

УДК 621.313.333.2

А.А. Голдовская, Е.С. Дорохина, О.Л. Рапопорт, Р.О. Аслаян

Актуальность создания и применения системы теплового контроля асинхронных тяговых электродвигателей

Представлены результаты расчета теплового поля асинхронного тягового двигателя двумя методами: графическим методом в среде ELCAD и с помощью тепловой математической модели, реализованной в среде Matlab. Построены температурные поля тягового электродвигателя при номинальных условиях работы и при повышенном значении тока статора. Показана необходимость регистрации температуры не только пазовых, но и лобовых частей обмотки электродвигателя. Результаты представленных расчетов показали необходимость использования системы теплового контроля температуры электродвигателя во время эксплуатации.

Ключевые слова: асинхронный тяговый двигатель, модернизация, температурное поле, математическая модель, контроль теплового состояния.

Одним из факторов повышения экономического роста страны является эффективное функционирование железнодорожного транспорта. В связи с этим в 2013 г. ОАО «РЖД» была разработана Программа модернизации и инновационного развития сети железных дорог ОАО «РЖД» и разработан проект «Стратегия развития железнодорожного транспорта РФ до 2030 года» [1, 2]. Одним из основных направлений модернизации и инновационных технологий в транспорте предусматривает увеличение доли тяжеловесных поездов массой 9–12 тыс. т и более с использованием систем дистанционного управления распределенной тягой, а также технические и технологические решения, обеспечивающие повышение скоростей движения не менее чем на 25%. Другим направлением модернизации является внедрение асинхронного тягового электропривода как на пассажирские, так и на грузовые электровозы.

Следствием всего вышесказанного является повышение нагрузок на подвижной состав. Таким образом, условия эксплуатации как всего оборудования, так и, в частности, тягового электропривода происходит в режимах перегрузки относительно номинальных условий эксплуатации. С учетом того, что тяговые электродвигатели являются наиболее нагруженным оборудованием электровоза, повышение нагрузки приведет к увеличению температурного поля электрической машины. Длительная эксплуатация электродвигателя в таких режимах является опасной за счет возможного наступления предельного теплового состояния и внезапного выхода его из строя.

С учетом ориентации ОАО «РЖД» на развитие тягового электропривода переменного тока остановимся на рассмотрении асинхронных тяговых электродвигателях. Обоснованием перехода на тяговые асинхронные электродвигатели является простота их обслуживания, эксплуатации, простота конструкции, низкая стоимость и высокая надежность машины. К недостаткам данных электродвигателей можно отнести большой пусковой ток, чувствительность к изменениям параметров в сети и необходимость применения преобразователя частоты для плавного регулирования скорости. В настоящее время в эксплуатации ОАО «РЖД» находятся двигатели серий НТА-1200, ДАТ-1200 и др. Данные серии электродвигателей для контроля их теплового состояния оборудованы датчиком температуры, в частности тяговый электродвигатель НТА-1200 оборудован датчиком температуры, вмонтированным в сердечник стали статора. Таким образом, в период эксплуатации электродвигателя имеется информация о температуре пазовой части обмотки статора. Но температура других частей: обмоток ротора, лобовых частей обмотки статора и др. – для оценки теплового состояния недоступна.

Другим путем получения информации о температурном поле машины является использование тепловой математической модели (ТММ) электродвигателя, которая позволяет производить расчет температур элементов конструкции электродвигателя по его входным параметрам [3, 4]. Такая модель позволяет получить информацию не только о температуре пазовой части обмотки статора, но и о температурах лобовых частей обмоток статора и температуре узлов ротора.

Разработанная тепловая математическая модель была создана на основе двигателя НТА-1200. Апробация ее адекватности проходила на электровозе 2ЭС10 «Гранит» № 062. Электровозы данной марки оснащены асинхронными тяговыми электродвигателями марки Siemens мощностью 1200 кВт. Приведение параметров математической модели для исследуемого двигателя к двигателю, установленному на электровозе, позволило экспериментально исследовать разработанную модель.

Эксплуатируемые электровозы «Гранит» оснащены системой определения температур узлов двигателя: пазовой части обмотки статора, сердечника статора и расчетной усредненной температуры ротора. Для оценки погрешности определения температур с использованием предлагаемой модели было проведено сравнение значений температур узлов тягового электродвигателя, полученные при эксплуатационных ходовых испытаниях электровоза 2ЭС10 № 062.

