

УДК 621.313.333:622.232.72

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ

Федоров М.М., Шумяцкий В.М., Марков М.А.

Проведен анализ динамики тепловых процессов электродвигателей очистных комбайнов путем моделирования с использованием тепловой схемы замещения.

Системы электроприводов очистных комбайнов в подавляющем большинстве выполняются на базе взрывобезопасных специальных асинхронных электродвигателей (АД) с короткозамкнутым ротором или с двойной беличьей клеткой типа ЭДК, ЭДКО, ЭКВ и др. [1]. Специфические условия эксплуатации предъявляют к ним ряд жестких требований и ограничений, среди которых важную роль имеют предельно допустимые температуры активных частей машины. Наиболее уязвимыми к тепловым нагрузкам являются изоляционные материалы обмотки статора или ее частей (для АД – лобовая часть).

Динамика теплового состояния при неизменных условиях охлаждения определяется режимом работы. Наиболее характерными для комбайновых двигателей являются перемежающийся режим (S6 согласно ГОСТ 183-79) и повторно-кратковременный с частыми пусками (S4). Длительность циклов $t_{ц}$ обычно колеблется в пределах 1...4 мин, а продолжительность включения (ПВ) 0,25...0,6 [1]. Величины, характеризующие режим работы зависят не только от объективных, но и от субъективных факторов, определяемых различными ситуациями технологического процесса. Момент сопротивления M_c в течение рабочего интервала t_p цикла имеет стохастический характер. Главным в формировании нагрузки является процесс разрушения угля. С учетом вышеизложенного, в настоящее время для определения $M_c(t)$ используют выражение из четырех составляющих, периодически изменяющихся с различными частотами [1]

$$M_c(t) = M_{cp} + M_{C1}(t) + M_{C2}(t) + K_{\tau}(t),$$

где M_{cp} – среднее значение нагрузки в приводе определяющее производительность очистного комбайна в заданных условиях работы; $M_{C1}(t) = A_1 \cdot \sin \omega_1 t$ – составляющая, учитывающая сопротивляемость угля резанию по длине лавы, изменяющаяся с частотой $10^{-2} \dots 10^{-3}$ Гц; $M_{C2}(t) = A_2 \cdot \sin \omega_2 t$ – составляющая, учитывающая особенности конструкции исполнительного органа, изменяющаяся с частотой 1...3 Гц; K_{τ} – составляющая, учитывающая хрупкопластические свойства угля, описывается корреляционной функцией вида $K_{\tau} = D e^{-\alpha |\tau|} \cdot \sin(-\beta \tau)$, повторяющейся с частотой до 50 Гц.

Коэффициенты, входящие в выражение $M_C(t)$, могут колебаться в широких пределах.

Расчет электромеханических характеристик, включая мощности источников тепловыделения (потери в элементах конструкции двигателя), были рассмотрены ранее [2]. Для этого был использован метод моделирования системы уравнений Парка-Горева с помощью пакета прикладных программ Matlab 4.2 и его приложения Simulink.

Анализ динамики тепловых процессов можно осуществить путем моделирования системы дифференциальных уравнений, описывающих тепловое состояние электродвигателей, полученных с помощью его тепловой схемы замещения.

Исследование динамики теплового состояния было проведено на тепловой модели комбайнового двигателя типа ЭДКО4-2МУ5. Модель выполнена на базе четырехтельной тепловой схемы замещения [1]. В качестве тел приняты пазовая и лобовая часть обмотки статора, ротор, а также железо статора и корпус. На вход модели подаются сигналы действующих значений токов $I(t)$ статора и ротора в соответствии с диаграммой нагрузки, определяемые путем моделирования системы уравнений Парка-Горева. В качестве примера на рисунке 1 показаны зависимости тока $I(t)$ статора в циклах повторно-кратковременных S4 и перемежающихся режимах S6 при различных ПВ (0,25, 0,4 и 0,6) и длительности цикла $t_u = 4$ мин. Из рисунка 1 следует, что в кривых тока $I(t)$ прослеживается влияние различных факторов, определяющих момент сопротивления $M_C(t)$ в течение рабочего интервала t_p цикла. Так, составляющая $M_{C1}(t)$ наиболее полно просматривается в режиме при ПВ = 0,6, когда длительность рабочего интервала t_p цикла совпадает с ее периодом колебаний. При ПВ = 0,4 и 0,25 можно выделить только часть периода. Учитывая случайный характер воздействия различных факторов, определяющих $M_C(t)$, максимальное значение составляющей $M_{C1}(t)$ может смещаться в течение рабочего интервала. При дальнейших исследованиях с целью более достоверного сравнения влияния $M_{C1}(t)$, ее начальная фаза принята одинаковой. В расчет принимался наиболее тяжелый случай, когда при всех ПВ максимальное значение составляющей $M_{C1}(t)$ попадало в зону рабочего интервала. Аналогично просматривается и влияние составляющей $M_{C2}(t)$ в виде колебаний с частотой 1...3 Гц. В повторно-кратковременном режиме с частыми пусками S4, рассмотрен наиболее тяжелый пуск под нагрузкой. С учетом вышеуказанных допущений он одинаков для всех режимов, поэтому относительная длительность времени пуска t_n/t_p существенно изменяется в зависимости от ПВ и времени цикла t_u .

