

Гайнутдинова А.М.

студент

1 курс магистратуры, институт «Электроэнергетики и электроники»

Казанский государственный энергетический университет

Россия, г. Казань

Ихсанова А.И.

студент

1 курс магистратуры, институт «Электроэнергетики и электроники»

Казанский государственный энергетический университет

Россия, г. Казань

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ В СИП-3

***Аннотация:** Статья посвящена изучению самонесущих изолированных проводов. Составляется математическая модель расчета потерь мощности и расчета температуры в СИП. Исследуется распределение температуры по сечению токоведущей жилы.*

***Ключевые слова:** математическая модель, закон, провод, мощность, температура.*

***Annotation:** The article is devoted to the study of self-supporting insulated wires. A computational mathematical model for calculating losses and design temperatures in SIW. The investigated distribution of temperature over the section of the current-carrying vein.*

***Key words:** mathematical model, law, wire, power, temperature.*

Ток, протекаемый по проводнику, выполняет работу над преодолением сопротивления проводника. Выполняя эту работу, выделяется тепло за счет сталкивающихся свободных электронов с атомами и молекулами. Тепло, выделенное при прохождении тока по проводу определяется законом Джоуля-Ленца [3].

$$Q = I^2 \cdot R \quad (1)$$

где, $Q = I^2 \cdot R$ - сила тока; $Q = I^2 \cdot R$ - электрическое сопротивление проводника.

Если ток низкой частот, то тепло выделяется по всему диаметру проводника. Это условие вытекает из-за пренебрежения поверхностного эффекта и эффекта близости.

$$I_v = \frac{1}{l \cdot F} \cdot I^2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{F} = \frac{I^2}{F^2} \cdot \rho \quad (2)$$

где F - площадь поперечного сечения проводника; l - длина проводника; ρ - удельное сопротивление проводника.

Рассмотрим модель провода – цилиндр бесконечной длины. r_1 и r_2 - радиусы токоведущей жилы и изоляции соответственно; $\theta_{пр}$ и $\theta_{окр}$ - температура токоведущей жилы и окружающей среды; $\lambda_{пр}$, $\lambda_{из}$, $\lambda_{окр}$ - коэффициенты теплопроводности токоведущей жилы, изоляции и окружающей среды.

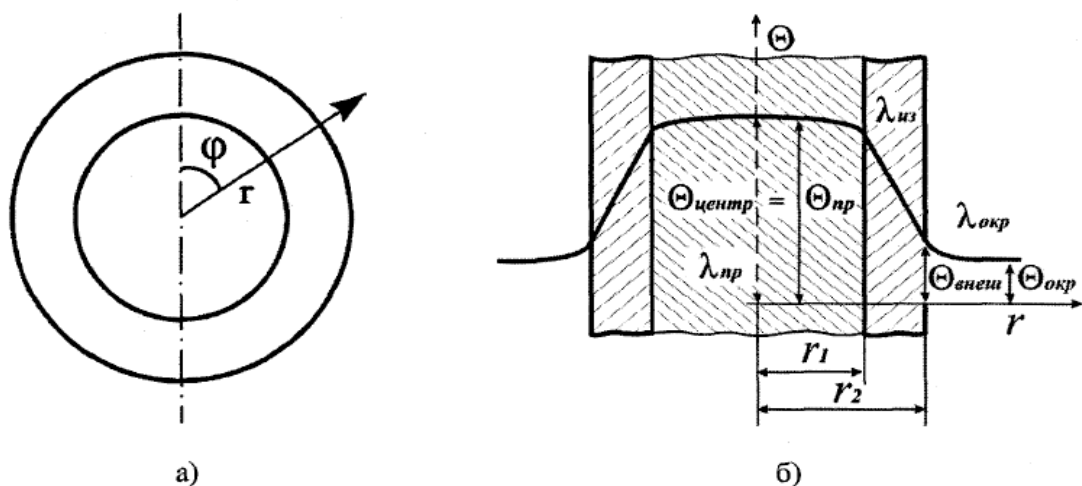


Рисунок 1. Жила, проводящая ток СИП:

- а) токоведущая жила СИП с изоляцией в полярной системе координат,**
б) распределение температуры в проводнике с изоляцией.

