

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 62-83-52:62-573

В.Г. Каширских, С.С. Переверзев

УПРАВЛЕНИЕ ПУСКОМ ОДНОПРИВОДНОГО СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА

Известно, что режимы пуска и торможения составляют значительную долю рабочего цикла горно-транспортных машин. Так в [1], на основании проведённых автором исследований, отмечается, что число включений скребкового конвейера в сутки достигает 400. Действие знакопеременных электромагнитных моментов при пуске асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (АД), которыми оснащены скребковые конвейеры, негативным образом оказывается на ресурсе АД и активных элементов механической части конвейера, вызывая их усталостные повреждения, преждевременный износ и, в конечном итоге, приводит к авариям.

Таким образом, актуальна задача снижения уровня динамической нагруженности механических элементов конвейера, которая может быть решена путём формирования требуемой динамической механической характеристики АД с помощью управляемого пуска.

Для исследования процессов, протекающих при управляемом пуске, воспользуемся математической моделью системы «тиристорный преобразователь напряжения – АД – рабочий орган конвейера».

В соответствии с [2], модель системы «тиристорный преобразователь напряжения – АД» можно представить в виде совокупности следующих уравнений (1), где $i_A, i_B, i_C, u_A, u_B, u_C$ –

$$\frac{di_A}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} (u_A - u_0 - R_s i_A - \frac{L_m}{L_r} \frac{d\psi_{rA}}{dt});$$

$$\frac{di_B}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} (u_B - u_0 - R_s i_B - \frac{L_m}{L_r} \frac{d\psi_{rB}}{dt});$$

$$\frac{di_C}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} (u_C - u_0 - R_s i_A - \frac{L_m}{L_r} \frac{d\psi_{rC}}{dt});$$

$$\frac{d\psi_{rA}}{dt} = R_r \frac{L_m}{L_r} i_{s\alpha} - \frac{R_r}{L_r} \psi_{rA} - p\omega \psi_{r\beta};$$

$$\frac{d\psi_{rB}}{dt} = R_r \frac{L_m}{L_r} i_{s\beta} - \frac{R_r}{L_r} \psi_{rB} + p\omega \psi_{r\alpha};$$

$$i_{s\alpha} = i_A;$$

фазные токи и напряжения; u_0 – разность потенциалов между нулевыми точками звезды напряжений сети и звезда напряжений электродвигателя; L_m – взаимная индуктивность обмоток статора и ротора; L_s, L_r – индуктивности статора и ротора; R_s, R_r – активные сопротивления статора и ротора; σ – коэффициент рассеяния; $\psi_{rA}, \psi_{rB}, i_{s\alpha}, i_{s\beta}$ – соответственно составляющие потокосцепления обмотки ротора и токов статора по осям α, β , неподвижным относительно статора; p – число пар полюсов; $\omega, M_{\vartheta M}$ – частота вращения ротора и электромагнитный момент.

Данная математическая модель должна быть дополнена условиями существования тока в какой-либо фазе при проводящем состоянии одного из тиристоров в этой фазе, когда тиристор открыт, если текущее значение электрического угла больше угла управления, или ток протекает за счет энергии в индуктивностях фазы.

При непроводящем состоянии тиристора, например фазы A , когда нарушаются условия проводимости, вместо фазного напряжения u_A необходимо подать напряжение равное $\frac{L_m}{L_s} \frac{d\psi_{rA}}{dt} - u_0$,

при этом u_0 будет определяться выражением

$$\frac{1}{2} \left(\frac{L_m}{L_s} \frac{d\psi_{rA}}{dt} + u_B + u_C \right).$$

$$\begin{aligned} i_{s\beta} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (i_B - i_C); \\ \frac{d\psi_{rA}}{dt} &= \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt}; \\ \frac{d\psi_{rB}}{dt} &= -\frac{1}{2} \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{d\psi_{r\beta}}{dt}; \\ \frac{d\psi_{rC}}{dt} &= -\frac{1}{2} \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} - \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{d\psi_{r\beta}}{dt}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$u_0 = \frac{1}{3} (u_A + U_B + u_C);$$