На рисунке 1 приведены также результаты расчета температуры $\theta(t)$ в лобовой части обмотки статора в течение цикла при квазиустановившемся состоянии. Вследствие большой инерционности тепловых процессов в кривой $\theta(t)$ отсутствуют составляющие 1...3 Гц, а их наличие в кривой тока

$I(t)$, а следовательно, и потеря, учитывается в виде увеличения среднего значения температуры θ_{cp} в цикле. В значительной степени форма кривой $\theta(t)$ определяется составляющей тока, обусловленной $M_{C1}(t)$. Практически совпадают по времени максимумы θ_{max} и I_{max} . В режиме S4 имеет место значительное нарастание температуры при пуске, несмотря на относительно небольшую величину t_n/t_p . В наиболее тяжелом случае скорость нарастания температуры достигала $5,5^\circ\text{C}/\text{с}$, при допустимой – $7^\circ\text{C}/\text{с}$.

Исследования проводились в тех же режимах и при меньших длительностях цикла $t_{ц}$. В таблицах 1, 2 соответственно для режимов S4 и S6 приведены значения максимальных θ_{max} и минимальных θ_{min} температур цикла квазиустановившегося состояния при различных длительностях цикла (1; 1,5; 2 и 4 мин) и ПВ (0,25; 0,4 и 0,6).

Из таблицы 1 следует, что тепловые нагрузки в режиме S4 велики. Максимальные температуры в цикле были наибольшие при $t_{ц}=1$ увеличиваются с ростом ПВ. При ПВ=0,6 в рассматриваемом примере θ_{max} превышает допустимую и необходимо ставить вопрос о допустимом числе включений. Тепловые нагрузки в перемежающемся режиме S6 (таблица 2) значительно меньше, чем в S4. Дополнительное тепловыделение под действием тока холостого хода I_0 в период пауз оказывает значительно меньшее влияние, чем кратковременные пусковые токи, что делает режим S6 более предпочтительным при эксплуатации очистных комбайнов. Расчеты, приведенные в таблицах, были осуществлены при номинальном напряжении двигателя. Средняя величина пускового тока была равна $I_{n,cp}=5,2I_n$, а длительность пуска $t_n=2,3$ с.

В реальных условиях имеет место значительная протяженность шахтных электрических сетей, а следовательно, падение напряжения на зажимах двигателя. В таблицах 3, 4 в качестве примера приведены расчеты θ_{max} и θ_{min} цикла квазиустановившегося состояния в режимах S4 и S6 с учетом падения напряжения.

Таблица 1. Максимальные Φ_{max} и минимальные Φ_{min} температуры циклов в повторно-кратковременном режиме S4 казистановицишского состояния при различных ПВ и t_{Σ}

t_{Σ} мин	1		1,5		2		4	
ПВ	0,25	0,4	0,6	0,25	0,4	0,6	0,25	0,4
Φ_{max} °С	153	176	209	123	145	166	107	126
Φ_{min} °С	136	160	193	104	127	150	87	106
							119	54
							61	87

Таблица 3. Максимальные Φ_{max} и минимальные Φ_{min} температуры циклов в повторно-кратковременном режиме S4 казистановицишского состояния при различных ПВ и t_{Σ} с учетом падения напряжения

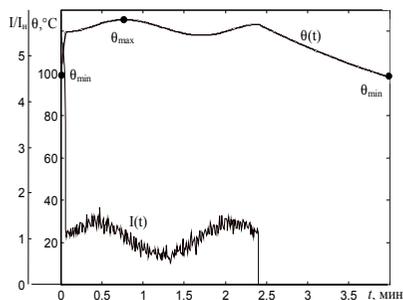
t_{Σ} мин	1		1,5		2		4	
ПВ	0,25	0,4	0,6	0,25	0,4	0,6	0,25	0,4
Φ_{max} °С	183	209	247	144	170	194	147	159
Φ_{min} °С	163	189	227	122	148	174	101	123
							137	62
							69	99

