис. 1

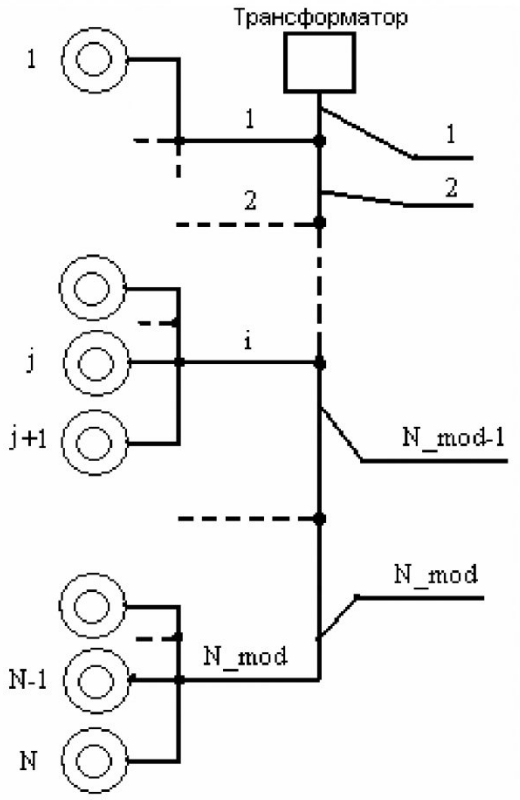

Рис. 2

На рис. 2 представлена магистральная структура сети электроснабжения, частным случаем которой является структура на рис. 1

В отличие от схемы на рис. 1, схема электроснабжения на рис. 2 состоит из отдельных электромеханических модулей, которые могут содержать ***различное*** количество двигателей, подключенных в ***разных*** точках к магистральному кабелю, проложенному от трансформатора до самого удаленного модуля.

Введем следующие дополнительные обозначения: *Nmod* – количество модулей; i – номер модуля; индекс M будет относиться к параметрам магистрального кабеля, а индекс K – к параметрам кабелей, проложенным от магистрального кабеля к модулям.

Состояние j-го двигателя описывается совокупностью дифференциальных и алгебраических связей:

$$\frac{d\Psi_{s\alpha j}}{dt} = u_{s\alpha j} - R_{sj} i_{s\alpha j}; \qquad i_{s\alpha j} = \frac{\Psi_{s\alpha j}}{L'_{sj}} - \frac{k_{rj}}{L'_{sj}} \Psi_{r\alpha j};$$

$$\frac{d\Psi_{s\beta j}}{dt} = u_{s\beta j} - R_{sj} i_{s\beta j}; \qquad i_{s\beta j} = \frac{\Psi_{s\beta j}}{L'_{sj}} - \frac{k_{rj}}{L'_{sj}} \Psi_{r\beta j}; \tag{1}$$

$$\frac{d\Psi_{r\alpha j}}{dt} = -R_{rj} i_{r\alpha j} - p_j \omega_j \Psi_{r\beta j}; \qquad i_{r\alpha j} = \frac{\Psi_{r\alpha j}}{L'_{rj}} - \frac{k_{sj}}{L'_{rj}} \Psi_{s\alpha j};$$

$$\frac{d\Psi_{r\beta j}}{dt} = -R_{rj} i_{r\beta j} + p_j \omega_j \Psi_{r\alpha j}; \qquad i_{r\beta j} = \frac{\Psi_{r\beta j}}{L'_{rj}} - \frac{k_{sj}}{L'_{rj}} \Psi_{s\beta j}.$$

Из (1) видно, что состояние *j*-го двигателя характеризуется угловой скоростью вращения ротора и составляющими напряжений статора двигателя.

Поэтому рассмотрим алгоритм формирования составляющих напряжений статора в схеме электроснабжения на рис. 2, чтобы получить в итоге математическую модель асинхронного двигателя в данной структуре электроснабжения.

Зная количество двигателей *Nm(i)* в каждом *i*-ом модуле, изменяя номер модуля *i* в заданных пределах от 1 до *Nmod*, определяем номера *j* двигателей *i*-го модуля из следующего неравенства:

$$\sum_{f=1}^{i-1} Nm(f) < j \le \sum_{f=1}^{i} Nm(f).$$

С целью упрощения вида дальнейших выражений введем некоторые сокращения:

$$l_0 = \sum_{g=1}^{i} Nm(g-1) + 1; \qquad b_0 = \sum_{h=1}^{p} Nm(h-1) + 1;$$

$$l_1 = \sum_{g=1}^{i} Nm(g); \qquad b_1 = N,$$

где *p* соответствует номеру модуля и изменяется в пределах от 1 до *i*.

