ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXXIX, № 4, 1986 Серия технических наук

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Т. А. НАСЛЯН, Т. М. ПЭМЕНИ, Р. Е. АКОПЯН

АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ СТАТОРА МОЩНОГО ГИДРОГЕНЕРАТОРА МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Термические дефекты в гидрогенераторах (локальные перегревы, частичные или полные нарушения вентиляции и др.) являются факторами, ограничивающими допустимые нагрузки. В связи с этим особую актуальность приобретают непрерывный тепловой контроль статоров гидрогенераторов, своевременное выявление и раннее диагностирование аномальных тепловых режимов их эксплуатации.

В настоящее время разрабатываются устройства контроля перегрева зубцового слоя статора (с применением инфракрасного сканирования поверхности расточки, термохимические методы и др.), которые в отличие от системы штатного термоконтроля позволяют получить полное представление о тепловом состоянии поверхности активной стали статора. Однако для определения эксплуатационных требований к ним и обработки результатов, полученных с помощью этих устройств, необходимо исследование температурного поля зубцов статора гидрогенератора [1, 2].

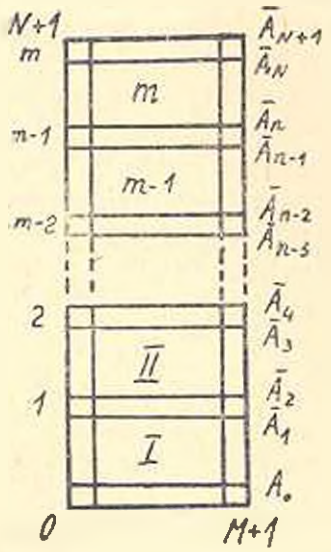

Рис. 1. Схема расчетной области.

Целью настоящей работы является оценка некоторых типовых термических дефектов в магнитопроводе статора на базе численного решения краевой задачи для уравнения теплопроводности, что позволяет учитывать влияние локальных нагревов, возникающих при истирании лаковой плёнки между листами шихтованной стали, на температурное поле пакета активной стали статора в пределах одного зубцового деления. Учитывая соображения симметрии и наличие радиального охлаждения, задачу можно свести к расчету теплового поля в прямоугольнике. Расчет выполнялся методом конечных разностей с использованием метода исключения с многократным отделением обла-

стей, применение которого обусловлено необходимостью выбора оптимальных размеров расчетной сетки [3, 4]. На рис. 1 показана расчетная область в виде прямоугольника, имеющего $N+2$ горизонтали и $M+2$ вертикали, разделенного на подобласти несколькими парами горизонталей. Для векторов $\overline{A}_1$ и $\overline{A}_2$ нижней пары горизонталей 1 можно написать:

$$\overline{A}_1 = B_1'\overline{A}' + B_1' A_0 + \overline{F}_1; \qquad \overline{A}_2 = B_2'\overline{A}' + B_2' A_0 + \overline{F}_2, \tag{1}$$

где $\overline{A}_i$ и $\overline{F}_i$ — M-мерные векторы искомых потенциалов и правых частей от источников поля; B_i — квадратные матрицы размерности $M \times M$. Коэффициенты матриц B_i легко получаются с помощью маршей по методу исключения от пары горизонталей 0 (рис. 1) к данной i-той горизонтали.

В соответствии с граничными условиями $A_0 = C_1\overline{A}'$ (C_1 — диагональная матрица), вместо (1) получаем:

$$\overline{A}_1 = B_1\overline{A}' + \overline{F}_1; \qquad A_2 = B_2\overline{A}' + F_2. \tag{2}$$

Из системы (2) получаем

$$\overline{A}_1 = D_1\overline{A}_2 + \overline{F}_1, \tag{3}$$

где $D_1 = B_1 B_2^{-1}$, $\overline{F} = \overline{F}_1 - D_1\overline{F}_2$.

Уравнение (2) позволяет отделить нижнюю подобласть I, поскольку вектор $\overline{A}_1$ выражается линейно через $\overline{A}_2$. Повторив эту процедуру, можно определить подобласть II и на верхней m-й паре получить:

$$\overline{A}_{N+1} = B_{n+1}\overline{A}_n + \overline{F}_{n+2}; \qquad \overline{A}_N = B_n\overline{A}_n + \overline{F}_n, \tag{4}$$