Таблица 2. Максимальные Φ_{max} и минимальные Φ_{min} температуры циклов в перемежающемся режиме S6 казистановицишского состояния при различных ПВ и t_{Σ}

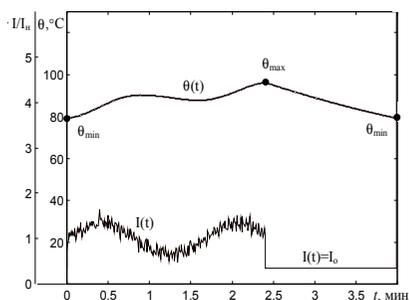
t_{Σ} мин	1		1,5		2		4	
ПВ	0,25	0,4	0,6	0,25	0,4	0,6	0,25	0,4
Φ_{max} °С	50	74	104	56	78	97	59	78
Φ_{min} °С	47	70	99	50	71	90	51	68
							79	44
							50	73

Таблица 4. Максимальные Φ_{max} и минимальные Φ_{min} температуры циклов в перемежающемся режиме S6 казистановицишского состояния при различных ПВ и t_{Σ} с учетом падения напряжения

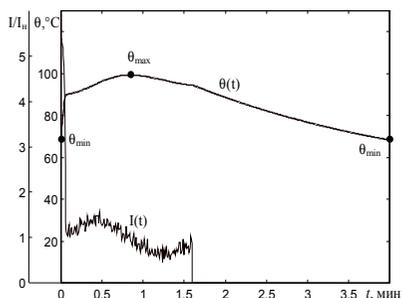
t_{Σ} мин	1		1,5		2		4	
ПВ	0,25	0,4	0,6	0,25	0,4	0,6	0,25	0,4
Φ_{max} °С	54	80	144	59	86	107	63	84
Φ_{min} °С	50	74	108	53	78	100	54	74
							85	47
							52	87



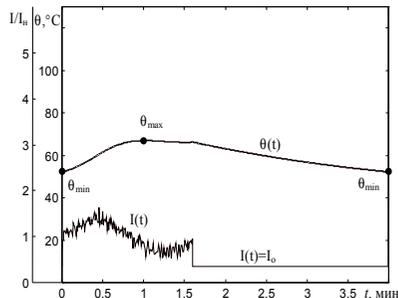
а) ПВ=0,4



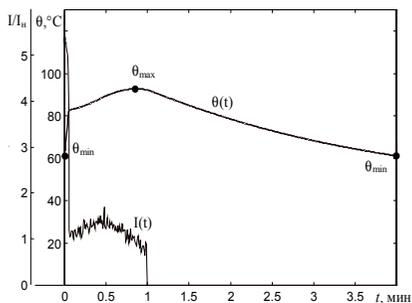
б) ПВ=0,6



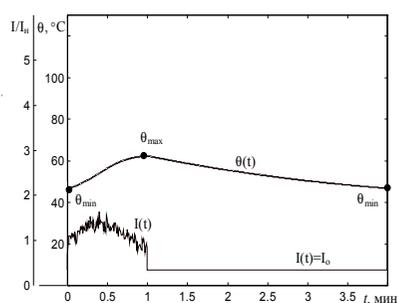
в) ПВ=0,4



г) ПВ=0,25



д) ПВ=0,25



е) ПВ=0,2

Рисунок 1 – Зависимости $\theta(t)$ и $I(t)$ в повторно-кратковременном с частыми пусками S4 и перемежающемся S6 режимах при различных ПВ и $t_{п} = 4$ мин в квазиустановившемся состоянии

В момент пуска напряжение на зажимах двигателя составляло $0,89U_n$, а на рабочем интервале $0,96U_n$. Время пуска возросло до величины $t_{п} = 3,6$ с. Из таблицы 3 следует, что в режиме S4 имеет место существенное

возрастание тепловых нагрузок. При $t_{ц}=1$ мин возрастание температуры составляло 30...38°C, при $t_{ц}=1,5$ мин – 21...28°C, при $t_{ц}=2$ мин и при $t_{ц}=4$ мин – 12...15°C. Некоторое увеличение температуры (~ 4°C) имело место в режиме S6 при всех ПВ (см. таблицы 2, 4). Это увеличение можно объяснить увеличением скольжения, а следовательно, и токов на рабочем интервале.

Библиография

1 Стариков Б.Я., Азарх В.Л., Рабинович З.М. Асинхронный электропривод очистных комбайнов. — М.: Недра, 1981. — 288 с.

2 Шумяцкий В.М., Марков М.А. Моделирование асинхронного привода очистного комбайна с регулированием скорости подачи // Тр. ДонГТУ. Сер. Электротехника и энергетика. — 1999. — Вып. 3. — С. 24–29.

Поступила в редакцию 25.09.1999 г.