

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОСКОРОСТНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Анухтин М.В.

Донецкий национальный технический университет
ivp@elf.dgtu.donetsk.ua

The paper deals with the description of special features of construction of multispeed electric drives and their types of work. It is shown the mathematical description of counting of thermal state in real conditions, the description of specularities of estimation method of multispeed electric drives thermal state. The result may be used at working out devices of electric drives thermal resist.

Одной из наиболее распространенных причин выхода из строя электродвигателей является нарушение теплового режима работы, приводящего к повышенным температурам их элементов конструкций. Наиболее уязвимым узлом конструкции к тепловым перегрузкам является изоляция обмоток двигателя. При повышении температуры нагрева сверх допустимой для данного класса изоляции, срок службы обмоток резко уменьшается. Поэтому, эксплуатация электродвигателей, при температурах, превышающих допустимые значения, недопустима. Для многоскоростных асинхронных двигателей нарушения теплового режима разнообразны и имеют определенные особенности. Также, как и для обычных асинхронных двигателей, у многоскоростных асинхронных двигателей причиной повышения температуры обмоток является повышенная нагрузка. У многоскоростных асинхронных двигателей величины допустимых нагрузок различны для каждого значения частоты вращения. Особенностью для этих двигателей, является наличие в циклах диаграмм нагрузок нескольких участков пуска, торможения, реверса, что определяется условиями технологических процессов работы механизмов при различных частотах вращения. Эти режимы характеризуются значительным тепловыделением в конструкциях электродвигателей и ухудшением условий теплоотвода, что зачастую и приводит к выходу их из строя. Поэтому оценка теплового состояния многоскоростных электродвигателей в этих режимах является актуальной, а ее результаты позволят избежать преждевременного выхода их из строя и увеличения их времени эксплуатации.

Методы оценки теплового состояния электродвигателей, работающих с практически постоянной частотой вращения не позволяют в достаточной степени оценить тепловое состояние многоскоростных асинхронных двигателей. Прежде всего, это относится к многоскоростным асинхронным двигателям с самовентиляцией. В методике расчета теплового состояния для таких асинхронных двигателей необходимо учесть изменение условий теплоотвода при разных значениях частоты вращения. Определенные особенности имеют пусковые и тормозные режимы при разных значениях частоты вращения. Для многоскоростных асинхронных двигателей, которые имеют несколько статорных обмоток, необходимо учитывать их взаимное влияние. Целью работы является оценка особенностей теплового состояния многоскоростных асинхронных двигателей в различных режимах работы, обусловленных особенностями эксплуатации производственных механизмов при соответствующих диаграммах нагрузок.

В настоящее время получили широкое распространение ряд механизмов, при работе которых не требуется плавного регулирования частоты вращения. В качестве примера можно привести механизмы лифтов в многоэтажных зданиях, центрифуг и насосов, используемых на промышленных предприятиях, угледобывающих комбайнов и стругов, применяемых в угледобывающей отрасли промышленности. В качестве приводных двигателей для таких механизмов используются многоскоростные асинхронные электродвигатели серий 4 А, ВАО – 2, ЭДК, ЭДКО и др.

Выпускаемые в настоящее время многоскоростные асинхронные электродвигатели являются двух, трех и четырехскоростными. При оценке теплового состояния этих многоскоростных асинхронных электродвигателей необходимо учитывать определенные особенности, характерные для этих электродвигателей. Прежде всего, это относится к двигателям с самовентиляцией, т.е. к асинхронным электродвигателям, имеющим вентилятор обдува на валу, у которых условия охлаждения изменяются с изменением величины частоты вращения. Частота вращения многоскоростных асинхронных электродвигателей, как правило, изменяется либо путем переключения числа пар полюсов обмоток статора, либо использованием двух независимых статорных обмоток, имеющих разные значения числа пар полюсов, либо одновременным сочетанием обоих случаев (для четырехскоростных асинхронных электродвигателей). В этой связи, необходимо отметить, что при изменении частоты вращения, изменяются характеристики асинхронного электродвигателя, вызывающие существенное изменение мощностей источников тепловыделения (тепловые потери в элементах конструкции электродвигателя). Таким образом, учет вышеизложенных факторов, при оценке теплового состояния многоскоростных асинхронных электродвигателей, является актуальной задачей.

Рассмотрим характерные особенности наиболее распространенных типов многоскоростных асинхронных электродвигателей. Многоскоростные асинхронные электродвигатели серии МАП используются в качестве приводных для судовых механизмов морских и речных судов. Характерной особенностью электродвигателей

этой серии является использование отдельной статорной обмотки для работы на каждом значении частоты вращения. Многоскоростные асинхронные электродвигатели серии МАП для якорно-швартовых механизмов имеют широкий диапазон мощностей, и соответственно, массогабаритных показателей.