откуда с учетом граничных условий $\overline{A}_N = C_2 A_{N-1}$ определяем:

$$B_{n+1}'\overline{A}_n = \overline{F}_n'. \tag{5}$$

Решив систему (5), находим вектор $\overline{A}_n$ и по формуле (3) — вектор A_{n-1}. Зная потенциалы на паре горизонталей $m-1$, определяем потенциалы в двух верхних подобластях m и $m-1$ с помощью соответствующих маршей. Повторяя все вышеприведенные операции и передвигаясь сверху вниз, найдем поле в двух крайних нижних подобластях I и II. Аналогично можно определить тепловое поле в средних подобластях. Если требуется рассчитать поле во всем прямоугольнике, то после определения $\overline{A}_n$ и $\overline{A}_{n-1}$ можно найти неизвестные только в подобластях m и $m-1$. Дальнейшее движение вниз от пары горизонталей $m-1$ невозможно из-за накопления вычислительной погрешности, поэтому следующим этапом является повторение расчета сверху вниз с определением векторов $\overline{A}_1$ и $\overline{A}_2$. Если прямоугольник разделен на четыре подобласти, то на этом расчет заканчивается, а если нет, процесс продолжается с учетом того, что потенциалы $\overline{A}_{n-1}$ и $\overline{A}_2$ уже известны и явля-

ются граничными. Совершая марши снизу вверх и сверху вниз, можно укоротить прямоугольник еще на две подобласти и т. д. Возможно также совершить марши между горизонталями таким образом, чтобы матрица системы имела трехдиагональный вид. Сравнение методов исключения с многократным отделением областей и приведения к трехдиагональной матрице по числу операций и памяти ЭВМ показывает, что первый является наиболее быстрым и позволяет рассчитывать поле в областях с десятками тысяч узлов без обращения к внешней памяти.

На основании проведенного исследования можно отметить, что по средним температурам нельзя определить, произошло ли ухудшение условий теплоотвода или невыгодное перераспределение потерь. Однако засорение одного из радиально-вентиляционных каналов приводит к резкому изменению средних температур и неравномерности поля на торце и в некоторых случаях возможно отличить локальный нагрев в зубце от нарушения условий вентиляции путем измерения температур в двух крайних точках зубца. Частичные засорения в каналах средних пакетов не очень опасны для эксплуатационных качеств гидрогенератора.

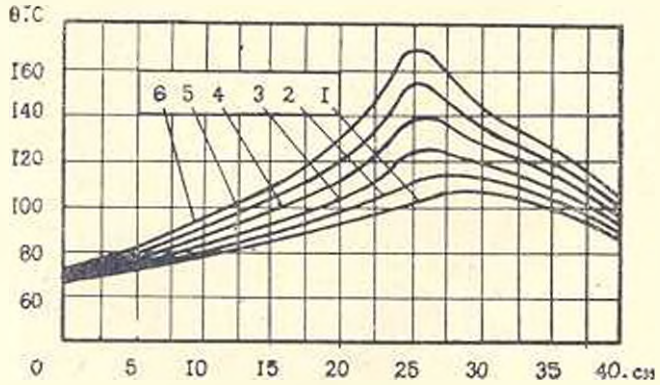

Рис. 2 Кривые превышений температур в статоре при наличии в нем локальных тепловыделений.

На рис. 2 показано распределение превышения температуры по центру расчетной области при серии локальных нагревов 2—6 для удельных потерь соответственно 6, 12, 18, 24, 30 ($\times 10^6$ $Вт/м^3$). Кривая 1 соответствует нормальным условиям теплообмена.

Проведенный анализ показывает, что в ряде случаев возможно получить обстоятельную информацию о тепловом состоянии статора гидрогенератора и его термических свойствах при различных условиях теплообмена, основываясь на одних только стационарных распределениях температуры, путем целенаправленного варьирования задаваемых исходных данных расчета.

ЕрПИ им. К. Маркса 10 XII 1984

Տ. Ա. ՆԱՍԼՅԱՆ, Տ. Մ. ՆԷՄԵՆԻ, Ռ. Ե. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

ՀՅՈՒՐՈԳՆԵՐԱՏՈՐԻ ՍՏԱՏՈՐԻ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԴԵՖԵԿՏՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՄԱԳՆԻՍԱՏԻԿԱԿԱՆ ՍԻՄԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ

Ամփոփում

Կատարված է ատամների թերթակապոցների ջերմատիճանային դաշտի եզրային պայմանների, կորուստների անհավասարաչափության և տեղական ջերմատաքացումների վերլուծությունը՝ հիդրոգեներատորի ստատորի ջերմային վիճակի ախտորոշող սարքերին ներկայացվող շահագործման պահանջները որոշելու համար։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Нэмени Т. М., Акопян Р. Е., Насян Т. А.* Оп[illegible] термических [illegible]йств зубцов гидрогенераторов.— Промышленность Армении, 1984, № 3, с. 44—47.
2. Диагностирование термических дефектов в магнитопроводах гидрогенераторов. / Т. А. Насян, Т. М. Нэмени, Р. Е. Акопян и др.—Дефектоскопия, 1986, № 1, с. 6—13.
3. *Карпов А. М., Нэмени Т. М.* Численный метод расчета магнитных полей с помощью исключения внутренних точек области.— Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1978, № 3, с. 160—165.
4. *Нэмени Т. М.* Расчет магнитного поля для целей диагностики методом исключения.— Промышленность Армении, 1984, № 10, с. 38—40.

3—717