

РУДНИЧНЫЙ ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ С ВОДО-ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Ковалев Е.Б., Рак А.Н., Шавелкин С.А.

Донецкий государственный технический университет

vladimir @ koe. dgtu. donetsk. ua

The given article is about of a problem of application of a water-air system of cooling of electric motors of miner locomotives. The rectangular distribution of a cooling stream should supply allowable uniformly distributed temperature and to increase a potency of the electric motor for want of same dimension. The results can the modernizings of the acting electric motors of electric locomotives are used for want of.

Интенсивное охлаждение является важнейшим средством снижения массы электрических машин наряду с увеличением нагрузки активных элементов, применением новых изоляционных материалов, качественных сталей. Оптимальное распределение охлаждающих потоков в соответствии с распределением источников тепла позволяет обеспечить допустимую равномерно распределенную температуру активных частей. Рудничные тяговые электродвигатели серии ДРТ изготавливают закрытыми во взрывозащищенном исполнении с естественной вентиляцией. Какие-либо устройства для дополнительного охлаждения отсутствуют. Поэтому предлагается использовать на двигателе систему с водо-воздушным охлаждением, общий вид которой приведен на рис. 1.

В состав системы охлаждения входят: 1-электродвигатель с аксиальными каналами в виде «змеевика» на внешней поверхности корпуса; 2-вентилятор установленный на вал внутри электродвигателя для улучшения теплообмена и повышения равномерности нагрева активных частей; 3- циркуляционный насос, приводимый ремнем от шкива на выходном конце вала; 4- водо-воздушный теплообменник; 5-соединительные резиновые шланги; 6- охлаждающая жидкость.

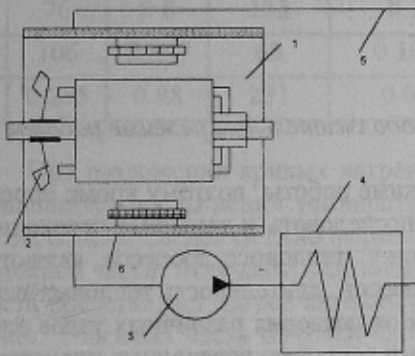


Рисунок 1 - Система водо-воздушного охлаждения рудничного тягового электродвигателя

Принцип действия системы состоит в следующем. Тепловые потоки от нагретых частей электродвигателя передаются конвективным путем и путем теплопередачи к корпусу электродвигателя 1, отводятся охлаждающей жидкостью 6, которая циркулирует с помощью насоса 3 и охлаждается в теплообменнике 5 наружным воздухом, а далее по соединительным резиновым шлангам подается в корпус 1.

Определение эффективности такой системы охлаждения проводилось с применением эквивалентной тепловой схемы замещения (ЭТС), позволяющей с достаточной для практических рас-

четов точно проводить исследования тепловых переходных процессов, которая приведена в [1]. В качестве модели для исследований была выбрана тепловая схема замещения электродвигателя, содержащая 10 тел, а именно: 1-пазовая часть обмотки якоря; 2-лобовая часть обмотки якоря со стороны коллектора; 3-коллектор; 4-лобовая часть обмотки якоря со стороны привода; 5-сердечник якоря; 6-обмотка возбуждения; 7-сердечник главного полюса; 8-наконечник главного полюса; 9- внутренний воздух; 10-корпус.

Полученные для установившегося режима работы двигателя при токе якоря $I_a = 50$ А значения температуры не превышают допустимых значений, указываемых в соответствующих ТУ на испытания рудничных тяговых электродвигателей. Так обмотка якоря (кривая 1) имеет превышение температуры 72 °С, а допустимое -150 °С; сердечник якоря (кривая 2) -76 (150) °С; коллектор (кривая 3) -30 (120) °С; корпус (кривая 10) -0.25 (60) °С. Высокий уровень нагрева пазовой части обмотки якоря (кривая 1) - объясняется отсутствием каких-либо каналов для дополнительной вентиляции, а также выделением потерь мощности именно в обмотке якоря. Основное тепло от этой части обмоток отводится через сталь якоря, который нагревается и за счет имеющихся в нем магнитных потерь. Низкий уровень нагрева корпуса объясняется непосредственным контактом с охлаждающей жидкостью. Превышение температуры обмотки возбуждения достигает 106 (180) °С. Повышенный уровень нагрева обмотки возбуждения (кривая 6) объясняется худшими условиями теплоотвода - поскольку она неподвижна. Таким образом наиболее нагретыми узлами являются обмотка возбуждения и обмотка якоря.

