

## К ОЦЕНКЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИВОДА ПАССАЖИРСКОГО ЛИФТА

**Борисенко В.Ф., Ченак А.А., Снизаренко Ю.И., Шойхет Е.Н.**  
Донецкий государственный технический университет  
*olga@pandora.kita.dgtu.donetsk.ua*

*The starting-brake conditions of a drive of the raising of the passenger lift with a double-speed induction motor with registration of elastic properties of a system, clearances and electromagnetic phenomena in a drive are researched. The influence of transient processes in a system is exhibited at transition with "small" on the "large" speed and on the contrary. The guidelines on improvement of a system dynamics and lowering of losses in a drive are given.*

Электромеханическая система (ЭМС) лебедки пассажирского лифта подвержена значительным динамическим нагрузкам, обусловленным частыми пуско-тормозными режимами, приводящим к выходу из строя двигателей, быстрому износу узлов механизма и возникновению аварийных ситуаций.

Выход из строя применяемых здесь двухскоростных асинхронных двигателей происходит, в основном, вследствие сгорания обмоток большой скорости (ОБ). По данным ПО "Донецклифт", доля вышедших по этой причине из строя двигателей одной серии, по отношению к общему числу вышедших из строя машин данной серии, составляет 50% для серии АС, 29% для серии АН, то есть наибольший процент выхода из строя приходится на массовую серию АС.

Типовые схемы управления двухскоростными двигателями лифтов реализуют циклы из последовательных участков разгона на большую скорость включением ОБ, перемещения кабины с данной скоростью, перехода на пониженную скорость переключением двигателя на обмотку малой скорости (ОМ), перемещения с малой скоростью и остановки. При этом в каждом цикле обмотка большой скорости подвержена процессу затяжного одноступенчатого разгона с большим пусковым током, что нередко ведет к ее перегреву.

Известно, что многоступенчатый пуск полюспереключаемого АД предпочтительнее одноступенчатого с точки зрения потерь энергии. Для двигателей применяемых серий, у которых отношение синхронных частот вращения  $\omega_{об} / \omega_{ом} = 3$ , реализация двухступенчатого пуска дает снижение пусковых потерь на 40...45 %, как это следует из приводимого ниже сравнения.

В общем случае потери энергии в асинхронном двигателе при пуске вхолостую [1]

$$\Delta A_n = K \omega_o^2, \quad (1)$$

где  $K$  - коэффициент, зависящий от параметров двигателя;

$\omega_o$  - синхронная частота вращения.

Потери энергии  $\Delta A_{n1}$  при одноступенчатом пуске двигателя лифта определяются равенством (1) при  $\omega_o = \omega_{об}$ .

Принимая во внимание малую зависимость коэффициента  $K$  от параметров обмоток статора, потери энергии при двухступенчатом пуске можно выразить суммой

$$\Delta A_{n2} = \Delta A_I + \Delta A_{II} = K \cdot \omega_{ом}^2 + K(\omega_{об} - \omega_{ом})^2 = 0,55K \cdot \omega_{об}^2 = 0,55\Delta A_{n1}, \quad (2)$$

где  $\Delta A_I, \Delta A_{II}$  - потери энергии на первой ( $0 \dots \omega_{ом}$ ) и второй ( $\omega_{ом} - \omega_{об}$ ) ступенях пуска.

Иллюстрируемое равенством (2) значительное снижение потерь подтверждает целесообразность использования ОМ при пуске двигателя лифта.

Динамические нагрузки в элементах привода обобщенно оцениваются по значениям момента  $M_{12}$  в упругой связи и электромагнитного момента  $M$  двигателя с помощью двухмассовой ЭМС с приведенным кинематическим зазором (рис. 1).

