

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ АВИАЦИОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ АНАЛОГИИ И ТЕПЛОВЫХ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ

Е.В. Балич

Учреждение образования «Белорусская государственная академия авиации»

e-mail: balich1993@gmail.com

Summary. *Mathematical model of thermal processes is developed with considering of electrothermal analogy thermal and electrical quantities. The thermal equivalent schemes of stator and rotor are built. The researching of thermal processes with considering of development of mathematical model is realized with the help of M-file of MatLab program.*

The results of researching showed that this coding scheme allows to steadily work of generator in all rang of normal functioning of the aircraft.

Замыслом является разработка методики расчета температур различных частей авиационного генератора (статора, ротора) при изменении его режимов работы и внешних условий с целью представить картину распределения тепловых потоков внутри синхронного генератора типа ГТЗОНЖЧ12, выявить наиболее нагруженные в тепловом отношении части генератора и определить эффективность системы охлаждения.

При разработке тепловой схемы замещения основных частей генератора учитывалось, что основными источниками потерь в генераторе с жидкостной системой охлаждения являются:

- а) для статора: $P_{СТ}$ – потери в стали зубцов и цилиндрической части пакета статора; $P_{МЛ}$ – потери в лобовых частях обмотки якоря; $P_{МП}$ – потери в меди пазовых частей обмотки якоря;
- б) для ротора: $P_{МВЛ}$ – потери в меди лобовых частей обмотки возбуждения; $P_{МВА}$ – потери в меди пазовых частей обмотки возбуждения.

Эквивалентная тепловая схема замещения составлена, исходя из следующий рассуждений: тепловая схема замещения представлена в виде замкнутой электрической цепи с источниками токов, эквивалентных источникам тепла. Для учета различных значений температур хладагента у отдельных теплостоков они введены в схему в виде источников ЭДС. Преобразованная таким образом тепловая схема замещения машины с источниками токов и ЭДС наиболее полно отражает тепловые процессы в электрической машине, так как позволяет учесть возможные перераспределения тепловых потоков из-за влияния различных факторов. Такое представление тепловых схем замещения дает возможность применить к их анализу известные методы расчета электрических цепей.

При разработке математической модели тепловых процессов с помощью тепловых схем замещения применена электротепловая аналогия сопоставляемых величин.

После данных рассуждений составлена эквивалентная тепловая схема замещения генератора типа ГТ, содержащая тепловые проводимости соответствующих ветвей, источники потерь (представлены в виде идеальных источников тока, а температуры хладагента у теплостоков – в виде идеальных источников ЭДС).

В соответствии с разработанными эквивалентными тепловыми схемами замещения генератора составлены уравнения тепловых процессов для статора и ротора генератора (использовалась электротепловая аналогия и известный в электротехнике метод узловых напряжений). Уравнения тепловых процессов представлены в нормальной форме Коши, которая удобна и необходима для решения этой системы с помощью ЭВМ в среде программирования MatLab.

M-файл программы MatLab алгоритма расчета тепловых процессов генератора для нескольких режимов работы приведен ниже:

```
function f=anchor(t,y);
G(1)=8; G(2)=100; G(3)=1.4; G(4)=157; G(21)=14.2; G(23)=82;
V(1)=350; V(2)=350; V(3)=300; V(4)=350;
C(1)=110; C(2)=350; C(3)=350;
m(1)=3.76; m(2)=0.22; m(3)=0.38;
P(C)=146; P(7)=3796; P(8)=6750;
b=0.004;
A=G(1)+G(2)+G(21);
B=V(1)-V(2);
D=V(1)-V(2);
a=1+b*(V(3)-20);
M=G(21)+G(23)+G(3)-P(7)*b;
N=V(1)-V(3);
S=V(1)-V(3);
F=1+b*(V(4)-20);
U=G(4)+G(23)-P(8)*b;
Y=V(2)+V(4);
f=[(146-y(1)*A+G(21)*B+G(1)*D+y(2)*G(21)*m(1));
(P(7)*a-y(2)*M+G(23)*N+G(21)*S+y(1)*G(21)+y(3)*G(23))/(C(2)*m(2));
(P(8)*F-y(3)*U+G(23)*Y+G(23)*y(2)+G(23))/(C(3)*m(3))];
end
```

По результатам виртуальных исследований получены результаты моделирования установившихся и переходных тепловых процессов генератора ГТ30НЖЧ12, в соответствии с которыми построены графики тепловых нагрузок активных частей генератора.

Анализ результатов теплового моделирования подтверждает предварительную оценку теплового состояния активных частей генератора ГТ30НЖЧ12 и показывает, что максимальное превышение температуры основных частей статора над температурой кипения хладагента для номинального режима составляет 28 – 30 °С. Таким образом, температурное поле генератора с жидкостной системой охлаждения является сравнительно равномерным и генератор уверенно работает при длительных номинальных нагрузках в широком диапазоне изменения температур окружающей среды – от 20 °С до 100 °С.

Даже при длительных токах нагрузки $I = 1,5 I_n$ нагрев активных частей приближается, а при $I = 2 I_n$ лишь выходит на предел допустимых температур для электротехнических материалов, применяемых в генераторе ГТ30НЖЧ12 с жидкостной системой охлаждения.

Температура окружающей среды (отсека авиадвигателя) оказывает незначительное влияние на температуру активных частей генератора, ввиду высокой эффективности системы охлаждения и особенностей конструкции генератора ГТ30НЖЧ12.

Таким образом, система жидкостного охлаждения, применяемая в генераторе ГТ30НЖЧ12, удовлетворяет современным техническим требованиям и позволяет устойчиво работать генератору в области нормального функционирования воздушного судна.