С учетом последних сокращений искомое напряжение на обмотке статора *j*-го двигателя определится следующим образом:

$$\begin{cases} u_{s\alpha j} = u_\alpha - R_{Ki} \sum_{l=l_0}^{l_1} i_{s\alpha l} - L_{Ki} \sum_{l=l_0}^{l_1} \frac{di_{s\alpha l}}{dt} - \sum_{p=1}^{i} \left(R_{Mp} \sum_{b=b_0}^{b_1} i_{s\alpha b} \right) - \\ - \sum_{p=1}^{i} \left(L_{Mp} \sum_{b=b_0}^{b_1} \frac{di_{s\alpha b}}{dt} \right); \\ u_{s\beta j} = u_\beta - R_{Ki} \sum_{l=l_0}^{l_1} i_{s\beta l} - L_{Ki} \sum_{l=l_0}^{l_1} \frac{di_{s\beta l}}{dt} - \sum_{p=1}^{i} \left(R_{Mp} \sum_{b=b_0}^{b_1} i_{s\beta b} \right) - \\ - \sum_{p=1}^{i} \left(L_{Mp} \sum_{b=b_0}^{b_1} \frac{di_{s\beta b}}{dt} \right). \end{cases} \tag{2}$$

Дифференцируя $i_{s\alpha j}$ и $i_{s\beta j}$ из (1), получаем:

$$\begin{cases} \frac{di_{s\alpha j}}{dt} = \frac{1}{L'_{sj}} \frac{d\psi_{s\alpha j}}{dt} - \frac{k_{rj}}{L'_{sj}} \frac{d\psi_{r\alpha j}}{dt}; \\ \frac{di_{s\beta j}}{dt} = \frac{1}{L'_{sj}} \frac{d\psi_{s\beta j}}{dt} - \frac{k_{rj}}{L'_{sj}} \frac{d\psi_{r\beta j}}{dt}. \end{cases} \tag{3}$$

Подставляя (3) в (2):

$$\begin{cases} u_{s\alpha j} = u_\alpha - R_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1} i_{s\alpha l} - L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{1}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{s\alpha l}}{dt} + L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{k_{rl}}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{r\alpha l}}{dt} - \\ -\sum\limits_{p=1}^{i}\left(R_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1} i_{s\alpha b}\right) - \sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{1}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{s\alpha b}}{dt}\right) + \sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{k_{rb}}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{r\alpha b}}{dt}\right); \\ u_{s\beta j} = u_\beta - R_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1} i_{s\beta l} - L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{1}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{s\beta l}}{dt} + L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{k_{rl}}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{r\beta l}}{dt} - \\ -\sum\limits_{p=1}^{i}\left(R_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1} i_{s\beta b}\right) - \sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{1}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{s\beta b}}{dt}\right) + \sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{k_{rb}}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{r\beta b}}{dt}\right). \end{cases} \quad (4)$$

и объединяя (1) и (4), получим для j-го двигателя:

$$\begin{cases} \dfrac{d\psi_{s\alpha j}}{dt} + L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{1}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{s\alpha l}}{dt} + \sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{1}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{s\alpha b}}{dt}\right) = \\ = u_\alpha + L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{k_{rl}}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{r\alpha l}}{dt} + \sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{k_{rb}}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{r\alpha b}}{dt}\right) - \\ -R_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1} i_{s\alpha l} - \sum\limits_{p=1}^{i}\left(R_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1} i_{s\alpha b}\right) - R_{sj} i_{s\alpha j}; \\ \dfrac{d\psi_{s\beta j}}{dt} + L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{1}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{s\beta l}}{dt} + \sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{1}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{s\beta b}}{dt}\right) = \\ = u_\beta + L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{k_{rl}}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{r\beta l}}{dt} + \sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{k_{rb}}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{r\beta b}}{dt}\right) - \\ -R_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1} i_{s\beta l} - \sum\limits_{p=1}^{i}\left(R_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1} i_{s\beta b}\right) - R_{sj} i_{s\beta j}; \\ \dfrac{d\psi_{r\alpha j}}{dt} = -R_{rj} i_{r\alpha j} - p_j\omega_j\psi_{r\beta j}; \\ \dfrac{d\psi_{r\beta j}}{dt} = -R_{rj} i_{r\beta j} + p_j\omega_j\psi_{r\alpha j}. \end{cases} \quad (5)$$

Учтем влияние трансформатора на процесс электромеханического преобразования энергии.

