

2. Установлено, что при осуществлении катодной защиты прямая зависимость между действующим на элемент напряжением, его поперечным сопротивлением и коррозионным током нару-

шается из-за большого влияния взаимных сопротивлений, особенно со стороны j -ых элементов с большими коррозионными токами I_j .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демин Ю.В., Демина Р.Ю., Горелов П.В. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах. Кн. 1. Теоретические основы / Под ред. д.т.н., проф. В.П. Горелова. — Новосибирск: НГАВТ, 1998. — 209 с.
2. Томашов Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов. — М.: Изд-во АН СССР, 1959. — 600 с.
3. Сафрошкина Л.Д., Гунгер Ю.Р., Демин Ю.В. Расчет коррозионных токов для модели заземляющей системы // Известия Томского политехнического университета. — 2004. — Т. 307. — № 3. — С. 109—113.

УДК 621.313.322-81:621.314:21.3.042.681

ВЛИЯНИЕ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА МАКСИМАЛЬНУЮ ТЕМПЕРАТУРУ НАЖИМНОЙ ПЛИТЫ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

В.С. Логинов, В.Е. Юхнов

Томский политехнический университет
E-mail: loginovvs@tpu.ru

Показано влияние продолжительности нагрева и параметров тепловыделения на максимальную температуру активного элемента при отсутствии отвода теплоты. Точность расчета температурного поля в активном элементе зависит от невязки дифференциального уравнения теплопроводности и числа Фурье. Установлен диапазон входных параметров, при которых сложная двумерная задача теплообмена сводится к одномерной.

В [1] для обоснования точности инженерного расчета нестационарного температурного поля в активном элементе конечных размеров было предложено ввести в практику критерии качества расчета. Они позволяют провести проверку результатов аналитического расчета на раннем этапе моделирования теплового процесса в конкретном элементе. Проверка состоит в подстановке расчетных значений в исходные дифференциальные уравнения и краевые условия исследуемой задачи. После этого этапа рекомендуется провести сравнение с опытными или другими надежными данными и приступить к самому процессу моделирования в широком диапазоне изменения параметров исходной задачи.

Целью данной работы является выяснение влияния входных параметров на тепловое состояние нажимной плиты турбогенератора. В таком активном элементе распределение удельных тепловых потерь подчиняется следующей зависимости

$$Po(X, Y, Fo) = Po_0 \cdot W_1(X) \cdot W_2(Y) \cdot \exp(-SFo), \quad (1)$$

где $W_1(X) = \exp(-NX)$, $W_2(Y) = 1 + MY + DY^2$. (2)

$$\theta(X, Y, Fo) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{T_1(\mu_n, \gamma_m, Fo) K_1(\mu_n, X) K_2(\gamma_m, Y)}{K_{11}(\mu_n) K_{22}(\gamma_m)}. \quad (3)$$

Здесь μ_n, γ_m — собственные числа. Они находят-ся из трансцендентных уравнений

$$ctg \mu = \frac{\mu^2 - Bi_1 Bi_2}{\mu(Bi_1 + Bi_2)}, \quad (4)$$

$$ctg \gamma R = \frac{\gamma^2 - Bi_3 Bi_4}{\gamma(Bi_3 + Bi_4)}. \quad (5)$$

$$K_1(\mu_n, X) = \mu_n \cos \mu_n X + Bi_2 \sin \mu_n X,$$

$$K_2(\gamma_m, Y) = \gamma_m \cos \gamma_m Y + Bi_4 \sin \gamma_m Y;$$

$$K_{11}(\mu_n) = \frac{1}{2} \left\{ \begin{aligned} & \mu_n^2 + Bi_2^2 + (\mu_n^2 - Bi_2^2) \times \\ & \times \frac{\sin 2\mu_n}{2\mu_n} + Bi_2(1 - \cos 2\mu_n) \end{aligned} \right\},$$

$$K_{22}(\gamma_m) = \frac{1}{2} \left\{ \begin{aligned} & (\gamma_m^2 + Bi_4^2)R + (\gamma_m^2 - Bi_4^2) \times \\ & \times \frac{\sin 2\gamma_m R}{2\gamma_m} + Bi_4(1 - \cos 2\gamma_m R) \end{aligned} \right\}.$$

$$T_1(\mu_n, \gamma_m, Fo) = Po_0 F_1(\mu_n) F_2(\gamma_m, R) F_3(\mu_n, \gamma_m, Fo),$$

