

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЭФФЕКТА ВУЛКАНИЗАЦИИ, ПОЛУЧАЕМОГО ОБОЛОЧКОЙ КАБЕЛЯ В ОХЛАЖДАЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ

А. А. ТАТАРНИКОВ

(Представлена кафедрой АТППП)

Кабели с резиновой оболочкой, изготовленные на агрегатах непрерывной вулканизации, после вулканизационной трубы попадают в охлаждающее устройство. Основным назначением охлаждающего устройства является охлаждение оболочки кабеля после вулканизации с целью придания ей механической твердости, необходимой для намотки кабеля без повреждений на приемный барабан.

Однако в период охлаждения внутренние слои оболочки кабеля дополнительно довулканизовываются. Этот процесс довулканизации внутренних слоев оболочки кабеля можно охарактеризовать величиной эффекта вулканизации ΔE_{ox} , равной [1].

$$\Delta E_{ox} = \int_0^{\tau_{ox}} K \frac{t(\tau)_{ox} - t_b}{10} \cdot d\tau, \quad (1)$$

где $t(\tau)_{ox}$ — текущее значение температуры оболочки кабеля в соответствующем слое;

t_b — температура вулканизации резиновых образцов в лабораторных условиях;

$K = 2$ — температурный коэффициент вулканизации;

τ_{ox} — время нахождения кабеля в охлаждающем устройстве.

Общая величина эффекта вулканизации, полученного в расчетной точке оболочки кабеля, будет равна

$$E_a = E_\tau + \Delta E_{ox}, \quad (2)$$

где E_a — заданная величина эффекта вулканизации в расчетной точке оболочки кабеля;

E_τ — величина эффекта вулканизации, полученного оболочкой в вулканизационной трубе.

Из (2) следует, что за счет величины ΔE_{ox} можно уменьшить E_τ , а тем самым сократить время нахождения кабеля в вулканизационной трубе, т. е. повысить производительность агрегата.

Для определения ΔE_{ox} в первом приближении примем, что в вулканизационной трубе вулканизируется однородный резиновый цилиндр. При входе в охлаждающее устройство распределение температуры по сечению цилиндра параболическое.

Будем считать, что охлаждение происходит при граничных условиях первого рода, т. е. температура поверхности оболочки кабеля равняется температуре охлаждающей воды $t_c = \text{const}$.

Скорость движения кабеля считаем $V_k = \text{const}$. В этом случае решение для охлаждения цилиндра будет иметь вид [2].

$$t(r, \tau) - t_c = (t_n - t_c) \sum_{n=1}^{\infty} A_n I_0 \left(\mu_n \cdot \frac{r}{R} \right) \exp(-\mu_n^2 \cdot \text{Fo}_{ox}) - \\ - 4(t_n - t_u) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{\mu_n^2} \cdot I_0 \left(\mu_n \frac{r}{R} \right) \exp(-\mu_n^2 \cdot \text{Fo}_{ox}), \quad (3)$$

где t_n — температура поверхности оболочки кабеля в вулканизационной трубе, равная температуре греющего насыщенного пара;

t_u — температура в центре резинового цилиндра в момент входа его в охлаждающее устройство.

Уравнение (3) состоит из двух частей. Первая часть (3) характеризует охлаждение однородного цилиндра для равномерного первоначального распределения температуры по сечению, равной t_n . Вторая часть (3) учитывает начальное неравномерное распределение температуры в цилиндре в начальный период охлаждения.

Величина температуры в центре кабеля t_u зависит от времени нахождения кабеля в вулканизационной трубе t_n и начального распределения температуры цилиндра t_u , поступающего в вулканизационную трубу.

Для значений $\text{Fo}_v^k = 0,3$ и выше значение t_u можно определить по формуле

$$t_u = t_n - (t_n - t_u) \frac{2}{\mu_1 I_1(\mu_1)} \cdot \exp(-\mu_1^2 \cdot \text{Fo}_v^k), \quad (4)$$

где t_u — начальная температура по сечению кабеля;

Fo_v^k — значение критерия Фурье для времени нахождения кабеля в вулканизационной трубе.

