Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XX, вып. 1, 1976 г.

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ НЕРЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГОРНЫХ КОМБАЙНОВ

Я.П.ГРИНБЕРГ, В.С.СОЛОВЬЕВ, А.С.СОЛОВЬЕВ

Единого мнения об оптимальных динамических параметрах электродвигателей, применяемых для привода угольных и проходческих комбайнов, не существует. Известно [2], что графики режимов работы этих машин отличаются крайней неравномерностью и подчиняются только вероятностным законам. Спектральный состав графика нагрузки лежит в диапазоне частот от 0 до 250-300 $с^{-1}$ и имеет ряд подъемов на частоте кинематических возмущений (низкочастотная часть) и на частотах, равных собственным частотам свободных колебаний двигателя и трансмиссии. Причем резонансные явления на частоте, близкой к собственной, составляют до 50% общей дисперсии нагрузки. Поэтому если исключить резонансные явления в двигателе, то дисперсию нагрузки его можно снизить в два раза, а соответственно коэффициент вариации нагрузки в 1,41 раза. Коэффициент вариации графика нагрузки

$$\vartheta = \sqrt{k_ф^2 - 1}\ , \qquad (1)$$

где $k_ф$ – коэффициент формы графика нагрузки.

Можно рассматривать $k_ф$ по мощности, моменту и току:

$$k_{ф_P} = \frac{P_э}{P_{ср}};\quad k_{ф_M} = \frac{M_э}{M_{ср}};\quad k_{ф_I} = \frac{I_э}{I_{ср}},$$

где $P_э, M_э, I_э$ и $P_{ср}, M_{ср}, I_{ср}$ – эффективные и средние значения мощности, момента и тока двигателя.

Коэффициент формы графика момента или мощности двигателя может достигать 1,15–1,18. При снижении коэффициента вариации ϑ в 1,41 раза значение $k_ф$ уменьшается до 1,08–1,09, что приводит к снижению нагрева двигателя на 12–15%. С другой стороны, учитывая, что распределение графиков нагрузки приводов комбайнов подчиняется нормальному закону [3], можно записать

$$\frac{P_{max}}{P_{ср}} = 1 + \beta\vartheta_P\ ; \qquad (2)$$

$$\frac{M_{max}}{M_{cp}} = 1 + \beta \vartheta_M ; \qquad (3)$$

$$\frac{I_{max}}{I_{cp}} = 1 + \beta \vartheta_I . \qquad (4)$$

Из выражений (2)–(4) видно, что при снижении значения коэффициента вариации уменьшается также кратность перегрузки двигателя. Таким образом, исключение резонансных явлений в двигателе может привести, с одной стороны, к уменьшению его нагрева и, с другой стороны, к увеличению реальной перегрузочной способности при неизменной средней нагрузке.

В лаборатории кафедры электрических машин и автоматизированного привода ЛПИ проведены исследования по определению оптимальных динамических параметров асинхронных короткозамкнутых электродвигателей горных комбайнов при случайной нагрузке.

Учитывая известные ограничения, передаточная функция асинхронного короткозамкнутого двигателя по моменту при работе на линейной части механической характеристики

$$W(p) = \frac{M(p)}{M_{cp}(p)} = \frac{1}{T_M T_a p^2 + T_M p + 1} . \qquad (5)$$

Нормализованный характеристический полином

$$T^2 p^2 + 2\varepsilon T p + 1 = 0 . \qquad (6)$$

В формулах (5) и (6) T_M и T_a – соответственно электромеханическая и электромагнитная постоянные времени; ε – коэффициент демпфирования,

$$T_M = \frac{J \omega s_K}{2 p M_K} ; \quad T_a = \frac{1}{\omega s_K} ; \quad \varepsilon = \frac{T_M}{2\sqrt{T_M T_a}} .$$

Подставив значения T_M и T_a в формулу коэффициента демпфирования и решая ее относительно скольжения, получим значение критического скольжения

$$s_K = \frac{2\varepsilon \Omega_0}{\omega} , \qquad (7)$$

где ω – частота сети, $с^{-1}$; Ω_0 – частота свободных колебаний двигателя, $с^{-1}$,