Модель трансформатора:

$$\frac{d\Psi_{ts\alpha}}{dt} = u_{ts\alpha} - R_{ts} i_{ts\alpha}; \qquad \frac{d\Psi_{ts\beta}}{dt} = u_{ts\beta} - R_{ts} i_{ts\beta};$$
$$\frac{d\Psi_{tr\alpha}}{dt} = u_{tr\alpha} - R_{tr} i_{tr\alpha}; \qquad \frac{d\Psi_{tr\beta}}{dt} = u_{tr\beta} - R_{tr} i_{tr\beta}; \quad (6)$$
$$i_{tr\alpha} = \frac{\Psi_{tr\alpha} - k_{ts}\Psi_{ts\alpha}}{L'_{tr}}; \qquad i_{tr\beta} = \frac{\Psi_{tr\beta} - k_{ts}\Psi_{ts\alpha}}{L'_{tr}}.$$

Условия сопряжения моделей (5) и (6) по правилам Кирхгофа:

$$u_\alpha + u_{tr\alpha} = 0; \qquad u_\beta + u_{tr\beta} = 0 \quad (7)$$

$$i_{tr\alpha} = \sum_{\partial=1}^{b} i_{s\alpha\partial}; \qquad i_{tr\alpha\beta} = \sum_{\partial=1}^{b} i_{s\beta\partial} \quad (8)$$

Объединяем (5) и (6) с учетом (7) и (8):

$$\begin{cases} \dfrac{d\psi_{s\alpha j}}{dt}+L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{1}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{s\alpha l}}{dt}+\sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{1}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{s\alpha b}}{dt}\right)+\dfrac{d\psi_{tr\alpha}}{dt}= \\ =L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{k_{rl}}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{r\alpha l}}{dt}+\sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{k_{rb}}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{r\alpha b}}{dt}\right)- \\ -R_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}i_{s\alpha l}-\sum\limits_{p=1}^{i}\left(R_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}i_{s\alpha b}\right)-R_{sj}i_{s\alpha j}-R_{tr}\sum\limits_{b=1}^{b_1}i_{s\alpha b}; \\ \dfrac{d\psi_{s\beta j}}{dt}+L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{1}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{s\beta l}}{dt}+\sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{1}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{s\beta b}}{dt}\right)+\dfrac{d\psi_{tr\beta}}{dt}= \\ =L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{k_{rl}}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{r\beta l}}{dt}+\sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{k_{rb}}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{r\beta b}}{dt}\right)- \\ -R_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}i_{s\beta l}-\sum\limits_{p=1}^{i}\left(R_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}i_{s\beta b}\right)-R_{sj}i_{s\beta j}-R_{tr}\sum\limits_{b=1}^{b_1}i_{s\beta b}; \end{cases} \tag{9}$$

Дифференцируя $i_{tr\alpha}$ и $i_{tr\beta}$ в (6), получаем:

$$\begin{cases} \dfrac{di_{tr\alpha}}{dt}=\dfrac{1}{L'_{tr}}\dfrac{d\psi_{tr\alpha}}{dt}-\dfrac{k_{ts}}{L'_{tr}}\dfrac{d\psi_{ts\alpha}}{dt}; \\ \dfrac{di_{tr\beta}}{dt}=\dfrac{1}{L'_{tr}}\dfrac{d\psi_{tr\beta}}{dt}-\dfrac{k_{ts}}{L'_{tr}}\dfrac{d\psi_{ts\beta}}{dt}. \end{cases} \tag{10}$$

Отсюда получим:

$$\begin{cases} \dfrac{d\psi_{tr\alpha}}{dt}=L'_{tr}\dfrac{di_{tr\alpha}}{dt}+k_{ts}\dfrac{d\psi_{ts\alpha}}{dt}; \\ \dfrac{d\psi_{tr\beta}}{dt}=L'_{tr}\dfrac{di_{tr\beta}}{dt}+k_{ts}\dfrac{d\psi_{ts\beta}}{dt}. \end{cases} \tag{11}$$