Эта погрешность не превышает 8%. При этом наибольшая погрешность была получена для узла ротора за счет того, что в экспериментальных данных его температура определяется как средняя.

В таблице приведены значения температур, полученные с помощью разработанной тепловой математической модели, для двух режимов работы двигателя. В первой столбце представлены значения температур узлов электродвигателя при работе с параметрами, близкими к номинальным по значению тока статора: напряжение сети $U = 3320$ В, фазный ток статора $I_f = 336$ А, температура окружающей среды $t = 20$ °С, частота вращения $n = 796$ об/мин, расход охлаждающего воздуха $q = 90$ м³. Во втором столбце представлены значения температур узлов электродвигателя при двукратном увеличении тока статора: напряжение сети $U = 3000$ В, фазный ток статора $I_f = 600$ А, температура окружающей среды $t = 20$ °С, частота вращения $n = 1300$ об/мин, расход охлаждающего воздуха $q = 90$ м³.

Результаты расчета теплового поля машины с помощью ТММ

Наименование узла электродвигателя	Температура узлов электродвигателя, °С	
	$U = 3320$ В, $I_f = 336$ А, $t = 20$ °С, $n = 796$ об/мин, $q = 90$ м ³	$U = 3000$ В, $I_f = 600$ А, $t = 20$ °С, $n = 1306$ об/мин, $q = 90$ м ³
Лобовая часть обмотки статора со стороны подачи воздуха	91,45	121,77
Пазовая часть обмотки статора	103,01	121,34
Лобовая часть обмотки статора со стороны, противоположной подаче воздуха	97,31	128,85
Сердечник статора	104,82	104,80
Лобовая часть обмотки ротора со стороны подачи воздуха	84,57	105,22
Пазовая часть обмотки ротора	88,04	98,17
Лобовая часть обмотки ротора со стороны, противоположной подаче воздуха	88,84	113,74
Сердечник ротора	84,01	95,75
Короткозамкнутое кольцо со стороны подачи воздуха	84,56	105,15
Короткозамкнутое кольцо со стороны, противоположной подаче воздуха	88,83	113,69
Выходная температура воздуха	41,21	56,47

В первом случае, когда ток статора имеет номинальное значение, полученное температурное поле имеет классическое распределение температуры в электродвигателе [5, 6]. Пазовые части обмотки двигателя имеют максимальное значение, лобовые части – менее нагреты. Моделирование температурного поля, проведенное в среде ELCAD (рис. 1), также подтвердило данное распределение. Погрешность между всеми результатами (экспериментальные значения, расчет с помощью тепловой математической модели, моделирование в среде ELCAD) не превышает 10%.

В случае двукратного увеличения тока статора ($I_f = 600$ А) при максимально возможном сохранении остальных параметров наблюдается увеличение температур лобовых частей обмоток статора и ротора. Моделирование данного режима работы в среде ELCAD также подтвердило полученное распределение температур в двигателе.

Погрешность расчетов в среде ELCAD и расчетов с помощью тепловой математической модели связана с тем, что разработанная ТММ производит расчет температур электродвигателя с учетом подогрева охлаждающего воздуха вдоль машины. Программирование в среде ELCAD не дает возможности учитывать подогрев воздуха при его движении вдоль машины.