где

$$F_1(\mu_n) = \frac{\mu_n^2}{(\mu_n^2 + N^2)} \left\{ \left[\left(1 - \frac{Bi_2 N}{\mu_n^2} \right) \sin \mu_n - \frac{1}{\mu_n} (N + Bi_2) \cos \mu_n \right] \times \exp(-N) + \frac{1}{\mu_n} (N + Bi_2) \right\};$$

$$F_2(\gamma_m, R) = \left(W_2(R) - \frac{2D}{\gamma_m} \right) \left(\sin \gamma_m R - \frac{Bi_4}{\gamma_m} \cos \gamma_m R \right) + \frac{1}{\gamma_m} (M + 2DR) \cdot K_2(\gamma_m, R) + \frac{Bi_4}{\gamma_m} \left(1 - \frac{2D}{\gamma_m} \right) - \frac{M}{\gamma_m};$$

$$W_2(R) = 1 + MR + DR^2;$$

$$K_2(\gamma_m, R) = \gamma_m \cos \gamma_m R + Bi_4 \sin \gamma_m R;$$

$$F_3(\mu_n, \gamma_m, Fo) = \frac{1}{\mu_n^2 + \gamma_m^2 - S} \left\{ \exp(-SFo) - \exp[-(\mu_n^2 + \gamma_m^2)Fo] \right\}$$

При отсутствии охлаждения $Bi_{1,2,3,4} \rightarrow 0$ собственные числа находятся из уравнений вида:

$$\sin \mu = 0; \mu_1 = 0, \mu_2 = \pi, \dots, \mu_n = (n-1)\pi;$$

$$\sin \gamma R = 0; \gamma_1 = 0, \gamma_2 = \pi / R, \dots, \gamma_m = (m-1)\pi / R.$$

Именно в этом случае наблюдается наибольшая погрешность расчетов [1].

Исследование температурных полей в нажимной плите турбогенератора при распределении удельных тепловых потерь, согласно (1), (2) и отсутствии охлаждения показало, что изменением температуры в направлении оси Y можно пренебречь. При этом оказывается, что на точность расчета максимальной температуры в активном элементе оказывает выбор числа членов k и p двойной суммы ряда (3) (табл. 1, 2).

Таблица 1. Влияние времени, тепловыделения и числа членов ряда (3) на максимальную температуру в нажимной плите турбогенератора

Fo	Po	i	j	θ	ξ	$\partial\theta/\partial Fo$	$\partial^2\theta/\partial X^2$	$\partial^2\theta/\partial Y^2$	$B(i,j) \cdot 10^{-3}$	
0,01	137,23	26	3	1,218	0,0002	112,34	-24,82	-0,068	-0,318	
			13	13	1,200	2,0459	110,70	-24,48	-0,005	-1,357
			4	29	1,201	1,9446	110,77	-24,49	-0,017	96,137
0,05	126,68	26	3	4,991	0,0002	81,15	-45,25	-0,276	-0,293	
0,10	114,62	26	3	8,513	0,0002	61,44	-52,72	-0,463	-0,266	

Примечания:

- 1) Исходные данные: $k=30, p=30; Po_0=112; Bi_{1,2,3,4}=0,001; R=7,5; S=N=2,0$ при $M=1/R, D=-1/R^2; \mu_i=\gamma_j=0,001; X=0,0; Y=0,5R$.
- 2) $\xi = \partial\theta/\partial Fo - (\partial^2\theta/\partial X^2 + \partial^2\theta/\partial Y^2 + Po(X, Y, Fo))$ — невязка в дифференциальном уравнении теплопроводности.
- 3) $B(i, j) = 1/(\mu_i^2 + \gamma_j^2 - S) \{-S \exp(-SFo) + (\mu_i^2 + \gamma_j^2) \exp[-(\mu_i^2 + \gamma_j^2)Fo]\}$