$$M_{\vartheta M} = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{L_r} (\psi_{r\alpha} i_{s\beta} - \psi_{r\beta} i_{s\alpha}).$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dx_0}{dt} &= v_0; \\
 \frac{dv_0}{dt} &= \frac{M_{\text{эм}} i_p}{R_{np} m_{np}} - (x_0 - x_1 - L_0) \frac{k_y}{m_{np}}; \\
 \frac{dx_1}{dt} &= v_1; \quad \frac{dv_1}{dt} = [k_y(x_0 - x_1 - L_0) - \\
 &- k_y(x_1 - x_2 - L_0) - f_{mp}(v_1) - f_m]/m_1; \\
 \frac{dx_k}{dt} &= v_k; \\
 \frac{dv_k}{dt} &= [k_y(x_{k-1} - x_k - L_0) - \\
 &- k_y(x_k - x_{k+1} - L_0) - f_{mp}(v_k) - f_m]/m_k; \\
 \frac{dx_N}{dt} &= v_N; \\
 \frac{dv_N}{dt} &= [k_y(x_{k-1} - x_k - L_0) - \\
 &- f_{mp}(v_k) - f_m]/m_N; \\
 \frac{d\omega}{dt} &= \frac{dv_0}{dt} \frac{i_p}{R_{np}},
 \end{aligned} \tag{2}$$

При моделировании динамических процессов в рабочем органе конвейера, математическая модель может быть представлена в виде совокупности упруго-связанных звеньев (2), где $x_0, x_k, x_N, v_0, v_k, v_N$ - координата и скорость движения первого,

k -ого и последнего звена соответственно, L_0 - длина элементарного звена, k_y - коэффициент упругости (жесткости) элементарного звена.

В состав каждого звена входят цепь, скребок, груз. На каждое звено массой m_k и длиной L_0

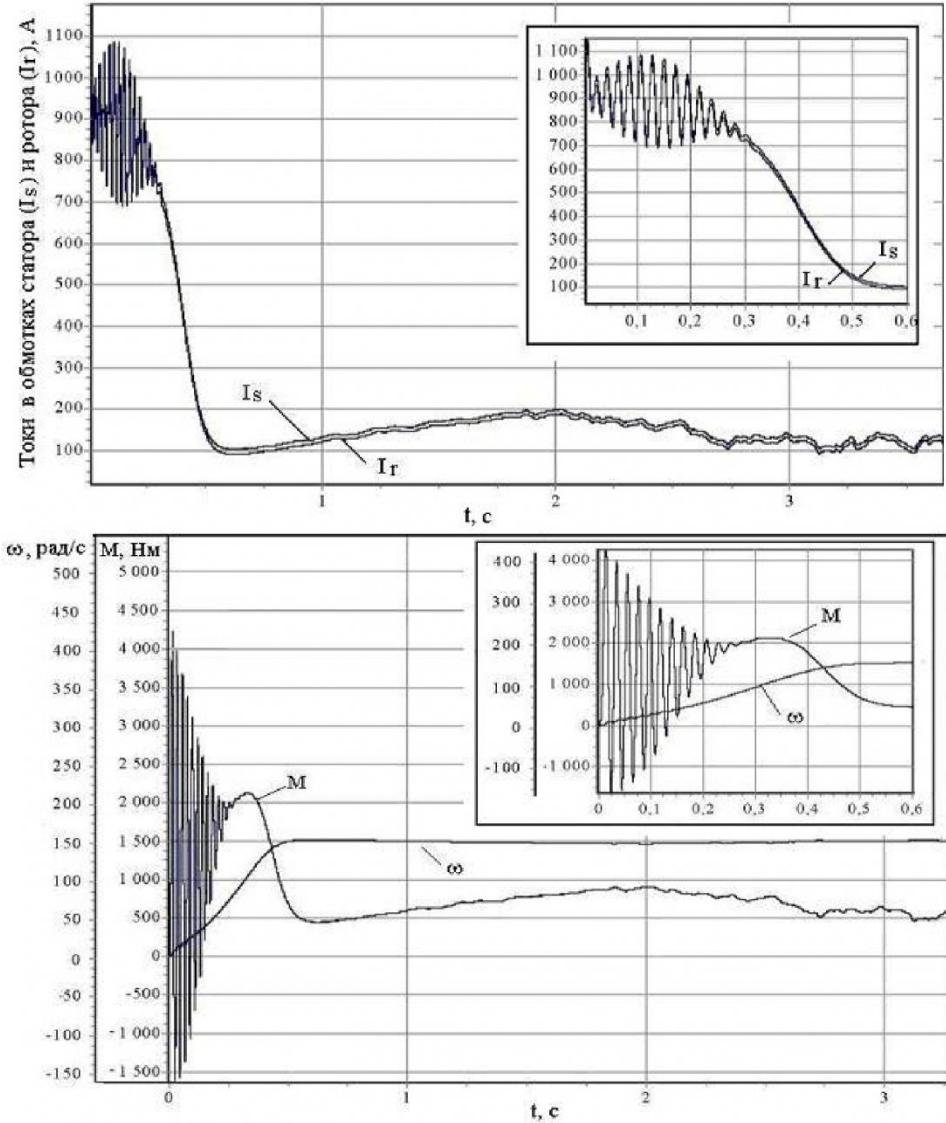


Рис 1. Расчетные диаграммы изменения момента M , частоты вращения ротора ω и тока в обмотках статора I_s и ротора I_r при прямом пуске