Учитывая (3) и (8), запишем:

$$\begin{cases} \dfrac{d\psi_{tr\alpha}}{dt}=L'_{tr}\sum\limits_{b=1}^{b_1}\dfrac{1}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{s\alpha b}}{dt}-L'_{tr}\sum\limits_{b=1}^{b_1}\dfrac{k_{rb}}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{r\alpha b}}{dt}+k_{ts}\dfrac{d\psi_{ts\alpha}}{dt}; \\ \dfrac{d\psi_{tr\beta}}{dt}=L'_{tr}\sum\limits_{b=1}^{b_1}\dfrac{1}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{s\beta b}}{dt}-L'_{tr}\sum\limits_{b=1}^{b_1}\dfrac{k_{rb}}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{r\beta b}}{dt}+k_{ts}\dfrac{d\psi_{ts\beta}}{dt}. \end{cases} \tag{12}$$

Используя (9) и (12), получим искомую модель для исследования процессов электромеханического преобразования энергии:

$$\begin{cases} \dfrac{d\psi_{s\alpha j}}{dt}+L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{1}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{s\alpha l}}{dt}+\sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{1}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{s\alpha b}}{dt}\right)+L'_{tr}\sum\limits_{b=1}^{b_1}\dfrac{1}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{s\alpha b}}{dt}= \\ =L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{k_{rl}}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{r\alpha l}}{dt}+\sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{k_{rb}}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{r\alpha b}}{dt}\right)+L'_{tr}\sum\limits_{b=1}^{b_1}\dfrac{k_{rb}}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{r\alpha b}}{dt}-k_{ts}\dfrac{d\psi_{ts\alpha}}{dt}- \\ -R_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}i_{s\alpha l}-\sum\limits_{p=1}^{i}\left(R_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}i_{s\alpha b}\right)-R_{sj}i_{s\alpha j}-R_{tr}\sum\limits_{b=1}^{b_1}i_{s\alpha b}; \\ \dfrac{d\psi_{s\beta j}}{dt}+L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{1}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{s\beta l}}{dt}+\sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{1}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{s\beta b}}{dt}\right)+L'_{tr}\sum\limits_{b=1}^{b_1}\dfrac{1}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{s\beta b}}{dt}= \\ =L_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}\dfrac{k_{rl}}{L'_{sl}}\dfrac{d\psi_{r\beta l}}{dt}+\sum\limits_{p=1}^{i}\left(L_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}\dfrac{k_{rb}}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{r\beta b}}{dt}\right)+L'_{tr}\sum\limits_{b=1}^{b_1}\dfrac{k_{rb}}{L'_{sb}}\dfrac{d\psi_{r\beta b}}{dt}-k_{ts}\dfrac{d\psi_{ts\beta}}{dt}- \\ -R_{Ki}\sum\limits_{l=l_0}^{l_1}i_{s\beta l}-\sum\limits_{p=1}^{i}\left(R_{Mp}\sum\limits_{b=b_0}^{b_1}i_{s\beta b}\right)-R_{sj}i_{s\beta j}-R_{tr}\sum\limits_{b=1}^{b_1}i_{s\beta b}; \end{cases} \tag{13}$$

$$\frac{d\psi_{r\alpha j}}{dt} = -R_{rj} i_{r\alpha j} - p_j \omega_j \psi_{r\beta j};$$

$$\frac{d\psi_{r\beta j}}{dt} = -R_{rj} i_{r\beta j} + p_j \omega_j \psi_{r\alpha j};$$

$$\frac{d\psi_{ts\alpha}}{dt} = u_{ts\alpha} - R_{ts} i_{ts\alpha};$$

$$\frac{d\psi_{ts\beta}}{dt} = u_{ts\beta} - R_{ts} i_{ts\beta};$$

$$\frac{d\psi_{tr\alpha}}{dt} = L'_{tr} \sum_{b=1}^{b_1} \frac{1}{L'_{sb}} \frac{d\psi_{s\alpha b}}{dt} - L'_{tr} \sum_{b=1}^{b_1} \frac{k_{rb}}{L'_{sb}} \frac{d\psi_{r\alpha b}}{dt} + k_{ts} \frac{d\psi_{ts\alpha}}{dt};$$

$$\frac{d\psi_{tr\beta}}{dt} = L'_{tr} \sum_{b=1}^{b_1} \frac{1}{L'_{sb}} \frac{d\psi_{s\beta b}}{dt} - L'_{tr} \sum_{b=1}^{b_1} \frac{k_{rb}}{L'_{sb}} \frac{d\psi_{r\beta b}}{dt} + k_{ts} \frac{d\psi_{ts\beta}}{dt}.$$

Таким образом, на основе использования структуры на рис. 2 возможно описание состояния электромеханической системы при преобразовании электрической энергии в сети электроснабжения в форме, удобной для определения оптимальной магистральной структуры с помощью генетического алгоритма.