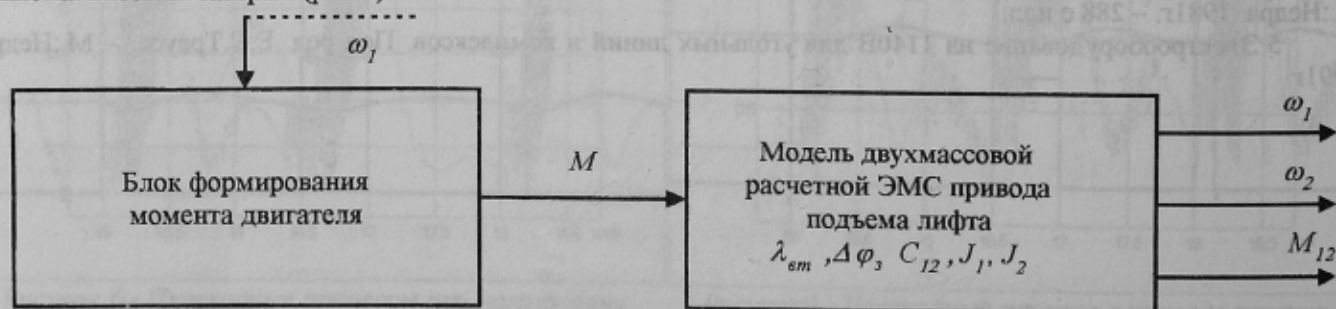


Рисунок 1- Блок-схема модели ЭМС привода подъема

Для лифтовых лебедок приведенные к двигателю значения зазора  $\Delta\varphi_3$  и жесткости  $C_{12}$  связи, зависящие от типоразмера, качества сборки и длительности эксплуатации передач, лежат в пределах 0,02...0,06 рад и 50...400 Н·м.

Для оценки выбраны режимы:

- одноступенчатый пуск по характеристике большой скорости (ОБ) без учета и с учетом электромагнитных явлений в двигателе;

- двухступенчатый пуск по схеме ОМ-ОБ с переключением ступеней при относительной частоте вращения  $\omega_n^* = \omega_n / \omega_{об} = 0,2$  и  $0,265$  без учета электромагнитных явлений, а также с учетом их при степени затухания магнитного потока двигателя (ОМ) в момент переключения  $\Phi_n^* = 1$  (незатухшее поле);  $0,5$  (затухшее наполовину);  $0$  (полностью затухшее), зависящей от быстродействия коммутационной аппаратуры;

- одноступенчатое замедление с большой скорости по характеристике малой скорости без учета и с учетом электромагнитных явлений при  $\Phi_n^* = 1; 0,5; 0$ ;

- двухступенчатое замедление с большой скорости по совместной характеристике большой и малой скоростей с переключением на обмотку малой скорости при  $\omega_n^* = 0,5$  с учетом электромагнитных явлений при  $\Phi_n^* = 1; 0,5; 0$ .

Уравнения, описывающие ЭМС с учетом электромагнитных явлений [1], даются в форме, приемлемой для моделирования на ЦВМ:

$$\begin{aligned}
 M - M_{12} - M_{c1} &= J_1 \frac{d\omega_1}{dt}; \\
 M_{12} - M_{c2} &= J_2 \frac{d\omega_2}{dt}; \\
 M_{12} &= \begin{cases} 0 & \text{при } |\varphi_1 - \varphi_2| \leq |\Delta\varphi_3|/2, \\ C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2 - \Delta\varphi_3/2) + \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) & \text{при } |\varphi_1 - \varphi_2| > |\Delta\varphi_3|/2; \end{cases} \\
 U_m \cos \gamma + \omega_S \Psi_{1Y} + \frac{\omega_S r_1}{x_1 - x_0^2/x_2} \left( \frac{x_0}{x_2} \Psi_{2X} - \Psi_{1X} \right) &= \frac{d\Psi_{1X}}{dt}; \\
 U_m \sin \gamma + \omega_S \Psi_{1X} + \frac{\omega_S r_1}{x_1 - x_0^2/x_2} \left( \frac{x_0}{x_2} \Psi_{2Y} - \Psi_{1Y} \right) &= \frac{d\Psi_{1Y}}{dt}; \\
 (\omega_S - p_n \omega_1) \Psi_{2Y} + \frac{\omega_S r_2}{x_2 - x_0^2/x_1} \left( \frac{x_0}{x_1} \Psi_{1X} - \Psi_{2X} \right) &= \frac{d\Psi_{2X}}{dt}; \\
 (p_n \omega_1 - \omega_S) \Psi_{2X} + \frac{\omega_S r_2}{x_2 - x_0^2/x_1} \left( \frac{x_0}{x_1} \Psi_{1Y} - \Psi_{2Y} \right) &= \frac{d\Psi_{2Y}}{dt}; \\
 M &= \frac{3}{2} p_n \omega_S \frac{x_0}{x_1 x_2 - x_0^2} (\Psi_{2X} \Psi_{1Y} - \Psi_{2Y} \Psi_{1X}),
 \end{aligned} \tag{3}$$

где  $M_{c1}, M_{c2}$  - момент механических потерь в двигателе и приведенный момент сопротивления механизма;