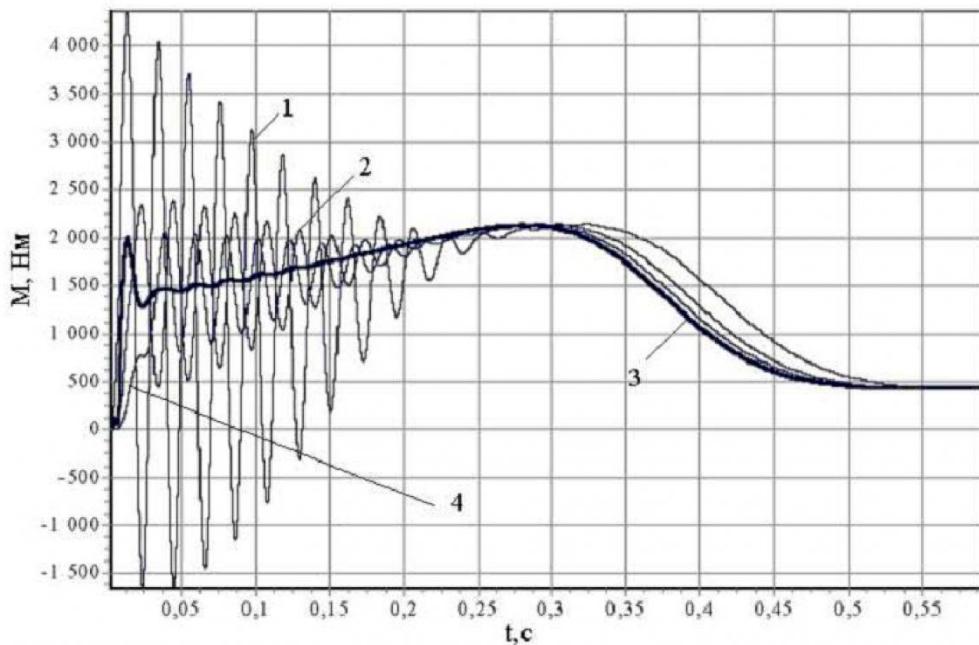


Рис. 2. Переходные моменты при прямом пуске (1), при пофазной подаче напряжения (2), при квазиоптимальном пуске (3), при пуске ограничением скорости нарастания приложенного напряжения

действуют силы со стороны соседних звеньев $k_y(x_{k-1} - x_k - L_0)$ и $k_y(x_k - x_{k+1} - L_0)$, силы внешнего (сухого) трения $f_{mp}(v_k)$, зависящие от скорости движения звена v_k , а также тангенциальная составляющая силы тяготения f_m , величина которой определяется положением конвейера.

Усилие, передаваемое со стороны приводного

электродвигателя $\frac{M_{\text{эм}} i_p}{R_{np} m_{np}}$, задаётся через на-

чальную координату x_0 системы. Здесь $M_{\text{эм}}$ – электромагнитный момент электродвигателя, i_p – передаточное отношение редуктора, m_{np} – приведенная масса вращающихся частей привода, R_{np} – радиус приведения.

На последнее звено x_N системы действует усилие только со стороны предпоследнего звена, так как при наличии в составе конвейера одной приводной станции обратная ветвь тяговой цепи будет провисать. Это отражено в представленных уравнениях.

Правомерность подобного подхода для описания движения рабочего органа скребкового конвейера обоснована в [3]. При корректном задании значений коэффициентов перед переменными в приведённой модели, результаты моделирования достаточно хорошо согласуются с результатами экспериментов.

На рис.1 представлены расчетные графики из-

менения момента, частоты вращения ротора и тока в обмотках статора и ротора при прямом пуске конвейера, полученные при компьютерном моделировании. Использовались следующие параметры: длина конвейера – 100 м, калибр цепи – 18×64, масса одного метра цепи со скребками – 18 кг, масса груза - 10 кг/м, передаточное отношение редуктора i_p – 20, рабочий орган приводится в движение асинхронным электродвигателем ЭДКО4-4МУ5 мощностью 80 кВт.

Как видно из рис. 1, приводной электродвигатель развивает значительные по величине знакопеременные электромагнитные моменты, приводящие к опасным механическим напряжениям в трансмиссии и тяговой цепи конвейера. При этом пусковые токи в обмотках электродвигателя достигают величин, в несколько раз превосходящих номинальные значения, что негативным образом сказывается состоянию лобовых частей статорной обмотки.