На основе математической модели (13) разработано программное средство, предназначенное для нахождения оптимальной по различным критериям структуры сети электроснабжения при различных режимах работы электродвигателей с использованием генетического алгоритма. Программное средство, также предназначенное для моделирования переходных процессов в горных машинах или промышленных установках в номинальных режимах работы, разработано в системе визуального объектно-ориентированного программирования Borland Delphi 7.

Рассмотрим работу данного программного средства на примере поиска оптимальной структуры сети электроснабжения очистного участка, а также проведем анализ результатов.

На рис. 3 показана схема электроснабжения очистного забоя 3-1-1 на шахте ЗАО «Распадская». Электроснабжение конвейера, перегружателя и дробилки предусмотрено от энергопоезда с трансформатором BRUSH 1250-6/1,2. На рис. 4 приведена схема расположения электрооборудования очистного забоя. В таблице 1 приведены параметры потребителей электроэнергии участка.

Таблица 1. Перечень потребителей участка

Наименование механизма	Тип электродвигателя	Uн, В	Рн, кВт	Режим работы
Конвейер А35	ДКВ355LB4	1140	2х315	S3
Перегружатель ПСП-308	ДКВ315L4	1140	200	S3
Дробилка ДУ-910	АВР280L4	1140	160	S3

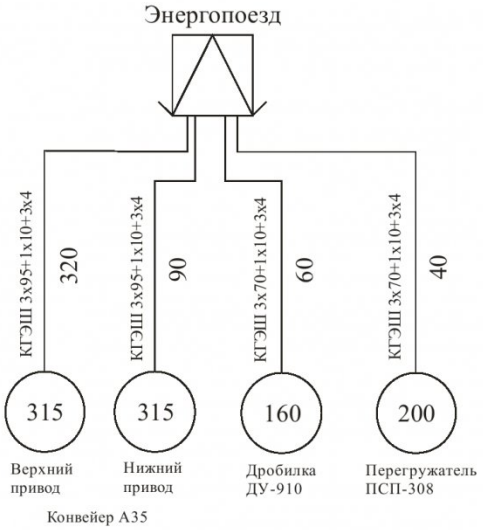

Рис. 3. Принципиальная схема электроснабжения очистного забоя

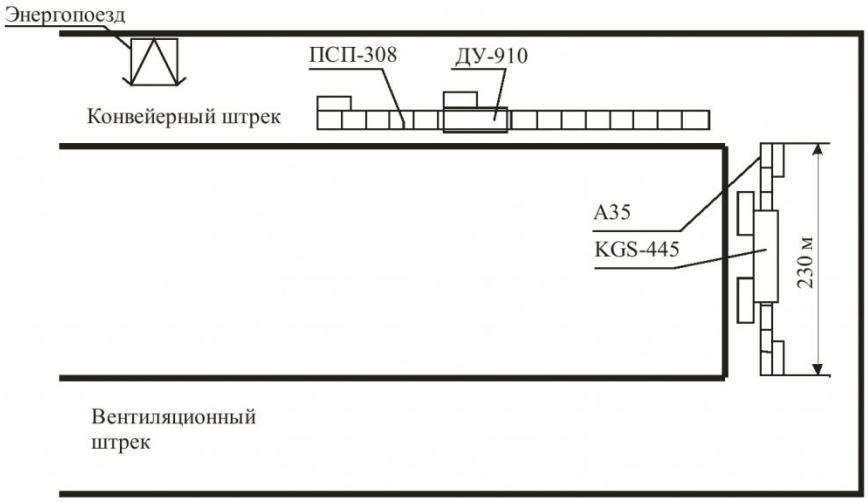

Рис. 4. Схема расположения электрооборудования очистного забоя

В результате поиска оптимальной структуры электроснабжения очистного забоя по критерию минимума потерь электроэнергии и минимума потерь напряжения в кабельной сети получена магистральная структура, показанная на рис. 5. Для данной схемы потери электроэнергии составили 80% от потерь электроэнергии по схеме на рис. 3, а среднее значение напряжения уменьшилось на 2,1 В.

