

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ РАЗГОНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА
С ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ ТУРБОМУФТОЙ**

А. В. МУРИН

(Представлена научным семинаром кафедры прикладной механики)

В ряде случаев необходимо знать время разгона и характер изменения скоростей в этот период для привода с предохранительной турбомуфтой. Это, например, требуется при определении производительности машины, выборе электродвигателя или для оценки теплового режима турбомуфты. Особенно необходимы такие расчеты для приводов машин, работающих с частыми включениями и остановками.

Б. А. Гавриленко и В. А. Минин [1] приводят аналитический расчет пусковых режимов привода с турбомуфтой, имеющей складывающиеся лопатки у турбинного колеса. Они используют для этой цели ее статическую механическую характеристику, линейную на всем диапазоне скольжений. Запуск приводимой машины при наличии такой муфты производится поворотом лопаток, поэтому расчет пусковых процессов авторы делают для случая, когда насосное колесо имеет определенную скорость вращения, и не рассматривают период разгона приводного двигателя. В этой же работе проводится аналитическое исследование переходных режимов привода с турбомуфтой, с учетом ее динамических свойств. Динамические свойства муфты учитываются введением в уравнение движения параметров гидравлического потока в рабочей полости для неустановившегося движения ее колес. Уравнение движения, учитывающее параметры потока при неустановившемся движении, получено для однополостной турбомуфты с тором, имеющей симметричные профили рабочих колес. Анализ решения полученного уравнения для некоторых видов нагрузки, создаваемой приводимой машиной, авторы проводят также для случая, когда насосное колесо имеет определенную скорость, а механическая характеристика турбомуфты является линейной.

Расчет переходных режимов с учетом параметров потока для предохранительной турбомуфты с несимметричными колесами и дополнительным объемом со стороны насосного колеса, по нашему мнению, не может быть выполнен из-за сложности процессов в ее рабочей полости в этот период. С достаточной точностью такой расчет может быть проведен графическим, а в некоторых случаях и аналитическим способами с использованием статической механической характеристики турбомуфты. В работе [2] приводится указание по решению этой задачи графическим способом. На наш взгляд, предпочтение следует отдать аналитическому методу, так как полученные при решении этой

задачи зависимости обеспечат меньшую трудоемкость практических расчетов для подобных случаев.

Применение предохранительных турбомуфт наиболее целесообразно в электроприводах с асинхронным короткозамкнутым двигателем, особенно в случае использования электродвигателей типа А, у которых пусковой момент в большинстве случаев равен или незначительно отличается от номинального. Поэтому ниже приводится расчет времени разгона и определение законов изменения угловых скоростей в этот период привода с асинхронным короткозамкнутым двигателем и предохранительной турбомуфтой, выполненный аналитическим методом. Расчет проведен с учетом времени разгона двигателя.

Исследование процесса разгона приводного двигателя наиболее правильно может быть выполнено при совместном рассмотрении электромагнитных и механических процессов. В настоящее время установлено, что механические характеристики асинхронных двигателей при больших ускорениях значительно отличаются от характеристик, снятых в установившемся режиме. Однако в большинстве случаев электромагнитные процессы в асинхронном электродвигателе протекают значительно быстрее механических. Расчет динамических режимов при этом может быть произведен с использованием статической характеристики электродвигателя. Вопрос об учете электромагнитных переходных процессов при расчете пускового режима электропривода можно решить, например, используя критерий, приведенный в [3]. В этой работе подчеркивается, что при расчете процесса разгона электромагнитный процесс можно не учитывать, если механическая постоянная времени привода больше электромагнитной в 2—3 раза. Проведенные нами расчеты показывают, например, что все асинхронные двигатели типа А удовлетворяют этому условию (даже без учета момента инерции присоединяемых к двигателю вращающихся масс привода). Имея в виду сказанное выше, при расчете процесса разгона двигателя нами была использована его статическая механическая характеристика.

