УДК 622.61-67

**А.А.КОРЖЕВ**
*Горно-электромеханический факультет,*
*аспирант кафедры автоматизации производственных процессов*

# СТАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КОМБИНИРОВАННОГО ПРИВОДА РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

Представлена методика определения основных статических параметров комбинированного привода рудничного электровоза, представляющего собой сочетание традиционного движителя и дополнительного тягового линейного электродвигателя. Поскольку сила тяги дополнительного движителя не зависит от условий сцепления колес электровоза с рельсами, использование такой системы позволит увеличить массу состава при неизменной сцепной массе электровоза.

Приведены основные соотношения и алгоритм определения мощности дополнительно движителя, при разных способах управления электродвигателем и различных технологических параметрах электровозного транспорта. Приведена блок-схема и описание алгоритма расчета статических параметров комбинированного привода рудничного электровоза для различных условий, исходя из ограничения силы тяги основного привода длительной величиной.

The definition technique of the basic static parameters of the combined drive of a miner electric locomotive representing a combination of a traditional drive and an additional linear electric motor (LM) is given in this article. As force of draft additional drive does not depend on conditions of coupling of an electric locomotive wheels with rails using of such system will allow to increase weight of structure at a constant coupling weight of an electric locomotive.

The basic ratios and algorithm of definition of capacity in additional drive at various ways of management LM and various technological parameters locomotive of transport are given. The block diagram and the description of calculation algorithm of static parameters of the combined drive of a miner electric locomotive for various conditions proceeding from a condition of force value restriction of draft of the basic drive are given.

Под комбинированным приводом понимается система привода рудничного электровоза на основе сочетания основного движителя традиционной конструкции и линейного электродвигателя (ЛД) в качестве дополнительного движителя. Поскольку сила тяги дополнительного движителя не зависит от условий сцепления колес электровоза с рельсами, использование такой системы позволит увеличить массу состава при неизменной сцепной массе электровоза. Последний факт обуславливает экономическую эффективность данного типа привода. Методика определения рациональной силы тяги ЛД и экономического эффекта приведена в работе [2].

Уравнение движения для комбинированного привода в статическом режиме

$$F_к = F_о + F_д = \Sigma W, \qquad (1)$$

где $F_о$, $F_д$ – сила тяги основного и дополнительного движителя соответственно, Н; $\Sigma W$ – сопротивление движению, Н.

Суммарное сопротивление движению, с учетом увеличения массы поезда на $\Delta Q_р$, по сравнению с традиционным приводом электровозов с той же сцепной массой,

$$\Sigma W = g(P + Q + \Delta Q_р)(w_о + w_к \pm i), \qquad (2)$$

где $P$ – масса электровоза, т; $Q$ – масса состава, т; $w_о$ – основное удельное сопротивление движению, Н/кН; $w_к$ – удельное сопротивление кривых, Н/кН; $i$ – уклон, ‰.

Соотношение силы тяги дополнительного и основного приводов определяется разгоном поезда при расчетном коэффици-

енте сцепления колес электровоза с рельсами $\psi_р$ и нагревом тяговых двигателей основного привода в длительном режиме. Согласно результатам расчетов, приведенным в [2],

$$\xi_{р} = F_{д} / F_{о} = 0{,}35 \div 0{,}55 \qquad (3)$$

в зависимости от технологических параметров электровозного транспорта, используемой системы пуска двигателей основного привода и типа тяговых двигателей (с последовательным или смешанным возбуждением). Однако значение $\xi_р$ соответствует наибольшему значению силы тяги ЛД при разгоне поезда.

Длительное значение силы тяги ЛД, и, соответственно, его мощность должны определяться из условия допустимого нагрева тяговых двигателей основного привода за время рейса (эквивалентный ток тяговых двигателей за время движения не должен превышать длительного значения по паспортным данным двигателя). При этом время работы и сила тяги ЛД минимальны, а возможности основного привода полностью использованы.