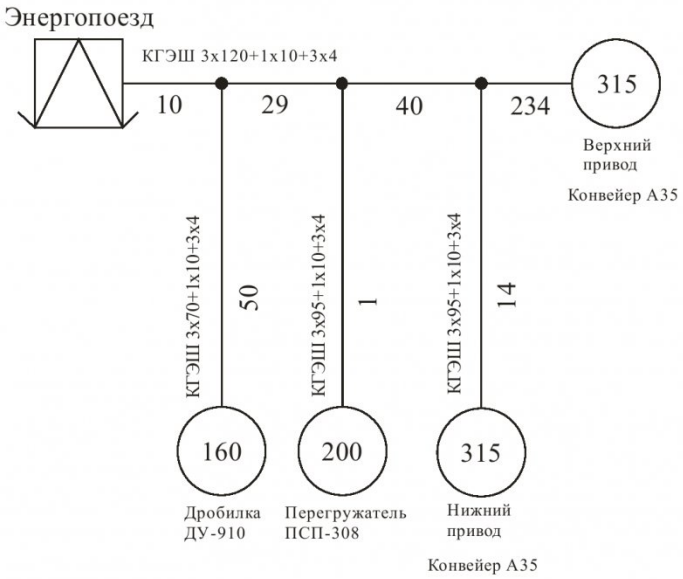

Рис. 5. Оптимальная структура электроснабжения очистного забоя по критерию минимума потерь электроэнергии и минимума потерь напряжения в кабельной сети

В качестве нагрузки на валах электродвигателей конвейера, перегружателя и дробилки имитировался момент сопротивления, величина которого задавалась аналитическим выражением:

$$M_s = M_{ном} + 0,4 \cdot M_{ном} \cdot \sin\left(12 \cdot \pi \cdot t\right) + 0,4 \cdot M_{ном} \cdot \sin\left(26 \cdot \pi \cdot t\right),$$

где M_s – вычисляемый момент сопротивления на исполнительном органе; $M_{ном}$ – номинальный электромагнитный момент двигателя.

На рис. 6 – 9 показаны динамические характеристики основных показателей электромеханической системы при пуске двигателей в системе электроснабжения очистного участка. При одновременном пуске электродвигателей перегружателя и дробилки из рис. 6 видно, что происходит снижение напряжения на зажимах двигателей примерно на 12%. После разгона двигателей их токи снижаются (рис. 7), и напряжение восстанавливается через 0,5 с до уровня меньше прежнего примерно на 20 В, то есть на величину потерь напряжения в кабелях сети и в трансформаторе. Последнее неблагоприятно отражается на запускаемых электродвигателях конвейера в момент времени 1 с. При запуске двигателей конвейера их токи формируют падения напряжения на общих с работающими двигателями участках магистрального кабеля. Происходит снижение напряжения на зажимах уже работающих двигателей в зависимости от

протяженности общих участков кабелей двигателей, а также за счет дополнительного падения на сопротивлениях вторичных обмоток трансформатора. Это оказывает влияние на электромагнитный момент (рис. 9) и скорость (рис. 8) двигателей дробилки и перегружателя.