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{2 p M_K}{J}} .$$

Из формулы (7) видно, что скольжение двигателя зависит от принятого коэффициента демпфирования и частоты свободных колебаний. Если заданы габариты двигателя, то характер переходного процесса при резких измене-

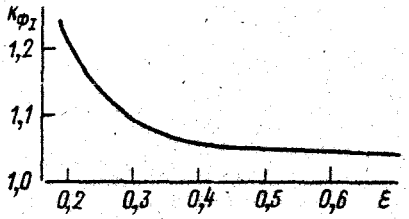


Рис.1. Влияние коэффициента демпфирования на коэффициент формы графика тока

ниях нагрузки определяется только коэффициентом демпфирования в характеристическом полиноме передаточной функции.

Лабораторные исследования на электродинамической модели [4] привода угольного комбайна с двигателем ЭДКО4-2м позволили построить зависимость (рис.I), из которой видно: при увеличении коэффициента демпфирования до 0,5 значение коэффициента формы снижается с I,24 до I,06, т.е. практически можно исключить из графика нагрузки двигателя высокочастотную составляющую, характерную для области частот собственных колебаний двигателя. Дальнейшее увеличение ε практически не приводит к снижению $k_ф$ из-за наличия низкочастотной составляющей нагрузки. Эта нагрузка приводом не может быть сглажена.

Аналогичный эффект получен и при экспериментальных исследованиях в производственных условиях на комбайне ШБМ-2 (комбинат „Белорускалий"). На одном и том же комбайне испытывались двигатели МАЗ6-52/6 ($s_к$ = 7%), ВАОI02-6ШБМ ($s_к$ = II%) и ВАОI02-6ПК ($s_к$ = I8%). Из графиков на рис.2 видно, что применение двигателей со скольжением, увеличенным по сравнению с серийным, существенно снижает помимо коэффициента формы и средний ток двигателя $I^*_{ср}$ в области скоростей подачи $v_п > I0$ см/мин. Учитывая, что реально коэффициент использования комбайна во времени составляет в среднем 0,4-0,5 и режим работы двигателя комбайна приближается к S6 , практической областью работы комбайна является область с $v_п > I0$ см/мин. Это зафиксировано и при хронометражных наблюдениях. При таких скоростях подачи существенно сказывается повышенное демпфирование двигателей с увеличенным скольжением.

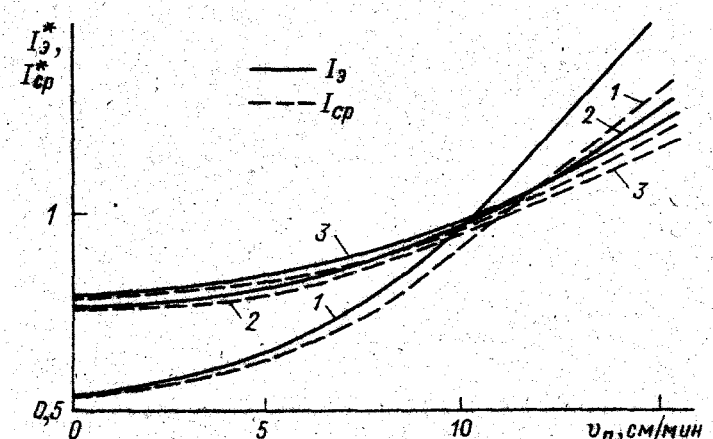


Рис.2. Изменение в зависимости от скорости подачи комбайна относительных значений эффективного и среднего токов ($I^*_э$ и $I^*_{ср}$) различных двигателей
1 - МАЗ6-52/6; 2 - ВАОI02-6ШБМ; 3 - ВАОI02-6ПК