На рудничном электровозном транспорте применяют тяговые двигатели постоянного тока с независимым и смешанным возбуждением. Эффективность использования последних на рудничном электровозном транспорте была отмечена ранее [4]. Электромеханическая $V = f(I)$ и тяговая $F = f(I)$ характеристики определяются уравнениями [2, 3]

$$V_{о} = \frac{U_{а} - I_{а} R_{а}}{k_1' \operatorname{arctg}\left(M'\left(I_{а}(1-\gamma) + (U'/U_{н})\gamma\, I_{ач}\right)\right)}; \qquad (4)$$

$$F_{о} = k_2' I_{а} N_{д} \operatorname{arctg}\left(M'\left(I_{а}(1-\gamma) + (U'/U_{н})\gamma I_{ач}\right)\right), \qquad (5)$$

где $U_а$, $I_а$, $R_а$ – соответственно напряжение, В, ток, А и эквивалентное сопротивление, Ом, цепи обмотки якоря тяговых двигателей; $k_1'$, $k_2'$ – электрическая, В·с/МВб, и электромеханическая, Н/(А·рад), постоянные основного привода электровоза; $M'$ – постоянная магнитной цепи тягового двигателя, $А^{-1}$; $\gamma$ – коэффициент компаундирования тягового двигателя; $U'$, $U_н$ – приложенное и номинальное напряжение тягового двигателя, В; $I_{ач}$ – часовой ток якорной цепи тягового двигателя, А; $N_д$ – количество тяговых двигателей.

Механическая характеристика основного привода $V_о = f(F_o)$ получается при совместном решении уравнений (3) и (4), причем ее жесткость является переменной и зависит от нагрузки основного привода и, соответственно, от тока основного привода. Из этого следует, что жесткость искусственных характеристик ЛД должна быть также переменной и является функцией нагрузки (тока) основного привода.

Для линейного асинхронного двигателя уравнения характеристик, аналогичных (4), (5), описываются уравнениями [1]

$$F_{д} = \frac{2AmU^2/f}{2p+1}\left[(2p+1)\left(\frac{1-V_{п}/2\tau f}{s} + \frac{s}{1-V_{п}/2\tau f}\right)^{-1} - \right.$$

$$\left. - \left(\frac{1-V_{п}/2\tau f}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{1-V_{п}/2\tau f}\right)^{-1}\right], \qquad (6)$$

$$F_{д} = \frac{k_{\delta} m I_{экв}^2 R_2'}{2\tau f - V_{о}}, \qquad (7)$$

где $F_{кр}$ – максимальное (критическое) значение силы тяги ЛД, Н; $p$ – число пар полюсов ЛД; $s$ – скольжение ЛД, $s_{кр}$ – критическое скольжение ЛД, определяемое на основе схемы замещения ЛД; $V_п$ – скорость поезда, м/с; $\tau$ – полюсное деление ЛД, м; $f$ – частота питающего ЛД напряжения, Гц; $A$ – конструктивный параметр ЛД; $m$ – число фаз ЛД; $U$ – амплитуда питающего напряжения ЛД, В; $I_{экв}$ – эквивалентный ток ЛД, А; $R_2'$ – приведенное сопротивление обмотки ротора, Ом; $k_\delta$ – коэффициент, значение которого зависит от конструктивных параметров ЛД (см [1]).

Возможны два варианта управления дополнительным приводом:

- импульсный режим работы ЛД с неизменной силой тяги и переменным временем его работы в зависимости от сопротивления движению на данном участке пути;
- длительный режим работы ЛД с переменой силой тяги.

Второй способ имеет преимущество с точки зрения энергетических показателей (при первом способе управления имеют место дополнительные потери энергии при

включении / отключении ЛД), первый может быть использован, когда на отдельных участках пути работа ЛД невозможна (при установке вторичного элемента ЛД только на отдельных участках пути, при невозможности работы ЛД на кривых участках пути).