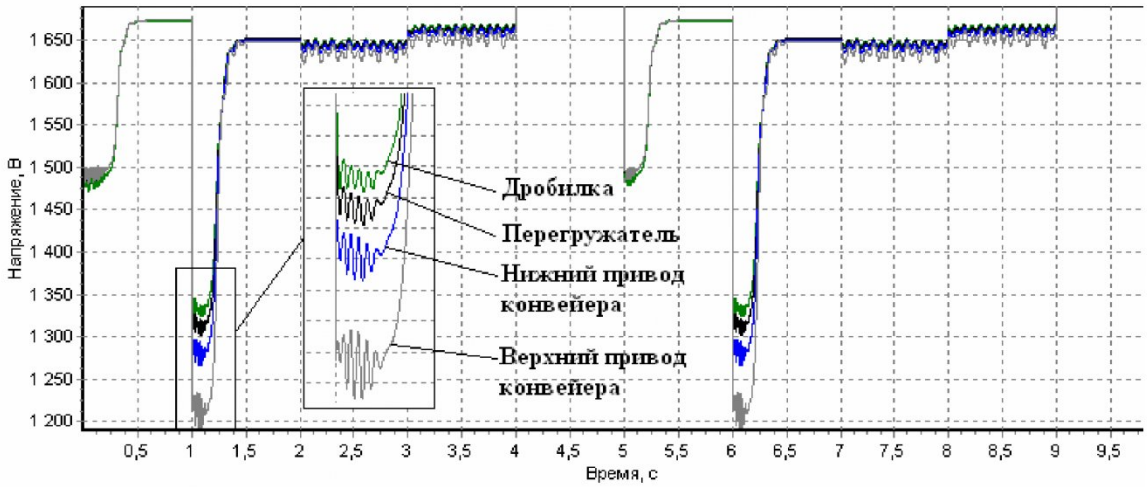

Рис. 6. Изменение амплитуды напряжения на обмотках статоров двигателей

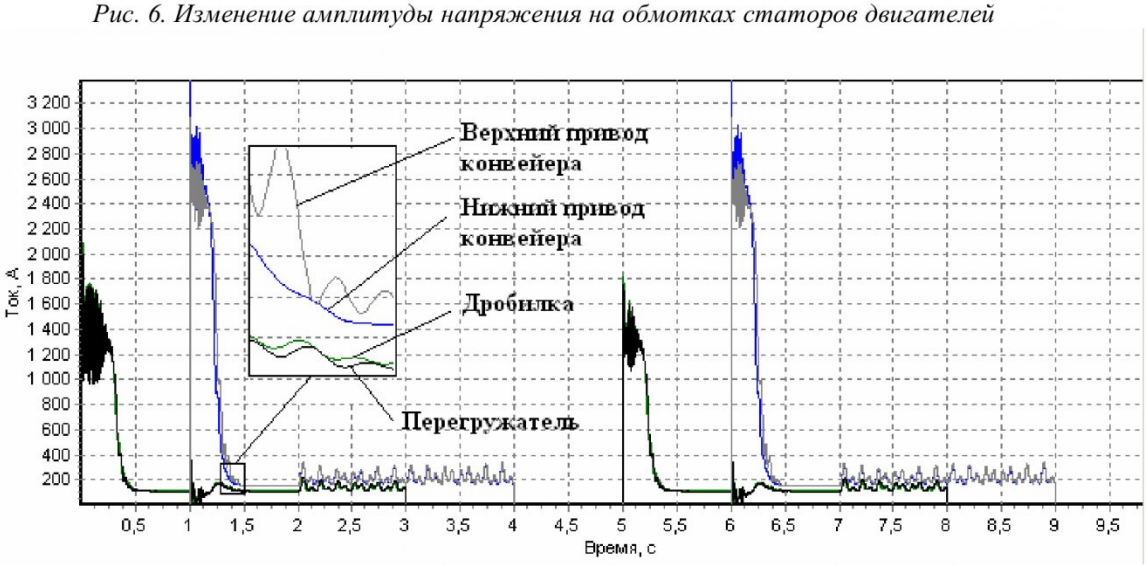

Рис. 7. Изменение амплитуды токов на обмотках статоров двигателей

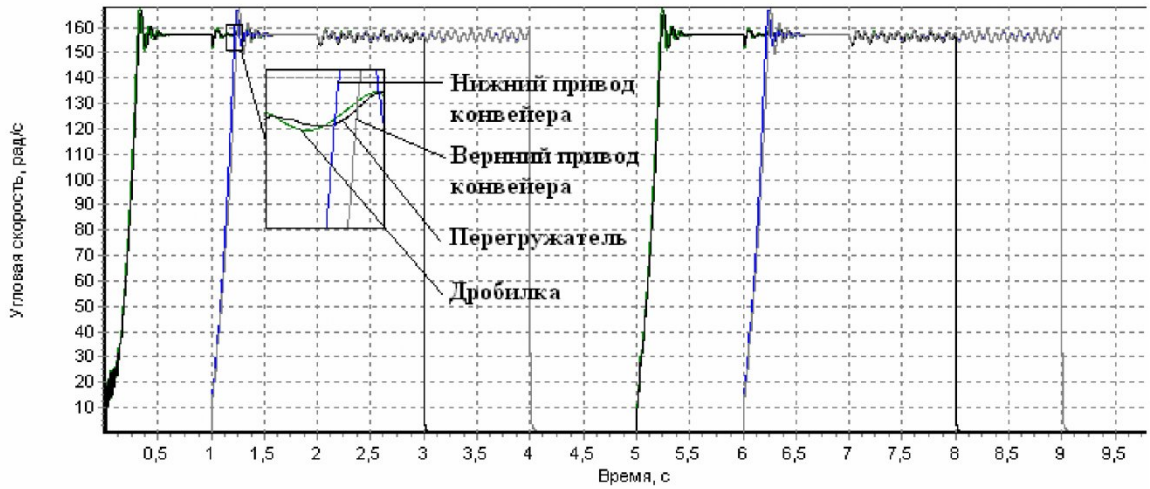

Рис. 8. Изменение угловой скорости двигателей

Момент у двигателя верхнего привода конвейера меньше, чем у двигателя нижнего привода, из-за большей удаленности от трансформатора. Так для самого удаленного от трансформатора двигателя верхнего привода конвейера снижение напряжения составляет примерно 30% от номинального значения.

При работе под нагрузкой это может привести к затяжному пуску и, в худшем случае, к опрокидыванию электродвигателя. Затем напряжение восстанавливается через 0,5 с до уровня меньше прежнего примерно на 25 В. В момент времени 2 с на двигатели подается резко-переменная нагрузка, что приводит к колебаниям напряжения на зажимах двигателей и отрицательно