$J_1, J_2$  - момент инерции двигателя и приведенный момент инерции механизма;

$\omega_1, \omega_2, \varphi_1, \varphi_2$  - мгновенные частоты вращения и углы поворота масс  $J_1$  и  $J_2$ ;

$\beta_{12}$  - коэффициент внутреннего вязкого трения;

$U_m, \gamma$  - амплитуда фазного напряжения и фаза его включения;

$r_1, r_2, x_1, x_2, x_0$  - сопротивления двигателя;

$\Psi_{1X}, \Psi_{1Y}, \Psi_{2X}, \Psi_{2Y}$  - потокосцепления статора и ротора по осям X и Y эквивалентной двухфазной машины;

$\omega_S, p_n$  - угловая частота сети и число пар полюсов двигателя.

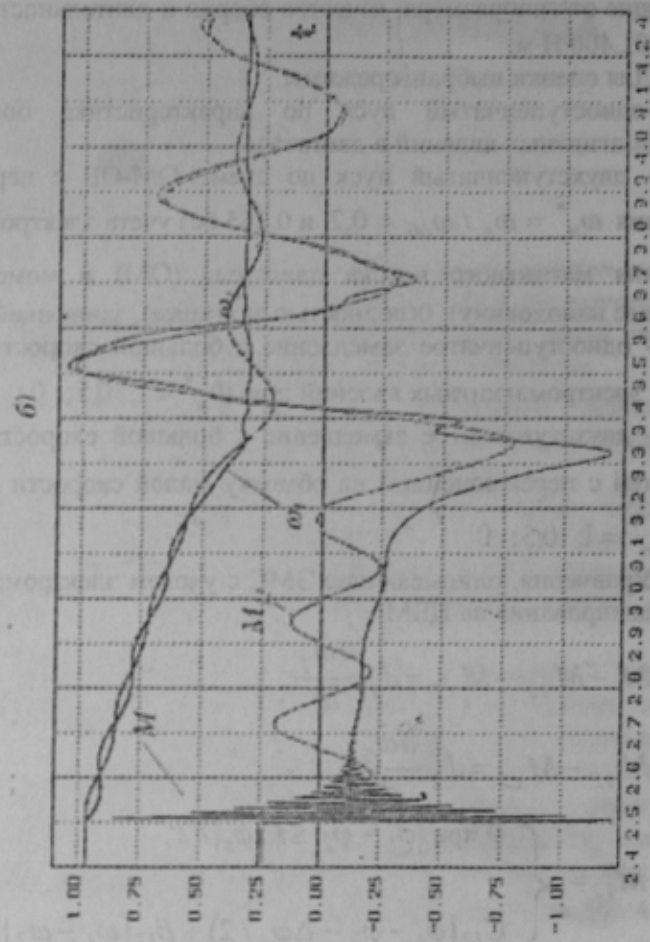
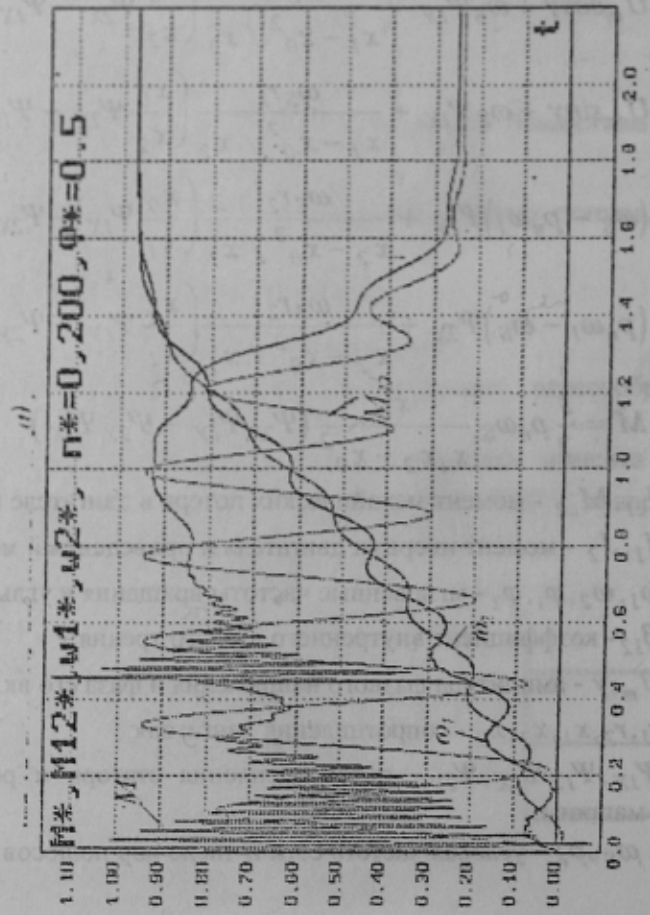
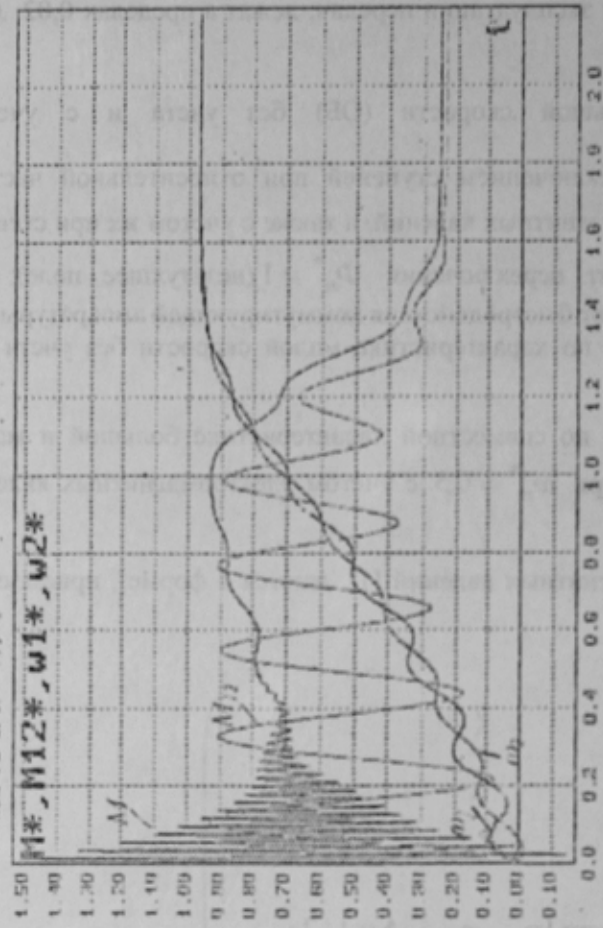
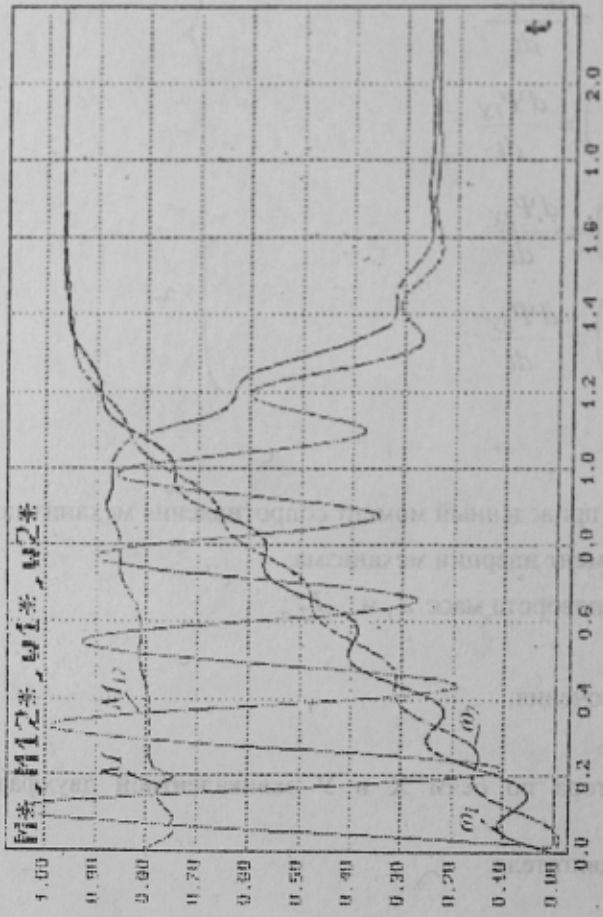