Подставим (4) в (3) и, заменяя постоянные их числовыми значениями, получим

$$t(r, \tau) - t_c = (t_n - t_c) \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot I_0 \left(\mu_n \cdot \frac{r}{R} \right) \exp(-\mu_n^2 \cdot \text{Fo}_{ox}) - 6,4(t_n - t_u) \times \\ \times \exp(-5,76 \cdot \text{Fo}_v^k) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{\mu_n^2} \cdot I_0 \left(\mu_n \cdot \frac{r}{R} \right) \exp(-\mu_n^2 \cdot \text{Fo}_{ox}). \quad (4')$$

Величину ΔE_{ox} , определенную интегралом (1), можно после преобразований [2] привести к безразмерной величине эффекта вулканизации, определяемой интегралом.

$$\Delta E_{ox}^a = \Delta E \frac{a}{R^2} = K^{-\frac{t_b - t_c}{10}} \cdot \int_0^{\text{Fo}_{ox}} (K^{\Theta_1})^{\frac{\Delta t}{10}} \cdot d\text{Fo}, \quad (5)$$

где $\Theta_1 = \frac{t(r, \tau) - t_c}{t_n - t_u}$ определяется из (4').

ΔE_{ox}^a — безразмерное значение величины эффекта в охлаждающем устройстве.

Представим Θ_1 в виде

$$\Theta_1 = \alpha \Theta - \Delta \Theta, \quad (6)$$

где $\alpha = \frac{t_n - t_c}{t_n - t_u}$.

Θ — величина относительной температуры при охлаждении бесконечного цилиндра с равномерно распределенной начальной температурой и граничными условиями 1-го рода.

$\Delta\Theta$ — второй член в уравнении (3), деленный на $t_n - t_{\text{н}}$; $\Delta t = t_n - t_{\text{н}}$. Подставляя (6) в (5), получим

$$\Delta E_{ox}^a = K^{-\frac{t_b - t_c}{10}} \cdot \int_0^{Fo_{ox}} (K^{\Theta})^{\left(x - \frac{\Delta\Theta}{\Theta}\right) \frac{\Delta t}{10}} \cdot d\tau. \quad (7)$$

Процесс вулканизации оболочки кабеля в охлаждающем устройстве заканчивается за $Fo_{ox} = 0,02 - 0,08$. Поэтому значение $\frac{\Delta\Theta}{\Theta}$ на этом интервале Fo_{ox} можно принять величиной постоянной и равной $\left(\frac{\Delta\Theta}{\Theta}\right)_{Fo_{ox}0}$. При значении Θ из (4') интеграл аналитически вычислить не представляется возможным. Но если на участке изменения $Fo_{ox} = 0,02 - 0,08$ кривую охлаждения представить в виде прямой (рис. 1),

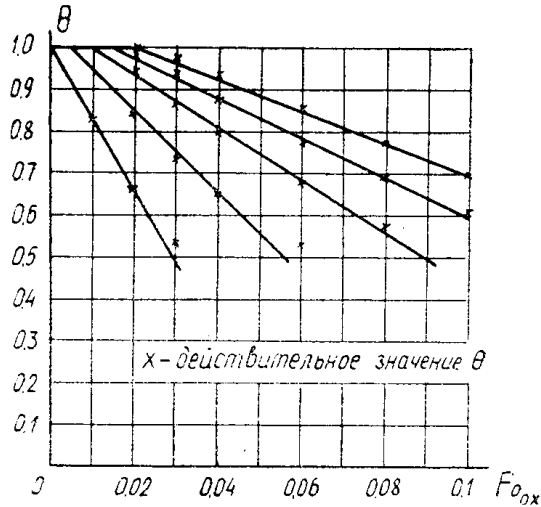


Рис. 1. Аппроксимация кривых охлаждения бесконечно однородного цилиндра на интервале $Fo_{ox} = 0,02 - 0,1$

то этот интеграл может быть вычислен. Из рис. 1 кривая охлаждения может быть представлена в виде

$$\Theta = 1 - a(Fo - Fo_0), \quad (8)$$

где a — тангенс угла наклона прямой;

Fo_0 — значение критерия Fo , при котором значение $\Theta = 1$.