На рис. 1 приведена схема электропривода с турбомуфтой. На этой схеме обозначены:

M_1 и ω_1 — момент и угловая скорость электродвигателя;

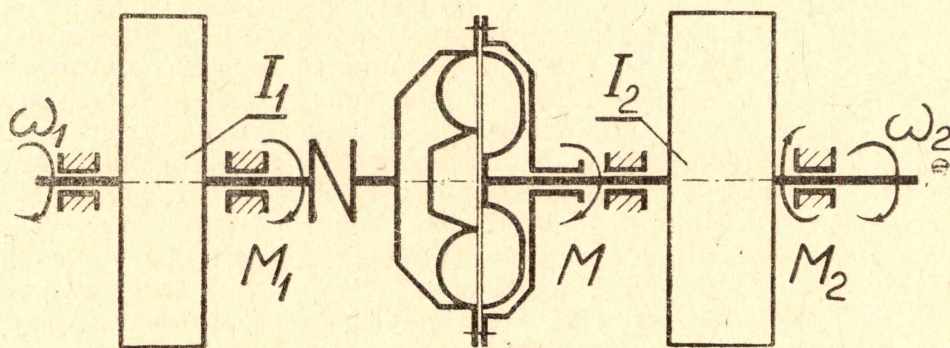


Рис. 1. Схема привода с турбомуфтой.

I_1 — суммарный момент инерции ротора двигателя, соединительных элементов между ним и муфтой и насосного колеса с частью рабочей жидкости;

M_2 — момент, создаваемый силами сопротивления системы;

ω_2 — угловая скорость вала турбинного колеса;

I_2 — приведенный к валу турбинного колеса суммарный момент инерции приводимых в движение звеньев машины и турбинного колеса с частью рабочей жидкости;

M — момент, передаваемый турбомуфтой.

Момент инерции жидкости, заполняющей муфту, в переносном движении (вокруг оси вращения муфты) может быть учтен увеличением на 3—10% момента инерции соответствующего колеса [1].

Разгон системы с турбомуфтой (рис. 1) можно представить в виде следующих процессов:

1. Разгон двигателя и соединенного с ним насосного колеса до угловой скорости ω_{1D} при неподвижном турбинном колесе. При скорости ω_{1D} момент M , создаваемый турбомуфтой, становится равным моменту сил сопротивления приводимой системы M_2 (рис. 2, а).

2. Продолжение разгона двигателя до скорости ω_{1p} , соответствующей рабочему участку характеристики, и начало разгона приводимой системы от $\omega_2 = 0$ до $\omega_2 = \omega_{2-2}$.

3. Завершение разгона двигателя до номинальной скорости $\omega_{1н}$ и приводимой системы до $\omega_{2н}$. Во время этого периода скорость электродвигателя меняется незначительно, примерно на 5—10% (так как его разгон совершается на рабочем участке характеристики). Для приводимой системы этот период соответствует значительному изменению скорости и является основным, особенно при больших значениях I_2 (рис. 2, б).

Процесс разгона системы с турбомуфтой можно описать двумя уравнениями движения (в форме уравнений Лагранжа). При вращательном движении в случае постоянного момента инерции уравнение движения для ведущей части привода будет иметь вид

$$M_1 - M = I_1 \frac{d\omega_1}{dt} \quad (1)$$

и для ведомой

$$M - M_2 = I_2 \frac{d\omega_2}{dt} \quad (2)$$

Определение времени разгона электродвигателя

Время разгона двигателя можно определить, решив уравнение (1), если известны аналитические выражения для его момента $M_1 = f(\omega_1)$ и для момента, передаваемого турбомуфтой $M = \varphi(\omega_1)$. При расчете переходных процессов в электроприводах с асинхронным короткозамкнутым двигателем пусковую и рабочую части его характеристики (кривые 1 и 2, рис. 2, а) рекомендуется [4] аппроксимировать парабололами (кривые 3 и 4). Таким образом, момент двигателя на пусковом участке его характеристики до критической скорости $\omega_{1к}$ можно представить в виде

$$M_1 = a + h\omega_1^2, \quad (3)$$

а на рабочем от $\omega_{1к}$ до $\omega_{1с}$

$$M_1 = a_1 + h_1\omega_1^2. \quad (4)$$

Здесь a , a_1 , h , h_1 — постоянные величины.

Если нерабочий участок характеристики имеет вид, представленный кривыми 5 и 6 на рис. 2, а, то и в этом случае можно, на наш взгляд, производить подобную аппроксимацию и выражать момент двигателя зависимостями вида (3). При характеристике двигателя, у которой минимальный момент $M_{\text{мин}}$ меньше начального момента $M_{\text{нач}}$ (кривая 6), нерабочий участок характеристики следует заменять двумя парабололами вида (3). Поэтому зависимости, полученные ниже, применительно к варианту нерабочего участка, изображенному кривой 1, будут справедливы и для двигателей с характеристиками 5 и 6.