Рисунок 2 - Расчетные зависимости моментов и частот вращения

а - без учета электромагнитных полей, б, в, г - с учетом электромагнитных полей

На рис.2 графически представлен один из фрагментов решения системы уравнений (3) применительно к двигателю АС-2-72/6/18 ШЛУЗ при  $C_{12} = 200$  Н·м,  $\Delta\varphi_3 = 0,06$  рад (рис.2, а, б, в) и  $0,02$  рад (рис.2, г). Здесь  $M^*$  и  $M_{12}^*$  - моменты, отнесенные к базовому четырехкратному значению номинального момента двигателя;  $\omega_1^*$  и  $\omega_2^*$  - частоты вращения, отнесенные к базовому значению  $\omega_{об}$ . Зависимости на рис. 2, а, б иллюстрируют одноступенчатый пуск двигателя по характеристике большой скорости, на рис. 2, в отражен двухступенчатый пуск с переключением на обмотку большой скорости при  $\omega_n^* = 0,2$  и степени затухания потока  $\Phi_n^* = 0,5$  для характеристики большой скорости. Рис. 2, г отражает одноступенчатое замедление по характеристике малой скорости при степени затухания потока  $\Phi_n^* = 0,5$  для характеристики большой скорости.

Результаты анализа таких же зависимостей, полученных для всех отмеченных ранее режимов и сочетаний параметров, показали следующее:

- при одноступенчатом пуске первый (наибольший) пик упругого момента при разгоне двигателя по статической характеристике достигает предела  $M_{12max}^* = 1,1$  при наибольшем зазоре. Учет электромагнитных явлений дает снижение этого пика на 10...12 % за счет плавного нарастания момента  $M^*$  с нулевого значения в начале пуска;

- двухступенчатый пуск со скоростью переключения  $\omega_n^* = 0,2$  протекает без явной зоны промежуточной скорости, а со скоростью переключения  $\omega_n^* = 0,265$  - с некоторой задержкой на этом уровне, увеличивающейся с ростом жесткости упругой связи. В обоих случаях относительные пики упругого момента на обеих ступенях пуска не превышают 1 при учете электромагнитных явлений. Степень затухания поля при переходе на вторую ступень пуска существенно влияет на электромагнитный момент двигателя: при  $\Phi_n^* = 1$  относительные размахи колебаний момента достигают 0,5; при  $\Phi_n^* = 0,5$  доходят до 1; при  $\Phi_n^* = 0$  переходный процесс аналогичен процессу одноступенчатого пуска на большую скорость и характеризуется относительными размахами колебаний момента, превышающими 1,5;

- при одноступенчатом замедлении по характеристике малой скорости электромагнитный переходный процесс отсутствует в случае  $\Phi_n^* = 0$  и проявляется, в начале торможения, в наибольшей степени при  $\Phi_n^* = 1$  с первым относительным максимумом электромагнитного момента, достигающим 0,8. При  $C_{12} = 200$  Н·м, и  $\Delta\varphi_3 = 0,06$  рад происходит раскрытие зазора, обусловленное знакопеременным характером изменения упругого момента;

- двухступенчатое замедление позволяет несколько снизить, по сравнению с одноступенчатым замедлением, динамические нагрузки в ЭМС, но полностью не устраняет знакопеременного характера изменения упругого момента, обуславливающего ударные нагрузки при раскрытии зазора.

Изложенное позволяет сделать следующие выводы:

а) электромагнитные явления в двигателе, из-за высокой частоты колебаний электромагнитного момента, не оказывают существенного влияния на формирование упругого момента, поэтому при изучении динамических режимов, протекающих вне двигателя, могут не учитываться;

б) электромагнитные явления в двигателе обуславливают интенсивные колебания электромагнитного момента и тока, способствующие снижению ресурса обмоток из-за влияния на них электродинамических сил;

в) значительное уменьшение размахов колебаний электромагнитного момента двигателя и момента в механической связи при разгоне обеспечивается применением двух ступеней пуска с переключением их при незатухшем поле двигателя на первой ступени;

г) в период торможения с затухшим полем двигателя на характеристике большой скорости электромагнитный переходный процесс не возникает;

д) режимы в и г, с улучшенными динамическими показателями, могут быть реализованы применением быстродействующего переключателя пусковых ступеней типа тиристорного ключа [2], а также введением временной задержки при переключении двигателя на режим замедления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ключев В.И. Теория электропривода. - М.: Энергоатомиздат. 1985. - 560 С.
2. Чепак А.А., Борисенко В.Ф., Шойхет Е.Н. Влияние кинематических зазоров на динамическую нагруженность электропривода лифтовой лебедки. //Известия вузов. Электромеханика.-1996.-N5-6. - С. 59-63.