Причем считаем, что при $Fo < Fo_0$ $a(Fo - Fo_0) = 0$. Подставляя Θ из (8) в (5) и интегрируя, окончательно получим после некоторых преобразований аналитическое выражение для ΔE_{ox}^a .

$$\begin{aligned} \Delta E_{ox}^a = K^{\left(\frac{t_n - t_b}{10} - \frac{\Delta t}{10} \cdot \frac{\Delta\Theta}{\Theta}\right)} \cdot \left\{ Fo_0 + \frac{10}{a \Delta t \left(x - \frac{\Delta\Theta}{\Theta}\right) \ln K} \left[1 - \exp \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \left[-a \cdot \frac{\Delta t}{10} \left(x - \frac{\Delta\Theta}{\Theta}\right) \ln K \cdot (Fo - Fo_0) \right] \right] \right\}. \quad (9) \end{aligned}$$

Для $FO_{ox} \geq 0,1$ выражение (9) упростится и будет иметь вид

$$\Delta E_{ox}^a \approx K \cdot \left(\frac{t_n - t_b}{10} - \frac{\Delta \theta}{\theta} \right) \left[FO_0 + \frac{10}{\ln K \cdot a \cdot \Delta t \left(\alpha - \frac{\Delta \theta}{\theta} \right)} \right]. \quad (10)$$

На рис. 2 даны графики для определения значений, a и FO_0 — функции $\frac{r}{R}$.

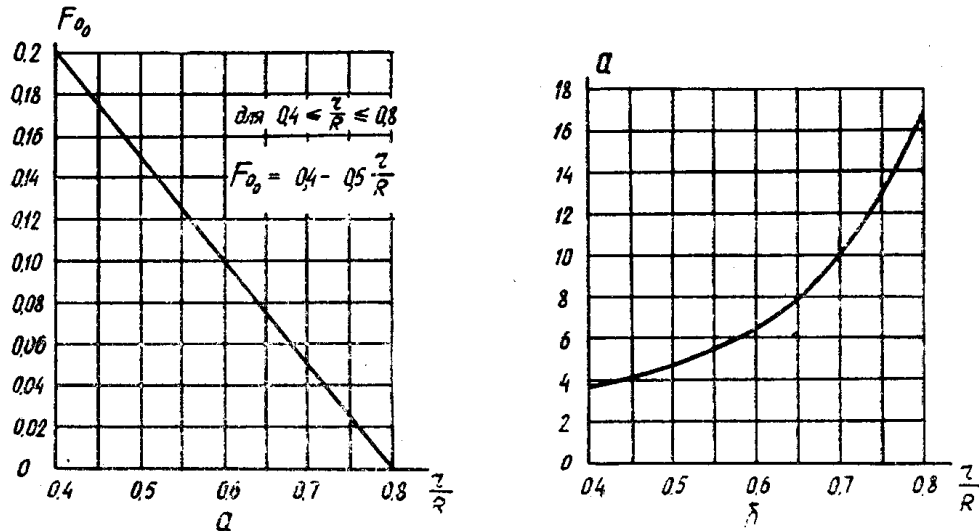


Рис. 2. Графики для определения коэффициентов a и FO_0 в уравнении (9) и (10); а) FO_0 , б) a

Выводы

Полученная зависимость для ΔE_{ox}^a позволяет:

1. Количественно определить величину ΔE_{ox} при различных режимах работы агрегата.
2. Провести анализ влияния различных факторов на величину ΔE_{ox} .
3. Оценить влияние вулканизации оболочки кабеля в охлаждающем устройстве на производительность агрегата.
4. Выбрать правильно температуру охлаждающей воды, при которой будет наиболее равномерная вулканизация оболочки кабеля по ее сечению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Ф. Кошелев, Н. С. Климов. Общая технология резины, М., ГНТИХЛ, стр. 400, 1958.
2. А. А. Татарников. Расчет времени вулканизации проводов и кабелей с помощью номограмм. Сборник материалов 11-го отраслевого научно-технического совещания «Усовершенствование производства проводов и кабелей с резиновой изоляцией», стр. 209, 1964.