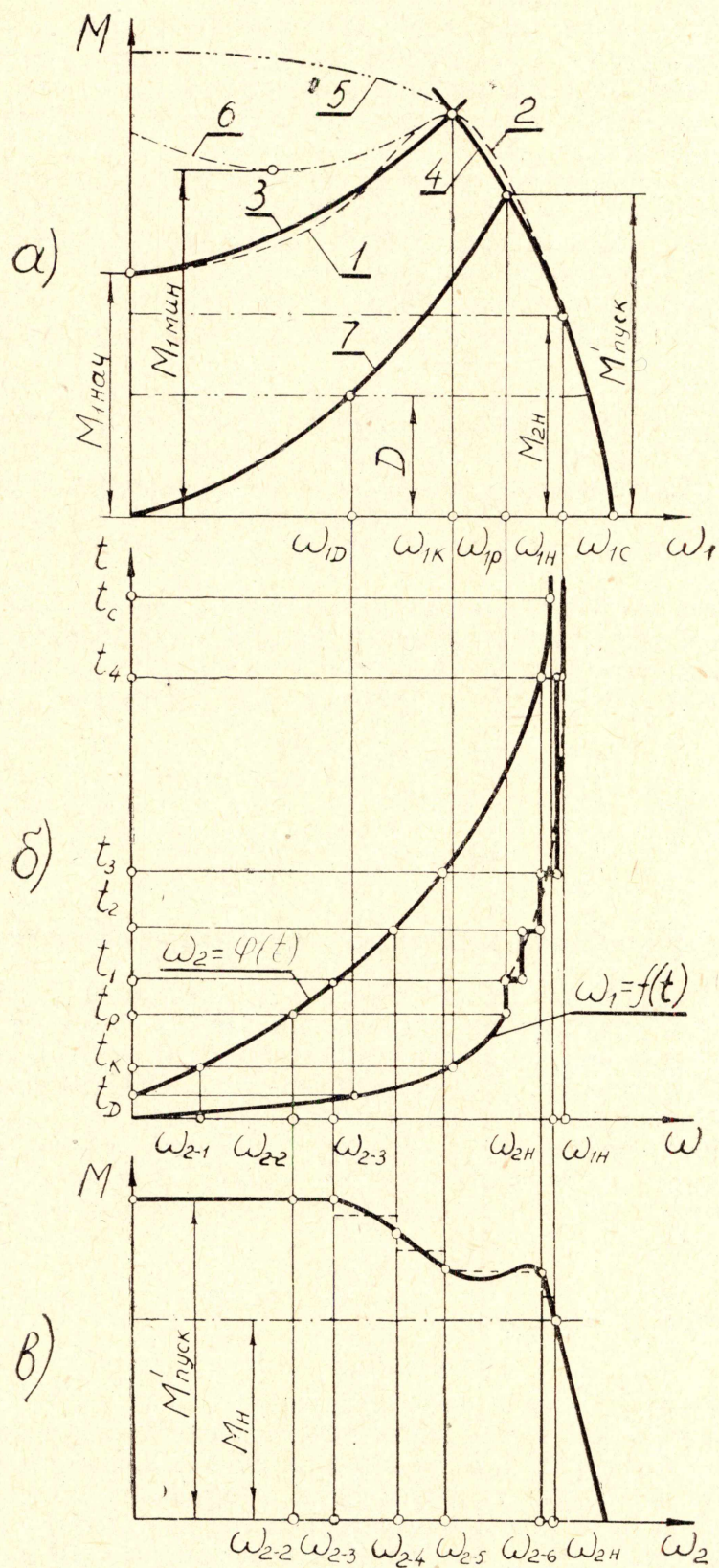


Рис. 2. Механическая характеристика асинхронного электродвигателя (а); характер изменения скоростей ведущего и ведомого валов турбомуфты в процессе разгона (б) и ее обобщенная механическая характеристика (в).

Момент, передаваемый турбомуфтой при разгоне двигателя, можно с достаточной точностью выразить как

$$M = b\omega_1^2. \quad (5)$$

В этом выражении b — постоянная величина.