Таблица 2. Влияние условий охлаждения на температуру в нажимной плите турбогенератора (в точке $X=0,0; Y=0,01R$) при $Po_0=112; R=7,5; M=0, D=-1/R^2, S=N=2,0; Fo=0,1; Po(X, Y, Fo)=89,87$ — расчет по (1), (2)

Вариант	k	p	$Bi_{1,2,3,4}$	$\mu_i = \gamma_j R$	n	m	θ по (3)	ξ
1	10	10	0,00001	0,0001	1	1	5,543	39,8
2					1	1	-8,021	162,3
3					3	2	7,162	0,2587
					1	3	6,765	-0,0839
4	20	20	0,001	0,001	1	3	6,775	0,0239
5					3	2	7,151	-0,7876
					5	6	6,748	-0,0056*

Примечание: * — $i=5, j=6$

Сравнение вариантов 1 и 2 табл. 2 показывает, что не учет влияния входных параметров может привести к неправильному определению максимальной температуры (вариант 2, $\theta = -8,021$). Установлено наличие сочетания числа слагаемых (i, j) , при которых наблюдается минимальное значение невязки ξ по дифференциальному уравнению теплопроводности и экспоненциального множителя $B(i, j)$. В варианте 5 при $i=5, j=6$ (см. табл. 2) получено точное значение температуры $\theta=6,748$, соответствующее малой величине невязки относительно вариантов 3–4.

При изменении параметров $Fo \leq 0,05; 0,001 \leq Bi_{1,2,3,4} \leq 0,01; 0,075 \leq R \leq 7,5; 0,2 \leq S \leq 2,0; 0,2 \leq N \leq 2,0$ при $M=1/R, D=-1/R^2$ рекомендуется в инженерной практике использовать более простую аналитическую зависимость

$$\theta(X, Y, Fo) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{T_1(\mu_n, Y, Fo) K_1(\mu_n, X)}{K_{11}(\mu_n)}, \quad (6)$$

$$T(\mu_n, Y, Fo) = Po_0 F_1(\mu_n) W_2(Y) F(\mu_n, Fo),$$

$$F(\mu_n, Fo) = \frac{1}{(\mu_n^2 - S)} [\exp(-SFo) - \exp(-\mu_n^2 Fo)].$$

На рисунке показано изменение температуры в направлении оси X , из которого видно, что максимальное отклонение (до 5 %) температур, вычисленных по (3) и (6), отличаются на поверхности активного элемента. Во внутренних точках нажимной плиты это различие температур отсутствует. Расчет проведен на основе входных параметров: симметричные условия охлаждения $Bi=0,01; Fo=0,001; R=0,075; M=1/R, D=-1/R^2; Po_0=112, Y=0,5R; S=N=2,0$.

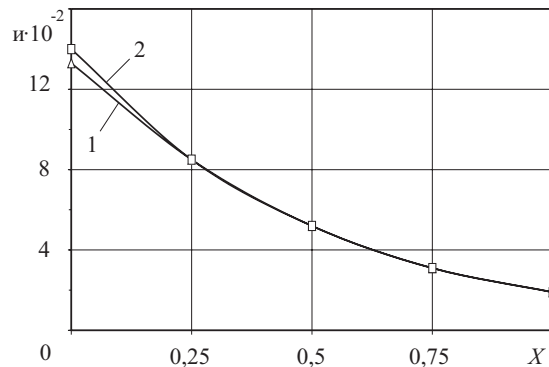


Рисунок. Расчет температуры в нажимной плите турбогенератора: 1) по ур. (3); 2) по ур. (6)

Таким образом, при тепловом расчете активного элемента электрической машины рекомендуется учитывать влияние входных параметров (геометрические размеры, электротеплофизические свойства, условия охлаждения, распределение внутренних источников теплоты) на точность определения максимальной температуры. Она существенно зависит от качества аналитического расчета, определяемого значениями невязки дифференциального уравнения теплопроводности и числа Фурье.