Величина мощности для этих двигателей изменяется от 2 кВт до 70 кВт. Характерной особенностью конструкции электродвигателей этой серии, используемых для якорно-швартовых механизмов, является отсутствие вентилятора обдува на валу, поэтому режим работы для них кратковременный S2, длительностью 10 мин. и 30 мин. Многоскоростные асинхронные электродвигатели серии МАП, используемые в судовых грузоподъемных механизмах имеют вентилятор обдува, поэтому режим работы для них – повторно-кратковременный S3, с продолжительностью включения (ПВ) равной 25 и 40% [2].

Взрывозащищенные многоскоростные асинхронные электродвигатели типа АВТ и АВК являются комплектующими изделиями для самоходных вагонов. Двигатели АВТ15 (трехскоростные) и АВТ10 (двухскоростные) применяются для привода хода вагонов грузоподъемностью 15 и 10 т соответственно, АВК (двухскоростные) – для привода конвейеров и маслостанций вагонов грузоподъемностью 10, 15 и 20 т. Номинальный режим работы для двигателей типа АВТ для каждой скорости – повторно-кратковременный S4 с общей продолжительностью включения ПВ=25%, с числом включений в час и числом переключений в час:

30 – для двухскоростных и 60 – для трехскоростных, при коэффициенте инерции – 2,5. Номинальный режим для двигателей типа АВК – перемежающийся S6, с продолжительностью нагрузки ПН=25%, но вместо периодов холостого хода двигатель нагружен мощностью 8 кВт при частоте вращения 1500 об/мин. или 4 кВт при частоте вращения 750 об/мин., продолжительность одного цикла 6 мин. Необходимо отметить, что скорость нарастания температуры обмотки статора при заторможенном роторе не должна превышать 7° в 1 с [2].

Многоскоростные асинхронные электродвигатели серии 4А выпускаются двух модификаций: двухскоростные и многоскоростные. Двигатели этих модификаций отличаются от двигателей основной модификации обмоткой статора, а в ряде случаев – формой паза ротора и длиной сердечников [1]. Двухскоростные асинхронные электродвигатели с соотношением частот вращения 1 : 2 имеют обмотки статора с переключением числа пар полюсов по схеме Даландера. Двухскоростные асинхронные электродвигатели, с соотношением частот вращения 2 : 3 и 3 : 4 имеют обмотки статора с переключением числа пар полюсов по различным схемам (например схема Харитоновая, принцип амплитудно-фазовой модуляции). Трехскоростные асинхронные двигатели имеют две статорные обмотки, в одной из которых число пар полюсов переключается по схеме Даландера [1].

Двухскоростной асинхронный электродвигатель типа ВАО-2-315-6/18 предназначен для привода центрифуги, для работы во взрывоопасных помещениях всех классов и наружных установках, в которых могут образовываться взрывоопасные смеси газов, паров или пыли. Режим работы этого двигателя, как правило, повторно-кратковременный S5, с частыми пусками и торможениями и работой на различных частотах вращения. В табл. 1 приведены время работы интервалов типового графика нагрузки двигателя ВАО-2-315-6/18

Таблица 1. – Время работы на интервалах цикла типового графика нагрузки двигателя ВАО-2-315-6/18.

Режим работы	Разгон от 0 до 317 об/мин.	Работа при $\omega = 317$ об/мин.	Разгон до $\omega = 980$ об/мин.	Работа при $\omega = 980$ об/мин.	Торможение до $\omega = 317$ об/мин.	Торможение механическим тормозом	Пауза
	t_{n1}	t_{p1}	t_{n2}	t_{p2}	t_{m1}	t_{m2}	
Время, с	17	12	28	301	12	60	60

В общем случае, для двухскоростных асинхронных электродвигателей время работы на повышенной частоте вращения является, преобладающим. Такой режим используется при движении подъемного механизма или при вращении центрифуги, при этом параметры электродвигателя соответствуют номинальным значениям. Режим работы асинхронных электродвигателей с пониженной частотой вращения происходит при торможении и движении подъемного механизма на пониженной скорости с последующей точной остановкой или вращения центрифуги при «доводке» производственного процесса к окончанию. Общий режим работы многоскоростных асинхронных электродвигателей является перемежающимся номинальным режимом работы с двумя или более частотами вращения, характеризующийся как S8. Однако, в условиях эксплуатации, режим работы определяется диаграммой нагрузки, в которой имеются участки пуска, пауз и торможения, которые в некоторых случаях являются электрическим торможением. Режим работы многоскоростных асинхронных двигателей на повышенной частоте вращения характеризуется значением тока равного I_n . В этом режиме, температуры перегрева элементов конструкции электродвигателя не достигают критических значений и выход из строя двигателя представляется маловероятным.

Работа многоскоростного асинхронного электродвигателя на пониженной частоте вращения (скорость «дотяжки») имеет ограниченное время, поскольку условия теплоотвода на этой частоте вращения значительно

ухудшаются. Поэтому длительность работы на этой скорости необходимо нормировать, исходя из условий теплового состояния электродвигателя.

Для четырехскоростных асинхронных электродвигателей одно из значений частоты вращения является основным, одно – скоростью «дотяжки», а другие используются, исходя из технологических требований режимов эксплуатации.

Из вышеизложенного следует, что тепловое состояние многоскоростных асинхронных электродвигателей, определяется целым рядом факторов – токовыми нагрузками на интервалах, длительностью этих интервалов условиями теплоотдачи при различных значениях частоты вращения и т.д. Оценка теплового состояния этих двигателей является актуальной задачей и, зачастую, определяет надежность их эксплуатации.

Суждение о тепловом состоянии многоскоростных асинхронных электродвигателей можно осуществить с помощью эквивалентных тепловых схем (ЭТС) с теплоемкостями. В зависимости от способа получения частоты вращения ЭТС имеют определенные особенности. Для многоскоростных асинхронных электродвигателей с переключением числа пар полюсов в одной статорной обмотке ЭТС едина для каждой частоты вращения, однако мощность источников тепла существенно изменяется в зависимости не только от величины нагрузки, но и от частоты вращения. Для многоскоростных асинхронных электродвигателей с несколькими статорными обмотками в ЭТС должны быть выделены узлы, характеризующие тепловое состояние каждой из обмоток и их взаимное влияние. На рис. 1 в качестве примера представлена ЭТС электродвигателя МАП-221-4-12, имеющего две статорные обмотки [3].

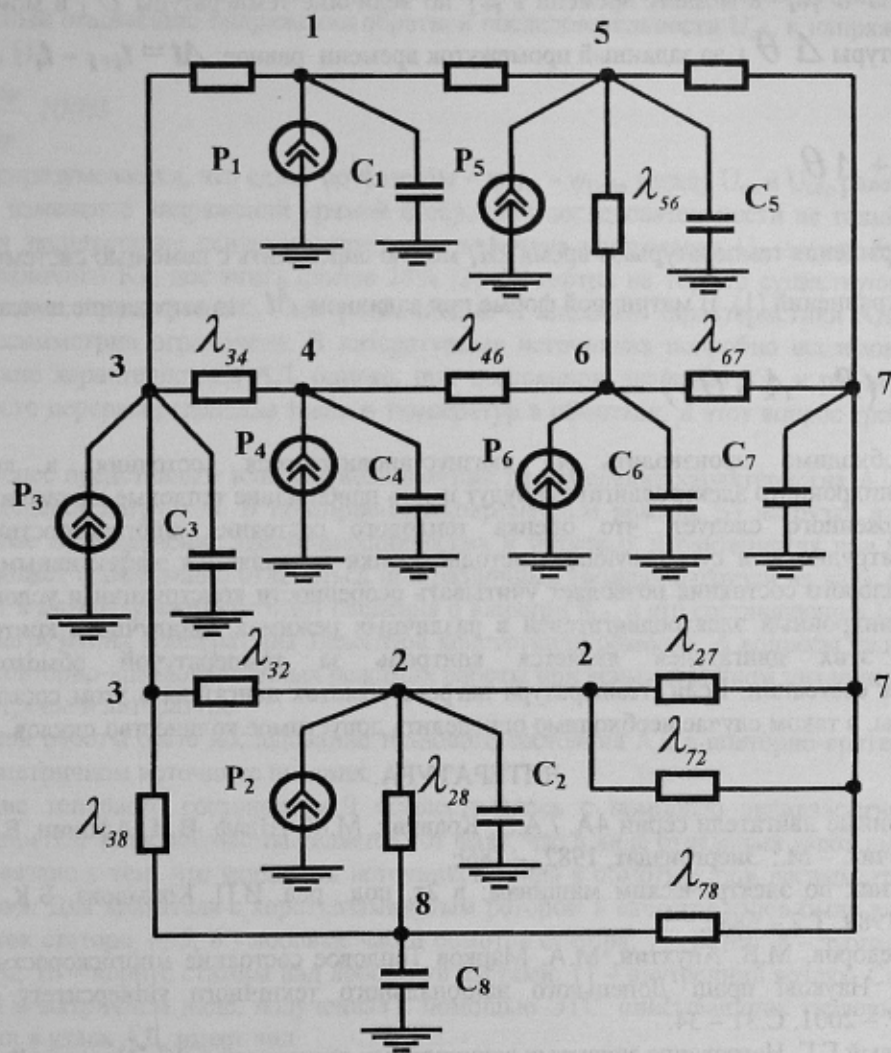


Рисунок 1 – Эквивалентная тепловая схема электродвигателя МАП – 221 – 4/12

Узлами данной схемы являются элементы конструкции (тел) двигателя, а именно: 1 и 4 – пазовые части обмоток статора, 5 и 6 – лобовые части обмоток статора, 3 – сердечник статора, 2 – ротор, 7 – внутренний воздух, 8 – корпус.

Тепловое состояние элементов конструкции многоскоростных асинхронных электродвигателей может быть описано системой дифференциальных уравнений, количество которых определяется числом узлов ЭТС.

Эта система в матричной форме имеет вид:

$$\frac{dP}{dt} + A \cdot \theta = P \quad (1)$$

где: θ - матрица – столбец превышений температур узлов ЭТС над температурой окружающей среды;

P – матрица – столбец источников тепла (потери в элементах конструкции двигателя);

A – матрица связи между элементами конструкции двигателя.

Пассивные параметры ЭТС могут отличаться на каждом интервале диаграммы нагрузок. Прежде всего это относится к величинам теплопроводности при различных значениях частоты вращения для двигателей самовентиляцией, что объясняется изменением условий теплоотдачи. Для некоторых модификаций многоскоростных асинхронных электродвигателей, не имеющих вентилятора внешнего обдува, функцию выполняют зубцы ротора. Изменение частоты вращения определяет скорость циркуляции внутреннего воздуха, что является причиной изменения величин тепловых проводимостей конструкции электродвигателя, что также приводит к изменению величин теплопроводностей внутри двигателя. Величины элементов матрицы потерь также определяются различными факторами: величинами нагрузок на интервалах, частотами вращения, схемами соединений статорных обмоток и др. В общем случае, параметры ЭТС должны быть заданы для каждого интервала диаграммы нагрузок.

Система дифференциальных уравнений может быть решена численными методами, рассчитывая температуру k -го тела θ_{i+1} в момент времени t_{i+1} по величине температуры θ_i в момент времени t_i и приращения температуры $\Delta \theta_i$ за заданный промежуток времени равнос: $\Delta t = t_{i+1} - t_i$

Тогда:

$$\theta_{i+1} = \theta_i + \Delta \theta_i \quad (2)$$

Величину приращения температуры за время Δt_i можно определить с помощью системы дифференциальных уравнений (1). В матричной форме при заданном Δt это выражение имеет вид:

$$\Delta \theta_i = \Delta t (P - A \cdot \theta_i) \quad (3)$$

Расчет необходимо производить до квазиустановившегося состояния, в котором обмотки многоскоростного асинхронного электродвигателя будут иметь наибольшие тепловые нагрузки.

Из вышеизложенного следует, что оценка теплового состояния многоскоростных асинхронных электродвигателей затруднена, а существующие методы оценки не являются эффективными. Предложенная методика оценки теплового состояния позволяет учитывать особенности конструкции и условий эксплуатации многоскоростных асинхронных электродвигателей в различных режимах. Наилучшим критерием надежной эксплуатации для этих двигателей является контроль за температурой обмоток двигателя в квазиустановившемся состоянии. Если, температура нагрева обмоток двигателя в этом состоянии, превышает допустимые величины, в таком случае необходимо определить допустимое количество циклов.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Асинхронные двигатели серии 4А. /А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская/. Под ред. А.Э. Кравчик. – М.: Энергоиздат, 1982. – 386с.
2. Справочник по электрическим машинам: в 2т. под ред. И.П. Копылова, Б.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. Т.2 – 688с.
3. М.М. Федоров, М.В. Апухтин, М.А. Марков Тепловое состояние многоскоростных асинхронных электродвигателей. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 28. – Донецьк: Дон НТУ – 2001. С.31 – 34.
4. Счастливый Г.Г. Нагревание закрытых асинхронных двигателей. – К.: Наукова Думка, 1966. –126с.