

## ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПО ДЛИНЕ ОБМОТКИ ЯКОРЯ ЗАКРЫТОЙ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

М. Н. УЛЯНИЦКИЙ, В. В. САЛАМАТОВ

(Рекомендовано научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники.)

Якорь машины постоянного тока представляет собой систему тел с взаимной тепловой связью и различными условиями охлаждения. Из-за сложных граничных условий строгий аналитический расчет распределения температуры в обмотке якоря невозможен. Поэтому для упрощения задачи приняты следующие допущения:

1. Теплопроводностью пакета в аксиальном направлении пренебрегаем [1].
2. Температура по высоте паза и зубца принимается постоянной [2].
3. Распределение температуры по длине обмотки симметрично относительно середины пакета [2].
4. Теплоотвод по валу не учитывается.
5. За температуру окружающей среды принимается средняя температура корпуса.

В соответствии с указанными допущениями получаем расчетную схему, представленную на рис. 1. Расчет температурного поля в лобовой части обмотки сводится к решению дифференциального уравнения

$$\frac{d^2 \vartheta_{\text{л}}}{dx^2} - n^2 \vartheta_{\text{л}} + \frac{q_m}{\lambda_m f_m} = 0 \quad (1)$$

с учетом краевых условий:

$$\text{при } x = \frac{l}{2}; \quad \frac{d\vartheta_{\text{л}}}{dx} = 0, \quad \text{при } x = \frac{l_a}{2}; \quad \vartheta_{\text{л}} = \vartheta_0. \quad (2)$$

Интегрирование системы (1), (2) дает выражение распределения температуры по длине лобовой части:

$$\vartheta_{\text{л}} = C_1 e^{nx} + C_2 e^{-nx} + K, \quad (3)$$

где

$$C_1 = \frac{\vartheta_0 - K}{2 \operatorname{ch} n l_{\text{л}}} e^{-n \frac{l}{2}}; \quad C_2 = \frac{\vartheta_0 - K}{2 \operatorname{ch} n l_{\text{л}}} e^{n \frac{l}{2}};$$

$$n^2 = \frac{\Lambda_{\text{л}}}{\lambda_m f_m}; \quad \Lambda_{\text{л}} = \frac{\alpha u \lambda_{\text{л}}}{\lambda_{\text{л}} + \alpha \Delta}; \quad K = \frac{q_m}{\Lambda_{\text{л}}}.$$

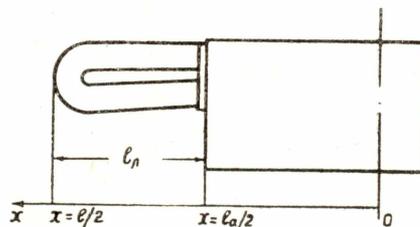


Рис. 1. Расчетная схема обмотки якоря.

Решение дифференциального уравнения распределения температуры по длине пазовой части обмотки

$$\frac{d^2\vartheta_n}{dx^2} - m^2\vartheta_n + A = 0 \quad (4)$$

с учетом граничных условий

$$\text{при } x = 0; \quad \frac{d\vartheta_n}{dx} = 0, \quad x = \frac{l_a}{2}; \quad \vartheta_n = \vartheta_0 \quad (5)$$

дает следующий результат:

$$\vartheta_n = \left( \vartheta_0 - \frac{A}{m^2} \right) \frac{\text{ch } mx}{\text{ch } m \frac{l_a}{2}} + \frac{A}{m^2}, \quad (6)$$

где

$$A = \frac{\kappa_c q_c + q_m}{\lambda_m \cdot f_m}; \quad \kappa_c = \frac{\lambda_{\Pi} \frac{\Pi}{\Delta_{\Pi}}}{\alpha b + \lambda_{\Pi} \frac{\Pi}{\Delta_{\Pi}}};$$

$$m^2 = \frac{\Lambda_{\Pi}}{\lambda_m f_m}; \quad \Lambda_{\Pi} = \kappa_c \alpha b.$$

Для определения  $\vartheta_0$  используем условие теплового контакта в сечении обмотки  $x = \frac{l_a}{2}$

$$\frac{d\vartheta_n}{dx} = \frac{d\vartheta_l}{dx} \quad (7)$$

Из выражений (3), (6), (7) имеем

$$\vartheta_0 = \frac{\frac{A}{m} \text{th } m \frac{l_{\Pi}}{2} + nK \text{th } nl_l}{m \text{th } m \frac{l_{\Pi}}{2} + n \text{th } nl_l} \quad (8)$$

Экспериментальная проверка приведенных соотношений показала достаточно близкое совпадение опытных и расчетных данных. Это дает основание рекомендовать использование зависимостей (3), (6), (8) в инженерных расчетах для приближенной оценки термической напряженности изоляции якоря закрытых машин постоянного тока.

#### Условные обозначения

$q_m, q_c$  — удельные потери в меди обмотки и стали якоря

$$q_m = \frac{P_m}{zl}; \quad q_c = \frac{P_c}{zl_a}.$$

$P_m, P_c$  — потери в меди обмотки и стали якоря;

$z$  — число пазов якоря;

$\alpha$  — коэффициент теплоотдачи поверхности якоря;

$f_m$  — площадь сечения меди паза;

$\Pi$  — периметр паза;

$u$  — ширина лобовой части секции

$$u = \frac{\pi D_{\text{л}}}{z};$$

$D_{\text{л}}$  — внешний диаметр лобовых соединений обмотки якоря;

$\Delta_{\text{п}}$  — толщина пазовой изоляции;

$\Delta_{\text{л}}$  — толщина изоляции под бондажем;

$b$  — ширина зубца по внешнему диаметру пакета с удвоенной высотой шлица;

$\lambda_{\text{м}}, \lambda_{\text{п}}, \lambda_{\text{л}}$  — теплопроводность меди, пазовой изоляции и изоляции под бондажем;

$l_{\text{л}}$  — половина длины лобовой части.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Постников. Проектирование электрических машин. ГИТЛ, УССР, 1960.

2. М. Н. Уляницкий. Анализ температурных полей машин постоянного тока серии П. Известия ТПИ, том 132, 1965.

---