

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ АВТОНОМНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДЫ MATLAB

А. Г. Капустин, Е. В. Балич

*Учреждение образования «Минский государственный  
высший авиационный колледж»,  
кафедра общих технических дисциплин*

В настоящее время при разработке и исследовании авиационных электрических машин возникают задачи, решение которых, как правило, связано с анализом нелинейных дифференциальных уравнений высоких порядков. Использование аналитических методов исследования для решения таких задач чрезвычайно трудоемко, а в ряде случаев и невозможно, поэтому применение современной вычислительной техники становится необходимым и актуальным [1], [3].

В работе представлены необходимые сведения об особенностях моделирования и исследования тепловых процессов синхронного генератора (СГ) типа ГТ30НЖЧ12 с жидкостной системой охлаждения на виртуальной лабораторной установке, показаны возможности среды MatLab при исследовании процессов нагрева и охлаждения СГ.

К числу ограничений, которые необходимо соблюдать при исследовании авиационных СГ, наряду с максимальными допустимыми механическими и электрическими напряжениями относятся предельные допустимые температуры активных частей СГ.

Известно, что при работе СГ выделяется теплота, представляющая собой потери энергии, которые возникают при взаимном превращении механической и электрической энергии. Тепловые потоки, образуясь внутри частей конструкции СГ, частично увеличивают их температуру (в неустановившихся режимах), частично путем теплопроводности в телах и теплообмена на их границах поступают в охлаждающие среды (хладагенты) и выносятся из машины [1].

При этом основные источники потерь в СГ – обмотки – оказываются отдаленными от хладагента слоями изоляционных материалов, материалами других элементов и т. п. Все эти промежуточные элементы создают тепловые сопротивления тепловому потоку от мест тепловыделения к поверхностям теплообмена с охлаждающей средой (хладагентом). Кроме того, в самих тепловыделяющих элементах тепло выделяется почти во всем объеме, поэтому активные элементы также создают тепловые сопротивления от внутренних частей к поверхностям. Сопротивление на пути теплового потока приводит к появлению температурных процессов с нарастанием температуры от поверхностей теплоотдачи к средним зонам тепловыделяющих элементов электрических машин [1], [3].

Задачей исследования процессов нагрева и охлаждения СГ на лабораторной установке являлась разработка методики расчета температур различных частей СГ при изменении его режимов работы и внешних условий. Указанная задача успешно решена с использованием ЭВМ и применением пакета программ Simulink&MatLab [2]. При этом эффективное применение ЭВМ достигнуто за счет формализации процессов нагрева и охлаждения частей СГ путем разработки тепловых схем замещения основных частей машины.

Данный подход использует понятие тепловых сопротивлений, которые рассчитываются по правилам для электрических цепей. Порядок исследования тепловых процессов СГ следующий: определение геометрических размеров, электрических потерь и других характеристик СГ; разработка схемы теплового замещения (ТЗ) и определение ее параметров; разработка математической модели тепловых процессов СГ; решение диф-

ференциальных уравнений математической модели тепловых процессов СГ; оценка результатов расчета на соответствие их заданию на проектирование.

При разработке математической модели тепловых процессов СГ с помощью тепловых схем замещения применялась электротепловая аналогия сопоставляемых электрических и тепловых величин [3].

В соответствии с разработанными тепловыми схемами замещения получены дифференциальные уравнения переходных тепловых процессов СГ. При составлении уравнений использовались метод узловых напряжений и электротепловая аналогия. Для снижения порядка уравнений определялась разность температуры отдельных частей СГ и температуры кипения ХА.

В итоге тепловой расчет СГ позволил представить картину распределения тепловых потоков внутри и на поверхности СГ типа ГТЗОНЖЧ12, выявить наиболее нагруженные в тепловом отношении части СГ, определить эффективность системы охлаждения.

Анализ результатов теплового моделирования показал, что максимальное превышение температуры основных конструктивных частей СГ над температурой кипения ХА для номинальной нагрузки составляет 28–30 °С.

Это говорит о том, что температурное поле СГ с жидкостной системой охлаждения является сравнительно равномерным и СГ уверенно работает длительное время при номинальной нагрузке в широком диапазоне изменения температур окружающей среды. Даже при длительных режимах работы нагрев активных частей СГ лишь приближается к пределу допустимых температур для электротехнических материалов, применяемых в генераторе ГТЗОНЖЧ12. Температура окружающей среды оказывает незначительное влияние на температуру активных частей СГ ввиду высокой эффективности системы охлаждения.

В заключение можно сказать, что применение данной виртуальной лабораторной установки в лабораторном практикуме по дисциплине «Электрические машины» позволяет: проводить анализ переходных тепловых процессов электрических машин; эффективно определять влияние изменения параметров СГ на тепловые процессы; определять область нормального функционирования СГ при различных системах охлаждения, изменении электрических нагрузок, изменении высоты и скорости полетов.

#### Литература

1. Балич, Е. В. Формализация тепловых расчетов синхронных генераторов при помощи тепловых схем замещения / Е. В. Балич, А. Г. Капустин // Совершенствование обеспечения полетов авиации : тез. докл. 3-й воен.-науч. конф. курсантов и молодых ученых / редкол.: А. А. Санько, С. А. Савостеев [и др.]. – Минск : МГВАК, 2013.
2. Лазарев, Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB : учеб. курс / Ю. Лазарев. – СПб. : Питер ; Киев : Издат. группа BHV, 2005.
3. Балич, Е. В. Исследование процессов нагревания и охлаждения синхронного генератора с использованием программы MATLAB 7.0.1 / Е. В. Балич, А. Г. Капустин // Актуал. вопр. науки и техники в сфере развития авиации : тез. докл. 3-й Междунар. науч.-техн. конф. – Минск : ВА РБ, 2013.