сказывается на их работе. Колебания напряжения в сети приводят к возникновению электромеханических колебаний на валах электродвигателей (рис. 9).

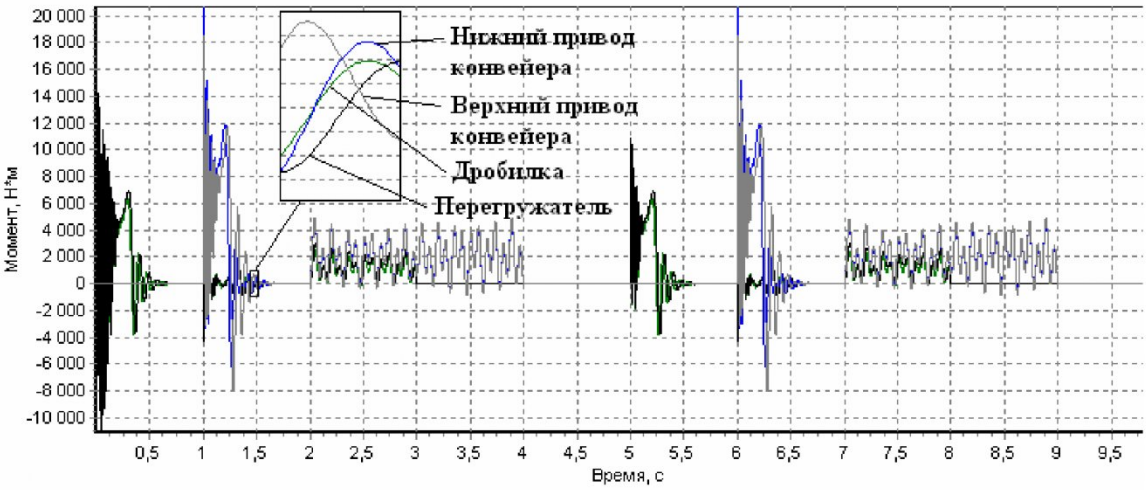

Рис. 9. Изменение электромагнитных моментов двигателей

При отключении двигателей дробилки и перегружателя в момент времени 3 с напряжение на включенных двигателях конвейера повышается примерно на 25 В. В момент времени 4 с двигатели конвейера отключаются. С момента времени 5 с вышеописанный цикл повторяется, так как двигатели работают в повторно-кратковременном режиме *S3* с продолжительностью включения 60%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ещин Е. К.* Электромеханические системы многодвигательных электроприводов. Моделирование и управление. - Кемерово: Кузбасский гос.техн.ун-т, 2003. - 247 с.

Автор статьи:

Негадаев
Владислав Александрович
- старший преподаватель кафедры электропривода и автоматизации КузГТУ.
Тел. 8-3842-. 58-23-29.