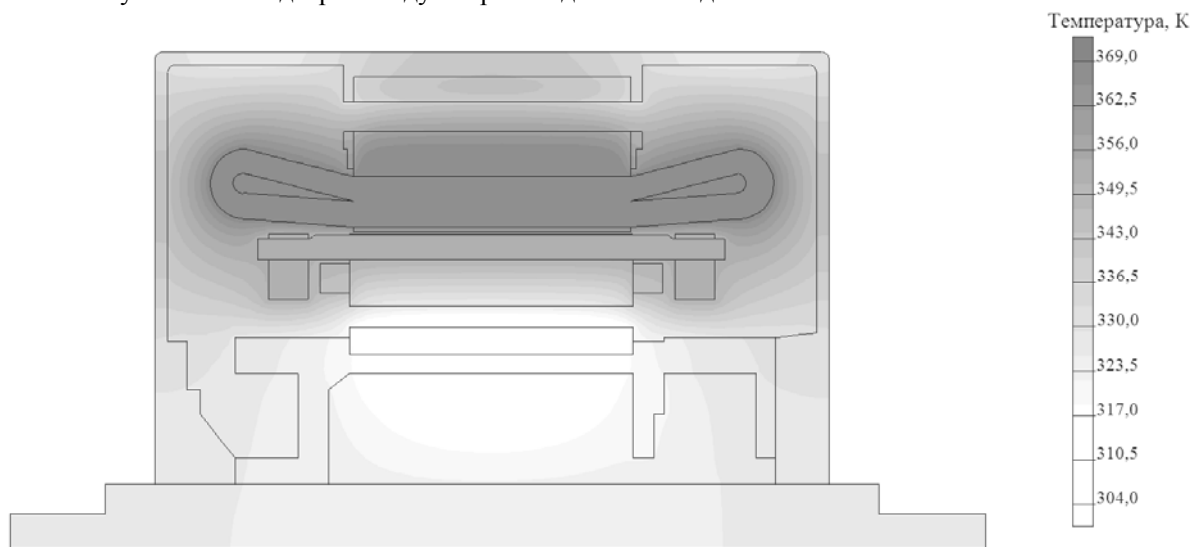


Рис. 1. Моделирование теплового состояния тягового асинхронного электродвигателя в среде ELCAD при $U = 3320$ В, $I_f = 336$ А, $t = 20$ °С, $n = 796$ об/мин

Заключение. В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Повышение токовых нагрузок выше номинальных при одних и тех же условиях охлаждения приводит к большему увеличению температур лобовых частей обмоток статора и ротора, чем в пазовой части. Данное явление можно объяснить тем, что теплоотдача лобовых частей обмоток статора и ротора в большой степени зависит от количества охлаждающего воздуха. При постоянном значении расхода охлаждающего воздуха теплоотвод с лобовых частей остается практически таким же при увеличенных примерно в 4 раза потерях в обмотке.

2. Полученные результаты моделирования показывают, что производимый контроль температуры только пазовой части обмотки электродвигателя во время эксплуатации электровоза не является достаточным. Показано, что наиболее нагретыми частями являются лобовые части обмоток. Именно по этим наиболее нагретым частям можно судить о ресурсе ТЭД по тепловому состоянию изоляции.

Литература

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=13009, свободный (дата обращения: 14.04.2014).
2. Стратегические направления научно-технического развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 г. («Белая книга» ОАО «РЖД») [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=4038, свободный (дата обращения: 14.04.2014).
3. Дорохина Е.С. Система мониторинга теплового состояния тяговых электродвигателей постоянного тока / Е.С. Дорохина, О.Л. Рапопорт, А.А. Хорошко // Изв. высш. учебных заведений. Электромеханика. – 2012. – № 4. – С. 16–21.
4. Дорохина Е.С. Тепловая модель асинхронного тягового двигателя / Е.С. Дорохина, А.А. Хорошко // XVII Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии» СТТ 2011. – Томск, 2011. – Т. 1. – С. 455–456.
5. Тихонов Ф.В. Разработка методов выбора параметров асинхронного тягового двигателя с учетом теплового состояния обмоток: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2008. – 136 с.
6. Сипайлов Г.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: учеб. пособие / Г.А. Сипайлов, Д.И. Санников, В.А. Жадан. – М.: Высшая школа, 1989. – 239 с.

Голдовская Анастасия Александровна

Ассистент каф. электромеханических комплексов и материалов (ЭКМ)

Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета

Тел.: 8-960-978-29-66

Эл. почта: Horoshko@tpu.ru

Дорохина Екатерина Сергеевна

Ассистент каф. ЭКМ

Тел.: 8-913-845-03-39

Эл. почта: dorohina@tpu.ru

Рапопорт Олег Лазаревич

Канд. техн. наук, доцент каф. ЭКМ

Тел.: 8-913-820-37-79

Эл. почта: gaol46@mail.ru

Асланян Роксана Ованесовна

Магистрант 6-го курса каф. ЭКМ

Тел.: 8-913-856-39-15

Эл. почта: rassvetik5@mail.ru

Goldovskaya A.A., Dorokhina E.S., Rapoport O.L., Aslanyan R.O.

The importance of establishing and applying the thermal control system of traction induction motors

The calculation results of the traction induction motor thermal field are presented by two methods: graphical method in the environment ELCAD and using thermal mathematical model implemented in the environment Matlab. Traction electric motor temperature fields are constructed at nominal operating conditions and at increased value of stator current. The registration necessity of temperature not only grooving, but also winding front parts of the electric motor is shown. The calculation results showed the necessity of using motor temperature monitoring during operation.

Keywords: traction induction motors, modernization, temperature field, mathematical model, thermal monitoring.