Обозначения

$\theta(X, Y, Fo) = (T(x, y, \tau) - T_{ж}) / T_m$ — безразмерная температура; $T(x, y, \tau), T_{ж}, T_m$ — соответствующие температуры, К; $Po(X, Y, Fo) = q(x, y, \tau) \cdot b^2 / (\lambda_x T_m)$ — число Померанцева; N, D, M, S — коэффициенты функций распределения, учитывающие неравномерность внутренних источников тепла; $Bi_{1,2} = \alpha_{1,2} \cdot b / \lambda_x$, $Bi_{3,4} = \alpha_{3,4} \cdot b / \sqrt{\lambda_x \lambda_y}$ — число Био; $X = x/b, Y = (\lambda_x / \lambda_y)^{1/2} y/b, R = (\lambda_x / \lambda_y)^{1/2} H/b$ — безразмерные координаты; b, H — геометрические размеры, м; λ_x / λ_y — коэффициенты теплопроводности, Вт/(м·К); $\alpha_{1,2,3,4}$ — коэффициент теплообмена на соответствующей охлажда-

емой поверхности, Вт/(м²·К); $Fo = a\tau/b^2$ – число Фурье; k, p – принятое ограниченное число членов каждого ряда при расчете конкретного варианта рассматриваемой задачи; i, j – число членов ряда при ко-

торых наблюдается минимальная невязка в уравнении теплопроводности. Индексы: ж – охлаждающая среда; м – масштаб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логинов В.С., Дорохов А.Р. Критерии качества аналитического расчета нестационарного температурного поля активного

электромагнита // Инженерно- физический журнал. – 2002. – Т. 75. – № 2. – С. 148–151.

УДК 622.86:622.26.004.5

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ

Т.В. Дёмина

Карагандинский государственный технический университет.
E-mail: dentalia@mail.ru

Произведен расчет коэффициента производственной безопасности, который складывается из коэффициента исполнительской деятельности работников, коэффициента технической безопасности машин и установок технологического цикла и степени соответствия проектных решений конкретным условиям. При этом установлено, что уровень безопасности можно повысить за счет применения разработанных прогрессивных технологических решений для условий высокопроизводительной отработки угольных пластов.

Введение

На шахтах Угольного департамента ОАО "Испат-Кармет" продолжается процесс интенсивной реструктуризации и оптимизации шахтного фонда. В условиях концентрации горных работ и использования высокопроизводительной горной техники, а также прогрессивных технологических решений успешно внедряется отработка шахтных полей по принципу "шахта-лава" или "шахта-пласт". Наряду с повышением интенсивности выполнения процессов очистной выемки, ухудшением горно-геологических условий и наличием высокого объема ручных немеханизированных работ необходимо обеспечение безопасных условий труда и соблюдение санитарно-гигиенических норм. Соблюдение техники безопасности важно для снижения уровня производственного травматизма. В этих условиях вопросам безопасности уделяется повышенное внимание.

Существующая законодательная база Республики Казахстан и международные соглашения на основе Конвенции № 148, № 155 Международной организации труда требуют обеспечения работодателем безопасных условий труда. Для оценки выполнения на предприятии требований законодательства по условиям труда необходимо производить качественную и количественную оценку безопасности на предприятии.

Постановка вопроса

Для количественной оценки применения технологических решений в теории и практике горного

производства существует ограниченное количество методик. Одна из известных [1], заключается в применении вероятностных зависимостей. Зависимость вероятности (P_m) несчастного случая от факторов, обусловленных технологией, описывается формулой:

$$P_m = 1 - e^{-\lambda \cdot t_k},$$

где λ – параметр распределения, характеризующий интенсивность несчастных случаев за анализируемый период (t_k).

Вероятность безопасной работы (P_0) в течение срока ресурса техники (t_m) рассчитывается по формуле:

$$P_0 = (1 - P_m) \cdot t_m / t_k,$$

Годовой социально-экономический эффект (Ξ) в результате применения нового варианта технического решения на улучшение i -ого социального фактора определяется по формуле:

$$\Xi_i = (1 - \gamma_i) \frac{R_{Ri}}{K_{Ri}} K_{mi},$$

где R_{Ri} – приведенные годовые затраты, необходимые для достижения i -ого социального результата в базовом варианте; λ_i – коэффициент, характеризующий соотношение удельных затрат, необходимых для достижения единицы i -ого социального результата, доли единицы; K_{Ri} и K_{mi} – соответственно фактическое и нормативное значение i -ого социального фактора, натуральные единицы.

Приведенный методический подход дает возможность определять уровень безопасности технологических схем в зависимости от производственных