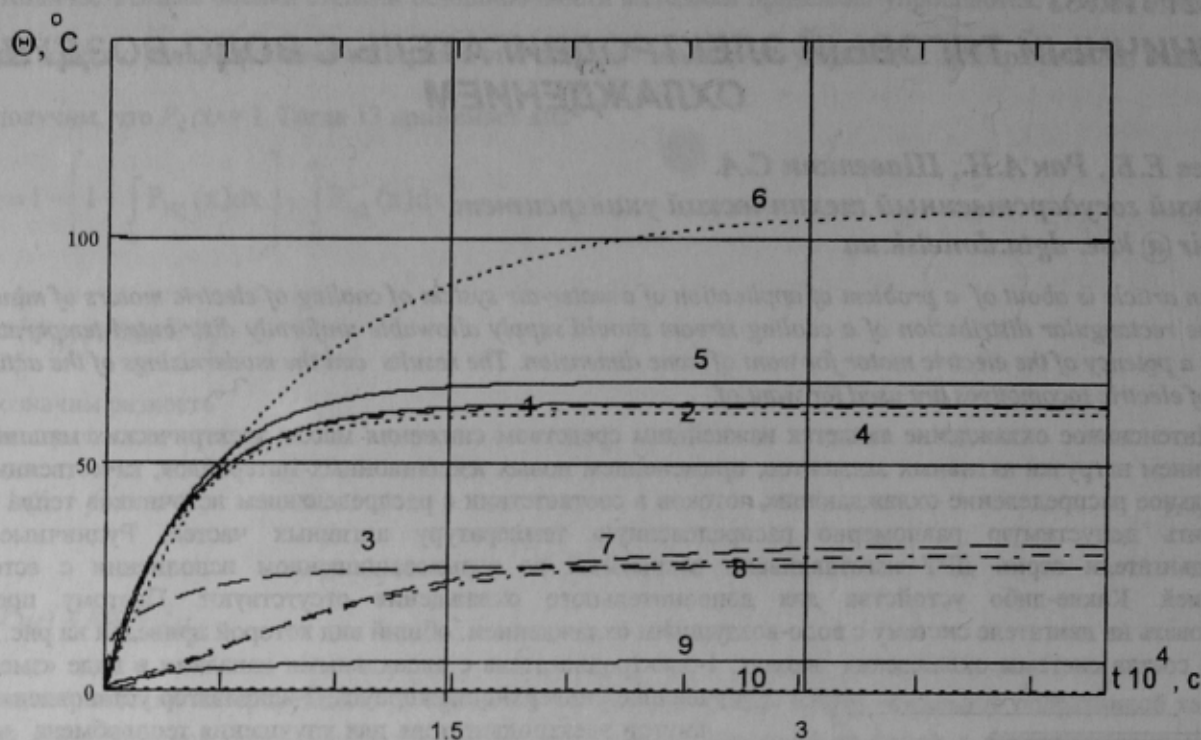


Рисунок 2 - Кривые нагрева рудничного тягового электродвигателя в продолжительном режиме работы

Тяговый двигатель в реальных условиях работает в нестационарном режиме работы, поэтому кроме определения температуры электродвигателя в установившемся режиме необходимо исследовать и тепловые переходные процессы: При этом очень важными параметрами, характеризующими динамику теплового процесса, являются: скорость изменения температуры узлов, постоянные времени переходных процессов, длительность тепловых переходных процессов. Поэтому особый интерес представляют кривые нагрева и охлаждения различных узлов электродвигателя, которые являются своеобразными функциями характеризующими тепловые переходные процессы в различных режимах. Для анализа применены общие методы, приведенные в [1].

На стадии предварительных исследований установлено, что кривые тепловых переходных процессов в электродвигателях с достаточной точностью можно аппроксимировать выражением с двумя экспоненциальными составляющими. Тогда уравнение любой кривой можно представить в виде:

$$\theta = \theta_{уст} \left(1 - a_1 e^{-\frac{t}{T_1}} - a_2 e^{-\frac{t}{T_2}} \right), \quad (1)$$

где $\theta_{уст}$ — установившееся превышение температура соответствующего узла;

a_1, a_2 — коэффициенты удельного веса экспонент; $a_1 + a_2 = 1$

T_1 — большая постоянная времени, определяющая общую длительность тепловых процессов, мин.,

T_2 — меньшая постоянная времени, определяющая характер протекания тепловых переходных процессов, мин.

Коэффициенты a_1, a_2 можно получить построением по известным методикам соответствующих характеристик нагрева или в полулогарифмическом масштабе или с использованием ЭВМ.