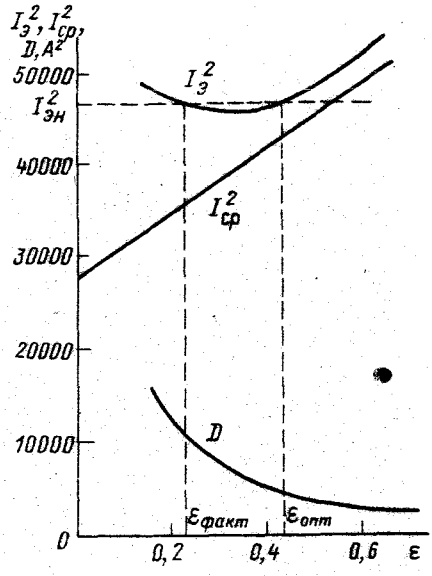


Рис.3. Влияние коэффициента демпфирования на тепловыделения двигателя.

Зависимость $k_Ф = f(\varepsilon)$, построенная при испытаниях трех двигателей, не отличается от построенной на рис.I. Эффект сглаживания получился таким же, как и при исследованиях на электродинамической модели. Однако усиления демпфирования двигателя с фиксированными габаритами приводит к увеличению потерь в двигателе из-за роста среднего тока. Поэтому значение коэффициента демпфирования необходимо выбирать таким образом, чтобы суммарные потери не превосходили допустимых для данного класса изоляции. Эффективное значение тока можно выразить через дисперсию D :

$$I_э^2 = I_{ср}^2 + D. \qquad (8)$$

По графикам $I_{ср} = f(v_п)$ и $D = I_{ср}^2 (k_{ФI} - 1)$ были построены зависимости $I_{ср}^2 = f(\varepsilon)$ и $D = f(\varepsilon)$. Сумма их ординат дала зависимость $I_э^2 = f(\varepsilon)$, из которой оптимальный коэффициент демпфирования при номинальных потерях в двигателе близок к 0,4 (рис.3). Существующий серийный двигатель имеет $s_к = 0,07$, вследствие чего коэффициент демпфирования $\varepsilon_{ФАКТ}$ составляет 0,22. Как видно из рис.3, в этом случае эффективный ток двигателя близок к номинальному, как и в случае двигателя с $\varepsilon \approx 0,4$. Но в нагрузке серийного двигателя доля переменных составляющих значительно больше.

Таким образом, двигатели угольных и проходческих комбайнов должны выполняться с коэффициентом демпфирования $\varepsilon \approx 0,4$. При этом $s_к$ двигателей угольных комбайнов и комбайнов ШБМ-2 должно составлять соответственно 0,I8-0,20 ($\Omega_0 = 70 \div 80\ с^{-I}$ [I]) и 0,I4-0,I7 ($\Omega_0 = 50\ с^{-I}$).

Проведенный анализ показал, что двигатель ВАОI02-6ПК ($s_к = 0,I8$) оказался лучшим по динамическим параметрам, поскольку дальнейшее увеличение скольжения, не приводя к существенному снижению $k_Ф$, затрудняет реализацию паспортной мощности в существующих габаритах.

При испытаниях двигателей ВАОI02-6ШБМ на двух комбайнах ШБМ-2 в течение I5 месяцев установлено, что даже при динамических параметрах, которые несколько ниже оптимальных, производительность комбайнов увеличилась на I0%, наработка на отказ возросла с 3-х до I5 месяцев.

По данным комбината „Белорускалий", замена существующих электродвигателей на двигатели с улучшенными динамическими параметрами дает экономический эффект, оцениваемый в 700 тыс.руб. в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Золотарев В.И., Силаев В.И. Влияние возмущающих оздействий на характеристики электродвигателей комбайнов. – „Горные машины и автоматика", 1969, № 9.

2. Корреляционный анализ нагрузок выемочных машин. М., „Наука", 1969. Авт.: А.В.Докукин, Ю.Д.Красников, З.Я.Хургин, Е.М.Шмарьян.

3. Позин Е.З. Сопротивляемость углей разрушению режущими инструментами. М., „Наука", 1972.

4. Рудаков В.В., Гринберг Я.П., Соловьев В.С. Стенд для моделирования реальных нагрузок при испытании угольных комбайнов. – Изв. вузов, „Горн. журн.", 1973, № 9.