Подставим выражения для M_1 и M в уравнение (1). Получим для пусковой части характеристики двигателя (от $\omega_1 = 0$ до $\omega = \omega_{1к}$)

$$a + h\omega_1^2 - b\omega_1^2 = I_1 \frac{d\omega_1}{dt}.$$

После разделения переменных

$$dt = \frac{I_1}{b-h} \cdot \frac{d\omega_1}{\frac{a}{b-h} - \omega_1^2}.$$

Обозначив $\frac{a}{b-h} = \kappa^2$ и интегрируя на этом участке, имеем с учетом начальных условий при $|\omega_1| < \kappa^1$)

$$t_k = \frac{I_1}{2\kappa(b-h)} \cdot \ln \frac{\kappa + \omega_{1к}}{\kappa - \omega_{1к}}. \quad (6)$$

Здесь t_k — время разгона двигателя до критической скорости $\omega_{1к}$. Угловая скорость двигателя на этом участке меняется по зависимости

$$\omega_1 = \frac{\kappa(e^{\theta t} - 1)}{e^{\theta t} + 1}, \quad (7)$$

где $\theta = \frac{2\kappa(b-h)}{I_1}$ — постоянная величина.

Найдем время разгона двигателя на участке от $\omega_1 = \omega_{1к}$ до $\omega_1 = \omega_{1р}$ (рис. 2, а). Для этого в уравнение (1) необходимо подставить значение M_1 из выражения (4), аналогичного по виду выражению (3). Вид полученного в результате этой подстановки уравнения и его решение будут такими же, как в предыдущем случае. Таким образом, время разгона двигателя на этом участке равно при $|\omega_1| > \kappa_1$

$$t_{1р} - t_k = \frac{I_1}{2\kappa_1(b-h_1)} \left[\ln \frac{\omega_{1р} + \kappa_1}{\omega_{1р} - \kappa_1} - \ln \frac{\omega_{1к} + \kappa_1}{\omega_{1к} - \kappa_1} \right]. \quad (8)$$

В этом выражении

$t_{1р}$ — общее время разгона двигателя до скорости $\omega_{1р}$,

$\kappa_1 = \sqrt{\frac{a_1}{b-h_1}}$ — постоянная величина.

Если окажется, что $|\omega_1| < \kappa_1$, то в выражении (8) необходимо поменять местами ω_1 и κ_1 . Скорость двигателя на этом участке изменится по закону

$$\omega_1 = \frac{\kappa_1 [ce^{\theta_1(t-t_k)} + 1]}{ce^{\theta_1(t-t_k)} - 1}, \quad (9)$$

где θ_1 и c — постоянные величины, равные

$$\theta_1 = \frac{2\kappa_1(b-h_1)}{I_1} \quad \text{и} \quad c = \frac{\omega_{1к} + \kappa_1}{\omega_{1к} - \kappa_1}.$$

¹) Расчеты показывают, что на этом участке $|\omega_1| < \kappa$. При $|\omega_1| > \kappa$ в выражении (6) необходимо поменять местами $\omega_{1к}$ и κ .

Таким образом, время разгона двигателя с момента пуска до выхода на рабочий участок характеристики равно сумме правых частей выражений (6) и (8).

В связи с небольшими изменениями скорости двигателя при разгоне на рабочем участке его характеристики (от $\omega_1 = \omega_{1p}$ до $\omega_1 = \omega_{1н}$) этот период можно не рассматривать. При необходимости исследовать процесс разгона двигателя от ω_{1p} до $\omega_{1н}$ следует иметь в виду, что в этот период момент двигателя равен примерно моменту, передаваемому муфтой. Это объясняется тем, что правая часть уравнения (1) мала на этом участке (либо даже равна нулю) вследствие незначительного изменения скорости двигателя ω_1 и длительности этого периода. Таким образом, продолжительность разгона двигателя на рабочем участке его характеристики определяется в основном параметрами приводимой системы (I_2, M_2) и механической характеристикой муфты.

Свойства предохранительных турбомуфт, в том числе и пусковые, обычно оцениваются по их механическим характеристикам, полученным при затормаживании турбинного колеса [1, 2, 5, 6, 7, 8 и др.]. Однако, как показали наши исследования [9], характеристики предохранительной турбомуфты с несимметричными колесами и дополнительным объемом со стороны насосного колеса, полученные при затормаживании и растормаживании (начиная с $\omega_2 = 0$), имеют существенное различие. В связи с этим для расчетов пусковых процессов приводов с такой муфтой следует использовать характеристики, полученные при растормаживании ее турбинного колеса. На рис. 2, в показана типичная характеристика этой муфты при растормаживании ее ведомого вала. Очевидно, линеаризуя действительную кривую, разбив ее на части, всегда можно характеристику муфты привести к виду, изображенному на рис. 2, в (пунктирная линия). Так как время разгона двигателя на этом участке определяется продолжительностью разгона приводимой системы, то, определив время ее разгона на каждом участке характеристики муфты, а по моменту муфты определив и скорость двигателя, мы тем самым узнаем характер разгона двигателя на рабочей ветви его характеристики.