Длительность теплового переходного процесса:

$$t_{..} = T_1 \ln \left(\frac{\Delta\theta}{\theta_{уст} a_1 \left(e^{\frac{60}{T_1}} - 1 \right)} \right) = T_1 \ln \left(\frac{1}{\theta_{уст} a_1 \left(e^{\frac{60}{T_1}} - 1 \right)} \right), \quad (2)$$

где $\Delta\theta = 1$ °С/час - устанавливаемая по Государственному стандарту величина согласно которой переходный процесс считается законченным.

Результаты расчетов превышений температуры для узлов сведены в табл.1.

Таблица 1 - Результаты расчетов параметров переходных процессов при нагреве

№	$\theta_{уст},$ °С	a_1	$T_1, \text{ мин}$	a_2	$T_2,$ мин	$t_{пп,ч}$	$a_1/T_1,$ мин ⁻¹	$a_2/T_2,$ мин ⁻¹	$a_1/T_1 + a_2/T_2,$ мин ⁻¹	$\theta_{уст} \cdot (a_1/T_1 + a_2/T_2),$ °С/мин
1	72	0.8	130	0.2	13.83	7.7	0.006	0.01	0.016	1.15
2	73	0.8	130	0.2	13.83	7.7	0.006	0.01	0.016	1.17
4	71	0.8	130	0.2	13.83	7.7	0.006	0.01	0.016	1.136
3	30	0.8	130	0.2	20	5.7	0.006	0.014	0.016	0.48
5	76	0.8	132	0.2	14.1	7.8	0.006	0.01	0.02	1.52
6	106	0.897	60	0.103	10	5	0.015	0.01	0.025	2.65
10	0.255	0.98	231	0.02	6.6	10	0.0042	0.003	0.0072	0.002

При разложении кривых нагрева можно видеть, что узлы вращающейся части при различных значениях установившихся превышений температуры имеют примерно одинаковые значения коэффициентов аппроксимирующих экспонент, следовательно формы кривых совпадают. Коэффициенты аппроксимирующих экспонент узлов неподвижной части отличаются от коэффициентов вращающейся части. Основной интерес при оценке результатов расчета представляет нагрев активных частей электродвигателя, температура которых нормируется стандартами, а именно: 1-пазовая часть обмотки якоря; 2,4- лобовые части обмотки якоря со стороны коллектора и привода; 3- коллектор; 6-обмотка возбуждения. На скорость изменения температуры узлов вращающейся части значительное влияние оказывает меньшая постоянная времени T_2 . На скорость изменения температуры обмотки возбуждения (кривая 6) и корпуса (кривая 5) влияние постоянных времени T_1 и T_2 одинаково. В начальные периоды тепловых переходных процессов т.е. при влиянии T_2 наибольшую скорость изменения температуры имеет коллектор (кривая 3). Скорость изменения температуры обмотки якоря (кривая 1), сердечника якоря (кривая 2) и обмотки возбуждения (кривая 6) одинакова. При влиянии T_1 наибольшую скорость изменения имеет обмотка якоря (кривые 1,2,4); наименьшую - обмотка возбуждения (кривая 6). Наибольшую скорость изменения температуры имеют: обмотка возбуждения (кривая 6) - 2.65 °С/мин., сердечник якоря (кривая 5) - 1.52 °С/мин., обмотка якоря, лобовая часть (кривая 2) - 1.17°С/мин., коллектор (кривая 3) - 0.48 °С/мин. Наименьшу - корпус (кривая 5) - 0.002 °С/мин. Длительность тепловых переходных процессов для обмотки якоря (кривая 1) составляет 7.7 ч., сердечника якоря (кривая 5) – 7.8 ч., обмотки возбуждения (кривая 6) – 5 ч., коллектора (кривая 3) - 5.7 ч., корпуса (кривая 10) – 10 ч.

Исходя из изложенного следует отметить, что наиболее напряженными узлами являются обмотка возбуждения и якоря поскольку они имеют минимальные постоянные времени T_2 т.е. подвержены наибольшему тепловому воздействию. Значит особое внимание необходимо обращать на данные узлы, а настройку системы теплового контроля необходимо производить по нагреву обмотки якоря, поскольку при выходе из строя обмотки якоря ее ремонт является более трудоемкой операцией по сравнению с ремонтом обмотки возбуждения. При данном способе охлаждения мощность электродвигателя $P_{час}$ увеличивается примерно на 50% и номинальная мощность $P_{ном} = 19.5$ кВт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рак А.Н. Моделирование тепловых переходных процессов с помощью математических моделей // Сб. научных трудов ДонГТУ. Серия: Электротехника и энергетика, выпуск 4:- Донецк: ДонГТУ, 1999.-С.146-150.
2. А.И.Борисенко, В.Г.Данько, А.И.Яковлев Аэродинамика и теплопередача в электрических машинах.. М., «Энергия», 1974.