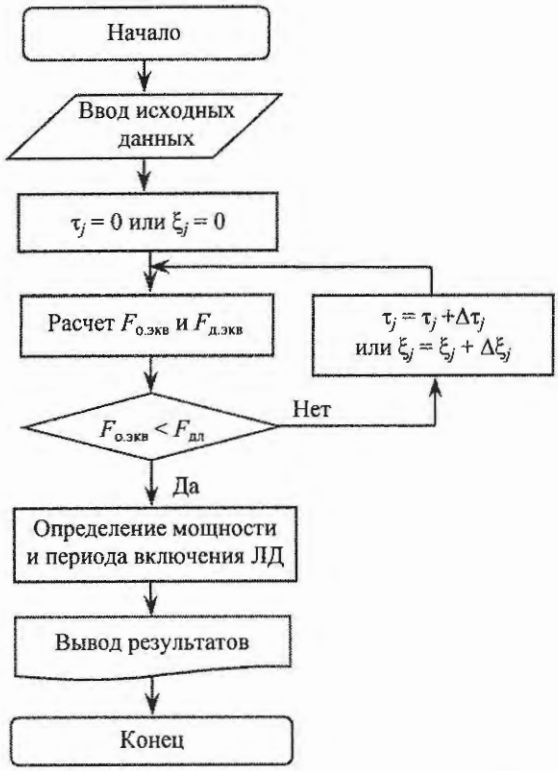
Между силой тяги и током основного и дополнительного приводов существует соответствие (уравнения (5) и (7)). Обозначив соотношение сил тяги дополнительного и основного приводов на $j$-м участке пути $\xi_j = F_{дj} / F_{oj}$ и относительное время работы ЛД $\tau_j = t_{дj} / t_{oj}$, получаем для эквивалентных усилий основного и дополнительного привода

$$F_{о.экв} = \sqrt{\frac{nF^2_{о.час} t_п + \sum_{j=1}^{N} (1 - \xi_j)^2 F^2_{оч} t_{oj}}{T_р + \theta_о}} \le F_{о.дл}; \quad (8)$$

$$F_{д.экв} = \sqrt{\frac{n\xi^2_р F^2_{о.час} t_п + \sum_{j=1}^{N} \xi^2_j F^2_{д\max} \tau_j t_{oj}}{T_р + \theta_д}}, \quad (9)$$

где $n$ – расчетное число пусков, $F_{о.час}$, $F_{о.дл}$ – часовая и длительная силы тяги основного привода, Н; $t_п$ – время пуска, мин; $T_р$ – время рейса, мин; $\theta_о$, $\theta_д$ – время пауз основного и дополнительного привода; $F_{д.max}$ – максимальная сила тяги ЛД, Н.

Зная эквивалентную силу тяги ЛД, можно по известным методикам определить его мощность и режим работы. Алгоритм расчета может быть представлен блок-схемой (см. рисунок). В соответствии с блок-схемой изначально принимается, что дополнительный привод работает только при пуске и в длительном режиме $\xi_j = 0$ или $\tau_j = 0$. Если значение эквивалентной силы тяги основного привода не превосходит длительного значения, то ЛД может быть использован только во время разгона поезда и отключен в длительном режиме. В противном случае время работы или сила тяги ЛД на каждом из участков пути увеличивается на некоторую величину $\Delta\tau$ или $\Delta\xi$, причем значение шага на различных участках различно и должно быть пропорционально сопротивлению движения на данном участке $\Sigma W_j$ (так как нет смысла использовать ЛД на участках с малым сопротивлением движению). Далее расчет проверяется циклически до тех пор, пока указанное условие не будет выполнено. После этого возможно определение параметров ЛД при известной эквивалентной силе тяги, а также силе тяги на каждом из участков пути.




Блок-схема алгоритма определения статических параметров комбинированного привода

## ЛИТЕРАТУРА


1. *Дьяков В.И.* Расчет электроприводов с линейными асинхронными двигателями. Иваново, 1973.

2. *Кордаков В.Н.* Методика определения рациональной величины силы тяги линейного двигателя рудничного электровоза с комбинированным приводом / В.Н.Кордаков, А.А.Коржев // Проблемы машиноведения и машиностроения: Межвуз. сб. Вып.29. СПб: Изд-во СЗТУ, 2003.

3. *Кордаков В.Н.* Оптимизация параметров рудничного автоматизированного электровозного транспорта // Изв. вузов. Горный журнал, 1988. № 5.

4. *Кордаков В.Н.* Эффективность применения тяговых двигателей со смешанным возбуждением для рудничных электровозов / В.Н.Кордаков, И.Н.Гогин, Г.М.Ковин, М.У.Энеев // Промышленная энергетика. 1978. № 1.



Научный руководитель д.т.н. проф. *В.Н.Кордаков*