Величины постоянных, входящих в уравнения (3) и (4), могут быть определены подстановкой в них известных значений M_1 и ω_1 для особых точек характеристики двигателя [4]. Постоянная в уравнении (5) может быть определена по величине пускового момента $M_{\text{пуск}}^1$ (рис. 2, в), передаваемого муфтой при скольжении в 100%, и скорости двигателя привода при таком моменте. Определение постоянной по величине $M_{\text{пуск}}^1$ оправдывается тем, что момент, передаваемый муфтой, в области больших скольжений практически не меняется [9].

Определение скорости разгона системы в конце разгона электродвигателя

1. Нагрузка чисто инерционная

В этом случае начало разгона системы совпадает с началом разгона двигателя. В уравнение (2) подставляем значение M_1 из (5). Уравнение движения для этого случая будет иметь вид

$$b\omega_1^2 = I_2 \frac{d\omega_2}{dt}.$$

Заменяем здесь ω_1 выражениями (7, 9) и производим интегрирование. Имеем с учетом начальных условий скорость системы в конце участка от $\omega_1 = 0$ до $\omega_1 = \omega_{1к}$ (рис. 2, а)

$$\omega_{2-1} = \frac{b\kappa}{I_2} \left[t_k - \frac{2(e^{\theta t_k} - 1)}{\theta(e^{\theta t_k} + 1)} \right]. \quad (10)$$

Аналогично проводится интегрирование и на участке от $\omega_1 = \omega_{1k}$ до $\omega_1 = \omega_{1p}$. Скорость турбинного колеса муфты в конце разгона двигателя, когда он развивает скорость ω_{1p} , равна

$$\omega_{2-2} = \omega_{2-1} + \frac{b\kappa_1}{I_2} \left\{ (t_p - t_k) - \frac{4c[e^{\theta_1(t_p - t_k)} - 1]}{\theta_1(c+1)[ce^{\theta_1(t_p - t_k)} + 1]} \right\}. \quad (11)$$

Если в выражении (10) вместо t_k , а в выражении (11) вместо t_p поставить t , то эти зависимости будут представлять изменение скорости ω_2 на этих участках.

2. Нагрузка инерционная при наличии постоянной составляющей

Уравнение движения для этого случая будет иметь вид

$$b\omega_1^2 - D = I_2 \frac{d\omega_2}{dt},$$

где D — статическая составляющая нагрузки привода.

При наличии постоянной составляющей в нагрузке разгон системы будет начинаться, очевидно, при $M = M_2 = D$, но $M = b\omega_{1D}^2$. Тогда скорость двигателя в начале разгона системы $\omega_{1D} = \sqrt{\frac{D}{b}}$. Зная ω_{1D} и используя выражение (6) при $\omega_{1D} < \omega_{1k}$ или (6) и (8) при $\omega_{1D} > \omega_{1k}$, находим время запаздывания начала движения системы (по сравнению с началом разгона двигателя) t_D . Тогда закон изменения скорости двигателя с момента начала разгона системы при $\omega_{1D} < \omega_{1k}$ на участке от $\omega_1 = \omega_{1D}$ до $\omega_1 = \omega_{1k}$

$$\omega_1 = \frac{\kappa [e^{\theta(t_D + t)} - 1]}{e^{\theta(t_D + t)} + 1},$$

а на участке от $\omega_1 = \omega_{1k}$ до $\omega_1 = \omega_{1p}$

$$\omega_1 = \frac{\kappa_1 [ce^{\theta_1(t - t'_k)} + 1]}{ce^{\theta_1(t - t'_k)} - 1},$$

где $t'_k = t_k - t_D$ (рис. 2, б).

Последнее выражение будет справедливо и для случая, когда $\omega_{1D} > \omega_{1k}$.

Заменив в уравнении движения угловую скорость ω_1 полученными зависимостями и решив дифференциальные уравнения, найдем скорость системы при разгоне двигателя в конце участка от $\omega_1 = \omega_{1D}$ до $\omega_1 = \omega_{1k}$

$$\begin{aligned} \omega_{2-1} - \omega_{2-0} = \frac{b\kappa}{I_2} \left[(t'_k - t_0) + \frac{4}{\theta} \left(\frac{1}{e^{\theta(t_D + t'_k)} + 1} - \frac{1}{e^{\theta(t_D + t_0)} + 1} \right) \right] - \\ - \frac{D}{I_2} (t'_k - t_0), \end{aligned}$$

но

$$t'_k = t_k - t_D, \quad \omega_{2-0} = 0, \quad t_0 = 0.$$

Тогда при скорости двигателя $\omega_1 = \omega_{1k}$ скорость системы (для $\omega_{1D} < \omega_{1k}$)

$$\omega_{2-1} = \frac{b\kappa}{I_2} \left[(t_k - t_D) + \frac{4}{\theta} \left(\frac{1}{e^{\theta t_k} + 1} - \frac{1}{e^{\theta t_D} + 1} \right) \right] - \frac{D}{I_2} (t_k - t_D), \quad (12)$$

а при скорости двигателя $\omega_1 = \omega_{1p}$ (для $\omega_{1D} < \omega_{1k}$)

$$\omega_{2-2} = \omega_{2-1} + \frac{b\kappa_1}{I_2} \left\{ (t_p - t_k) + \frac{4}{\theta_1} \left[\frac{1}{ce^{\theta_1(t_p - t_k)} - 1} - \frac{1}{c - 1} \right] \right\} - \frac{D}{I_2} (t_p - t_k). \quad (13)$$

Если окажется, что $\omega_{1D} > \omega_{1K}$, то скорость системы при достижении двигателем скорости ω_{1p} будет

$$\omega_{2-1} = \frac{b\kappa_1}{I_2} \left\{ (t_p - t_D) + \frac{4}{\theta_1} \left[\frac{1}{ce^{\theta_1(t_p - t_D)} - 1} - \frac{1}{c - 1} \right] \right\} - \frac{D}{I_2} (t_p - t_D), \quad (14)$$

но в этом случае, очевидно, ω_{2-1} мала и ею можно пренебречь. Законы изменения скорости системы при разгоне на рассматриваемых участках можно получить из выражений (12–14), если вместо t_k в (12) и t_p в (13, 14) поставить t .

В случае нагрузки, зависящей различным образом от скорости, задачу можно свести к рассмотренному выше случаю, заменив действительную нагрузочную кривую ступенчатой с усредненными значениями момента на каждой ступени.

Определение времени разгона привода после разгона двигателя

Время, затраченное на разгон системы, после того как двигатель достиг скорости, соответствующей рабочему участку его характеристики, определяется с помощью уравнения (2). Имея в виду принятый способ упрощения механической характеристики муфты, находим время разгона системы на каждом участке для некоторых видов нагрузки. Начало первого участка на характеристике муфты определяется скоростью ω_{2-2} , которую приобретает система к концу разгона двигателя.

1. Нагрузка инерционная при наличии постоянной составляющей

Уравнение движения для этого случая будет иметь вид

$$M - D = I_2 \frac{d\omega_2}{dt},$$

здесь D — постоянная составляющая нагрузки. Интегрируя это уравнение на участке характеристики муфты от $\omega_2 = \omega_{2-2}$ до $\omega_2 = \omega_{2-3}$ (рис. 2, в), имеем

$$t_1 - t_p = \frac{I_2}{M - D} (\omega_{2-3} - \omega_{2-2}),$$

где

$M = M'_{\text{пуск}}$ — момент, передаваемый турбомуфтой на рассматриваемом участке;

t_1 — время разгона системы до скорости ω_{2-3} с начала разгона двигателя.

Изменение скорости на данном участке описывается выражением

$$\omega_2 = \omega_{2-2} + \frac{M - D}{I_2} (t - t_p).$$

Аналогичные выражения для определения времени и характера изменения скорости системы при разгоне можно записать и для остальных

участков характеристики муфты. Общее время разгона системы, очевидно, будет равно

$$t_c = t_p + \Sigma (t_i - t_{i-1}), \quad (15)$$

здесь $t_i - t_{i-1}$ — время разгона системы на каждом из рассматриваемых участков характеристики муфты.