На рис. 2 приведены переходные моменты при моделировании пуска АД с резкопеременной нагрузкой различными способами. Наилучшие свойства реализации безударного пуска получены при квазиоптимальном управлении [4]. Экспериментальная проверка с помощью разработанного нам универсального полупроводникового пускового устройства подтвердила полученные при моделировании результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ецин Е.К. Теория предельных режимов работы горных машин, Томск: Изд-во Томского ун-та,

1995. – 232 с.

2. Моделирование асинхронных электроприводов с тиристорным управлением / Л.П. Петров, В.А. Ладензон, Р.Г. Подзолов, А.В. Яковлев. – М.: Энергия, 1977. – 200 с.
3. Бандурин А.Н. Моделирование динамики рабочего органа скребкового конвейера // Вестн. КузГТУ. – 1999. – №2. – С.46-49.
4. Патент РФ № 2235410 МПК Н 02 Р 1/26. Способ пуска асинхронного электродвигателя / Е.К. Ещин, И.А. Соколов, В.Л. Иванов, В.Г. Каширских, Заявл. 04.01.03, № 2003100098. Опубл. 27.08.04. Бюл. №24.

□ Авторы статьи:

Каширских
Вениамин Георгиевич
-канд.техн. наук, зав. каф. электро-
привода и автоматизации

Переверзев
Сергей Сергеевич
- аспирант каф. электропривода и
автоматизации

УДК 621.31-213.34

С.Д. Баранов

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ СМЕСЕЙ В ОТДЕЛЕНИИ СТАТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СО СПЕЦИАЛЬНЫМ ВИДОМ ВЗРЫВОЗАЩИТЫ

Источниками воспламенения взрывоопасных смесей внутри оболочки взрывозащищенного электрооборудования могут быть электрическая дуга, электрическая искра, искры трения и соударения элементов конструкции движущихся частей взрывозащищенного электрооборудования или значительный нагрев отдельных частей внутри оболочки. В предложенных вариантах конструкций взрывозащищенных электродвигателей со специальным видом взрывозащиты [1, 2] внутренний объем отделения статора представлен в виде узких щелевых зазоров. Оставшееся свободное пространство по лобовым частям заполнено дизлектрическим компаундом, а между подшипниковым щитом и торцевой частью гладкого ротора заполнено установкой специальных втулок. При такой конструкции электрической взрывозащищенной машины источником теплового воспламенения взрывоопасной смеси может служить только ротор.

Действующие в настоящее время стандарты на взрывозащищенное электрооборудование регламентируют температуру нагрева отдельных частей конструкции, размещенных

внутри оболочки. Стандарт ГОСТ Р 51330.5-99, соответствующий стандарту МЭК 60079-4-75, классифицирует взрывоопасные смеси на шесть температурных групп по температуре самовоспламенения. Необходимо отметить, что методика определения температуры самовоспламенения рекомендует вводить взрывоопасную смесь в предварительно нагретую колбу, изготовленную из боросиликатного стекла, имеющую объем 200 см³. При таких испытаниях, полученная температура самовоспламенения взрывоопасной смеси не является физикохимической константой, а зависит от аппаратурных условий, т.е. если изменить конфигурацию колбы или изготовить её из другого материала, то результаты могут существенно отличаться один от другого.

В предложенных конструкциях электродвигателей со специальным видом взрывозащиты свободный объем получается в виде узких щелевых зазоров (для двигателей малой и средней мощности величина зазора составит порядка десяти миллиметров), следовательно, процесс теплового воспламенения в таких объемах будет отличаться от того, который имеет место

при стандартной методике, а температура воспламенения будет выше. Из тепловой теории воспламенения [3] было получено соотношение, связывающее температуру воспламенения от нагретой поверхности с параметрами смеси и геометрией сосуда, в котором происходит воспламенение:

$$\frac{QE l^2}{\lambda R T_i^2} Z \exp\left(-\frac{E}{R T_i}\right) = const, \quad (1)$$

где Q – калорийность смеси, Дж/кг·моль; E – энергия активации, Дж/кг·моль; l – характерный размер сосуда, м; λ – теплопроводность смеси, Вт/(м·К); R – газовая постоянная, 8,31441 Дж/(моль·К); T_i – температура воспламенения, К, Z – предэкспонентный множитель.

Данное соотношение показывает, что температура воспламенения при определенных условиях существенно зависит от геометрических размеров сосуда, в котором происходит воспламенение смеси при прочих равных условиях.

Температуру воспламенения для сосуда цилиндрической формы можно найти из решения трансцендентного уравнения: