

При прочих равных условиях увеличение коэффициента теплопроводности приводит к возрастанию коэффициента теплоотдачи на три порядка, как видно из графика, представленного на рис. 2. Из данного анализа следует, что применение наножидкостей увеличивает интенсивность теплоотвода, тем самым увеличивая мощность отвода тепла.

#### Список использованных источников

1. Вдовин К. Н., Точилкин В. В., Ячиков И. М. Непрерывная разливка стали: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 540 с.
2. Неорганические наноматериалы / Э. Г. Раков. [Эл.идз.] М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 474 с.
3. Бровман М. Я. Усовершенствование систем охлаждения кристаллизаторов МНЛЗ // Сталь. 2014. № 9. С. 18-22.

УДК 621.313

Бакубаев Б. Т., Денисенко В. И.  
Уральский федеральный университет  
v.i.denisenko@urfu.ru, b.bakubaev@yandex.ru

## ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С АСИММЕТРИЧНЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ НАГРЕВА

**Аннотация.** В работе рассматриваются особенности конструкции асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом (АДАМ), особенности теплового расчета при нестационарных режимах нагрева. Применение АДАМ с неорганической изоляцией позволит увеличить срок службы двигателей в экстремальных условиях воздействия радиационных полей.

Коллективом кафедры электрических машин УрФУ совместно с ЗАО «Уралэлектромаш» осуществляется разработка опытного образца высоконадежного асинхронного двигателя с применением неорганической изоляции на основе керамических материалов для использования в экстремальных условиях воздействия радиационных полей и высоких температур, в которых срок службы серийных двигателей с органической изоляцией сокращается до (2 – 3) месяцев.

Применение керамической изоляции потребовало применения обмотки статора, имеющей простейшую форму катушек с минимальным изгибом провода при намотке, чтобы исключить возможность повреждения изоляции. Традиционная технология изготовления асинхронных двигателей с вьспными обмотками статора исключает возможность применения обмотки с керамической изоляцией. В этом отношении наиболее целесообразно использовать конструкцию асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом (АДАМ) [1].



Рис. 1. Статор опытного образца АДAM новой конструкции, разработанного в ЗАО «Уралэлектромаш»

АДАМ имеет сосредоточенную обмотку статора с укорочением, равным  $1/3$  полюсного деления (рис. 1). 3-х фазная обмотка не имеет перекрещивающихся лобовых частей. Сердечник статора состоит из шести модулей. Катушки статора наматываются непосредственно на сердечник модулей. Прямоугольная форма катушек АДAM не только обеспечивает относительную простоту их изготовления с контролируемой укладкой витков, а также способствует минимальному изгибу провода, чтобы исключить повреждение керамической изоляции.

Новая конструкция АДAM потребовала разработки методики теплового расчета как

для установившихся, так и для нестационарных режимов нагрева.

Тепловой расчет выполняется с помощью метода тепловых схем [2]. Данный метод основан на широком использовании тепловых сопротивлений, которые соединяются в тепловую сеть, имитирующую реальные пути передачи тепловых потоков в машине. АДAM разбивается на ряд элементов. Элементы конструкции, имеющие источники тепла, изображаются на тепловой схеме в предположении, что они являются сосредоточенными и соединяются с другими элементами посредством тепловых сопротивлений.

Для тепловой схемы установившегося режима система уравнений записывается в матричной форме и решается с помощью пакета прикладных программ по предварительно найденным значениям тепловых сопротивлений и источников тепла. В результате получаем средние превышения температур элементов (таблица) относительно окружающего воздуха, температура которого принята равной  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Расчетные данные средних превышений температур элементов для установившегося теплового режима АДAM

Лобовые части обмотки статора $\Theta_{\text{ср1}}$ , $^{\circ}\text{C}$	Пазовые части обмотки статора $\Theta_{\text{ср2}}$ , $^{\circ}\text{C}$	Тело зубца сердечника статора $\Theta_{\text{ср3}}$ , $^{\circ}\text{C}$	Спинка ст. в зоне замыкания зубца модуля $\Theta_{\text{ср4}}$ , $^{\circ}\text{C}$	Подш. Щиты $\Theta_{\text{ср5}}$ , $^{\circ}\text{C}$
61,3	61,6	61,7	53,9	54,3
Стержни к. з. и серд. ротора $\Theta_{\text{ср6}}$ , $^{\circ}\text{C}$	К. з. кольца обмотки ротора $\Theta_{\text{ср7}}$ , $^{\circ}\text{C}$	Корпус двигателя $\Theta_{\text{ср8}}$ , $^{\circ}\text{C}$	Спинка ст. в зоне замыкания паз. части обм. ст. $\Theta_{\text{ср9}}$ , $^{\circ}\text{C}$	Зубц. наколенчик $\Theta_{\text{ср10}}$ , $^{\circ}\text{C}$
74,9	71,1	45,0	51,0	65,4

Для расчета нестационарных процессов эквивалентная тепловая схема, разработанная для расчета установившегося теплового режима, дополняется [2] емкостями для каждого выделенного узла конструкции двигателя (рис. 2), величина которых определяется массой и удельной теплоемкостью материала соответствующего узла конструкции двигателя.

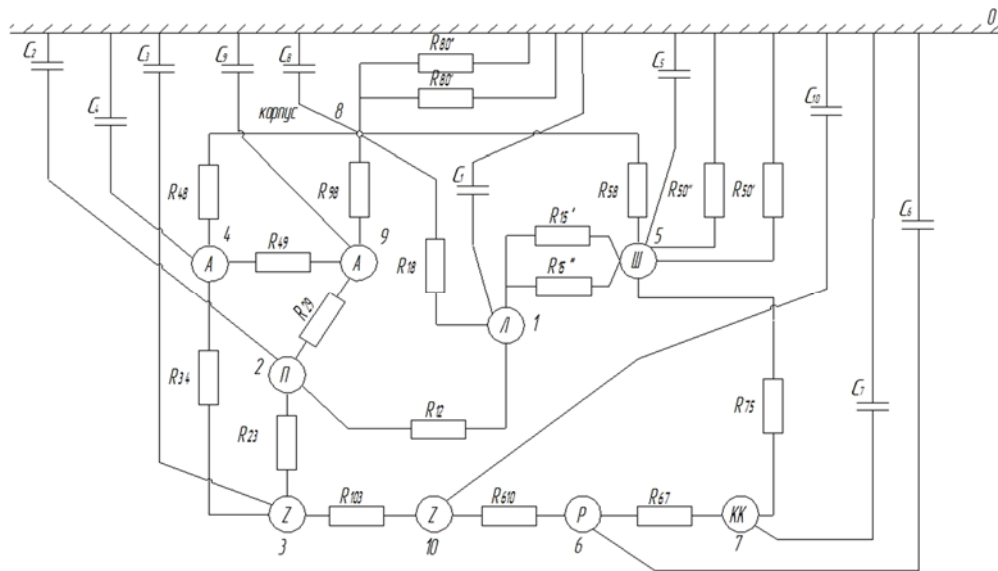


Рис. 2. Тепловая схема АДАМ для расчета нестационарных процессов

0 - окружающая среда; 1 - лобовые части обмотки статора; 2 - пазовая часть обмотки статора; 3 - тело зубца сердечника статора; 4 - спинка статора в зоне примыкания зубца модуля сердечника статора; 5 - подшипниковые щиты; 6 - стержни к. з. клетки и сердечник ротора; 7 - к. з. кольца обмотки ротора; 8 - корпус двигателя; 9 - спинка статора в зоне примыкания пазовой части обмотки статора; 10 - зубцовый наконечник.

Для разработанной схемы составлена система дифференциальных уравнений переходного теплового процесса для 10 элементов. Система решается с помощью широко применяемого численного метода расчета – метода Рунге – Кутты.

Для демонстрации возможности разработанной программы расчета нестационарного теплового режима на рис. 3 приведен график изменения температуры ряда элементов конструкции АДАМ при включении и отключении двигателя от сети.

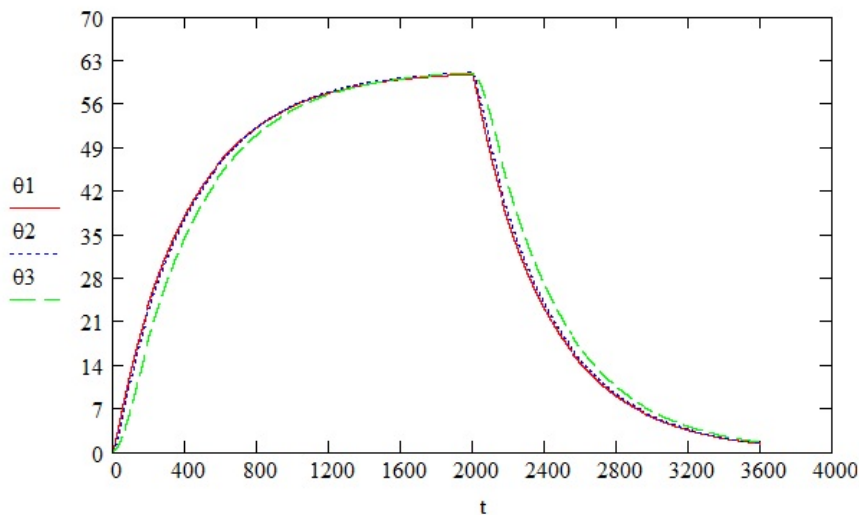


Рис. 3. График среднего превышения температур для: 1 – лобовых частей обмотки статора; 2 – пазовых частей обмотки статора; 3 – тела зубца сердечника статора.

Разработанная программа может стать базовой для расчета перегрева обмотки статора и других конструктивных узлов двигателя в повторно – кратковременном и других стандартных режимах работы асинхронных двигателей с новой неорганической изоляцией в экстремальных условиях радиационного излучения и высоких температур, в которых срок службы серийных асинхронных двигателей, имеющих органическую изоляцию, резко сокращается. В частности, это позволит исключить частую замену двигателей в технологических установках по переработке отходов атомной промышленности, что можно рассматривать как значительный ресурсосберегающий эффект.

#### Список использованных источников

1. Разработка высоконадежного асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом для особых условий эксплуатации / Б. Т. Бакубаев, В. И. Денисенко, Н. Е. Недзельский // Электротехника. Электротехнология. Энергетика. ЭЭЭ-2015: сборник научных трудов VII международной научной конференции молодых ученых 9-12 июня 2015 г. Новосибирск : НГТУ, 2015. С. 10-13. ISBN 978 5 7782 2664 7 (ч. 1).

2. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: учеб. для вузов по спец. «Электромеханика» / Г. А. Сипайлов, Д. И. Санников, В. А. Жадан. М. : Высш. шк., 1989. 239 с.

УДК 624.9

Баткова Е. В., Шмакова Л. А., Вальцева А. И.  
Уральский федеральный университет  
evb95@mail.ru

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены системы теплоснабжения стран Северной Европы, изложены основные принципы работы этих систем. Проанализирована российская система теплоснабжения, сделаны выводы.

В североевропейских странах централизованное теплоснабжение широко используется как важнейший источник теплоснабжения жилых домов, офисов и предприятий. В настоящее время энергетические предприятия (ТЭЦ, котельные, мусоросжигательные станции и др.) стран Северной Европы поставляют приблизительно 100 ТВт·ч в год теплоты для отопления и горячего водоснабжения. Это превышает 35 % рынка тепла для отопления и горячего водоснабжения в этих странах. Наиболее эффективным и прибыльным централизованное теплоснабжение оказывается в регионах с высоким удельным энергопотреблением. Для успешной работы системы централизованного теплоснабжения необходим как рынок сбыта, так и «дешевый местный источник энергии», которым может быть теплота, вырабатываемая вместе с электричеством (Дания и Финляндия), геотермальная энергия (Исландия), сбросное тепло мусоросжигательных заводов (Норвегия) или комбинация различных источников энергии (Швеция) [2].