2. Нагрузка, зависящая от скорости, при наличии постоянной слагаемой

Для этого случая уравнение движения имеет вид

$$M - D - A\omega_2 = I_2 \frac{d\omega_2}{dt}.$$

Это уравнение легко привести к виду

$$\frac{d\omega_2}{dt} + z\omega_2 = p,$$

где $z = \frac{A}{I_2}$; $p = \frac{M - D}{I_2}$.

Интегрирование на участке до $\omega_2 = \omega_{2-3}$ дает при $\frac{p}{z} > |\omega_2|$

$$t - t_p = \frac{1}{z} \ln \frac{p/z - \omega_{2-2}}{p/z - \omega_{2-3}}.$$

Для этого участка значение p определяется при $M = M'_{\text{пуск}}$. Изменение скорости системы при разгоне на рассматриваемом участке подчиняется закону

$$\omega_2 = \frac{p}{z} - \frac{p/z - \omega_{2-2}}{e^{z(t-t_p)}}.$$

Полученные выражения для t и ω_2 могут быть использованы для определения времени и характера разгона системы на всех остальных участках характеристики муфты, если в них подставлять соответствующие значения M_i , t_i , ω_{2-i} . Общее время разгона системы определяется по выражению (15).

3. Нагрузка, зависящая от квадрата угловой скорости, при наличии постоянной слагаемой

Для такого случая нагрузки уравнение движения будет иметь вид

$$M - D - A\omega_2^2 = I_2 \frac{d\omega_2}{dt}.$$

Это уравнение можно привести к виду

$$\frac{d\omega_2}{dt} + z\omega_2^2 = p,$$

где $z = \frac{A}{I_2}$, $p = \frac{M - D}{I_2}$.

Решение этого уравнения на участке до $\omega_2 = \omega_{2-2}$ имеет следующий вид при $\frac{p}{z} > |\omega_2|$

$$t_1 - t_p = \frac{1}{2\sqrt{pz}} \left[\ln \frac{p/z + \omega_{2-3}}{p/z - \omega_{2-3}} - \ln \frac{p/z + \omega_{2-2}}{p/z - \omega_{2-2}} \right].$$

В этом уравнении p определяется при $M = M'_{\text{пуск}}$.

Скорость системы при разгоне на этом участке изменяется по зависимости

$$\omega_2 = \frac{p [me^2 \sqrt{pz(t-t_p)} - 1]}{z [me^2 \sqrt{pz(t-t_p)} + 1]},$$

здесь $m = \frac{p/z + \omega_{2-2}}{p/z - \omega_{2-2}}$.

Время разгона и характер изменения скорости на других участках характеристики муфты можно определить с помощью полученных для первого участка выражений, если в них подставить соответствующие значения M_i , t_i , ω_{2-i} . Общее время разгона системы определяется по выражению (15).

Выводы

1. Предлагаемый метод позволяет рассчитать переходный процесс электропривода с предохранительной турбомуфтой с учетом времени и характера разгона двигателя.

2. Метод может быть использован при расчете пусковых режимов электрогидроприводов со всеми наиболее часто применяемыми типами асинхронных короткозамкнутых двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. А. Гавриленко, В. А. Минин. Гидродинамические муфты. Оборонгиз, 1959.
2. Sturm K. — D. Anlauf — und Sicherheitskupplungen in Antrieben von Förderbändern und anderen Stetigförderern. Bergbautechnik, 1956, Nr. 4.
3. Е. Я. Казовский. Некоторые вопросы переходных процессов в машинах переменного тока. Госэнергоиздат, 1953.
4. А. Т. Голован. Основы электропривода. Госэнергоиздат, 1959.
5. Выбор типа привода для угольных машин, работающих в различных условиях. Краткий научный отчет. Углетехиздат, 1957. (Всесоюзный научно-исследовательский угольный институт).
6. Гидропередачи забойных машин и конвейеров. Краткий научный отчет. Углетехиздат, 1958. (Всесоюзный научно-исследовательский угольный институт).
7. В. М. Бермн и др. К вопросу применения предохранительных турбомуфт. Уголь, № 9, 1958.
8. Д. М. Беленький и др. Стендовые испытания тяговой гидромуфты „Фойт“. Научные труды Карагандинского научно-исслед. института. Вып. 4. Госгортехиздат, 1959.
9. А. В. Мурип. О влиянии положения оси вращения гидромуфты на ее характеристики. Известия ТПИ, том 96, ч. 2, 1961.