Исходными данными являются температура окружающей среды $\theta_{окр} = const$ и коэффициент теплоотдачи α . Оба этих условий постоянные величины. Если эти условия выполняются, то температура по всей поверхности одинакова.

Уравнение теплопроводности в стационарном режиме в полярной системе координат имеет вид:

$$\frac{d^2\theta}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{d\theta}{dr} + \frac{q_v}{\lambda} = 0 \quad (3)$$

Граничные условия:

$$\text{при } r = 0 \quad \left(\frac{d\theta}{dr} \right) = 0$$

$$\text{при } r = r_1 \quad \theta = \theta_{\text{внеш.ж.}}$$

где λ - коэффициент теплопроводности;

$\theta_{\text{внеш.ж.}}$ - температура на поверхности жилы провода;

Проинтегрированная форма уравнения имеет вид:

$$u + \frac{1}{r} \cdot \frac{q_v \cdot r}{2\lambda} = \frac{C}{r} \quad \text{или} \quad \frac{d\theta}{dr} \cdot \frac{q_v \cdot r}{2\lambda} = \frac{C_1}{r} \quad (4)$$

При условии замены $\frac{d\theta}{dr} = u$

$$\frac{du}{dr} + \frac{u}{r} + \frac{q_v}{\lambda} = 0 \quad \text{или} \quad r \cdot du + u \cdot dr + \frac{q_v}{\lambda} r dr = 0 \quad (5)$$

Интегрировав второй раз, получается:

$$\theta = -\frac{q_v \cdot r}{4\lambda} + C_1 \cdot \ln r + C_2 \quad (6)$$

C_1 получается из граничных условий $r = 0$ при $\left(\frac{d\theta}{dr}\right) = 0$. Из этого выходит, что

$C_1 = 0$. При подставлении C_1 в уравнение $\theta = -\frac{q_v \cdot r}{4\lambda} + C_1 \cdot \ln r + C_2$ находим C_2

$$-\frac{q_v \cdot r}{4\lambda} + C_2 = \theta_{\text{внеш.ж.}} \text{ или } C_2 = \theta_{\text{внеш.ж.}} + \frac{q_v \cdot r}{4\lambda}.$$

Подставляя C_1 и C_2 ,

$$\theta = \theta_{\text{внеш.ж.}} + \frac{q_v \cdot (r_1^2 - r^2)}{4\lambda} \quad (7)$$

Обозначим

$$\theta_{(r=0)} = \theta_{\text{центр}} = \theta_{\text{внеш.ж.}} + \frac{q_v \cdot r_1^2}{4\lambda} \quad (8)$$

При таких условиях перепад температур от центра к поверхности провода и средний градиент температуры равны:

$$\Delta\theta = \frac{q_v \cdot r_1^2}{4\lambda}$$

$$\left(\frac{d\theta}{dr}\right)_{\text{cp}} = \frac{\Delta\theta}{r_1} = \frac{q_v \cdot r_1}{4\lambda}$$

Рассмотрим СИП-3 с сечением 240 мм² с допустимым током 625 А.

$$r_1 = \sqrt{\frac{F}{\pi}} = \sqrt{\frac{240}{\pi}} = 8,74 = 0,00874 \text{ м};$$

$$q_v = \frac{1}{l \cdot F} \cdot I^2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{F} = I^2 \cdot \frac{\rho}{F^2} = \frac{625^2 \cdot 2,8 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 0,004(273 + 90 - 293))}{(240 \cdot 10^{-6})^2} = 237739 \text{ Вт/м}^3;$$

$$\Delta\theta = \frac{q_v \cdot r_1^2}{4\lambda} = \frac{237739 \cdot 0,00874^2}{4 \cdot 209} = 0,022^\circ \text{ С}$$

$$\left(\frac{d\theta}{dr}\right)_{\text{cp}} = \frac{\Delta\theta}{r_1} = \frac{0,022}{0,00874} = 2,52^\circ \text{ С/м}.$$

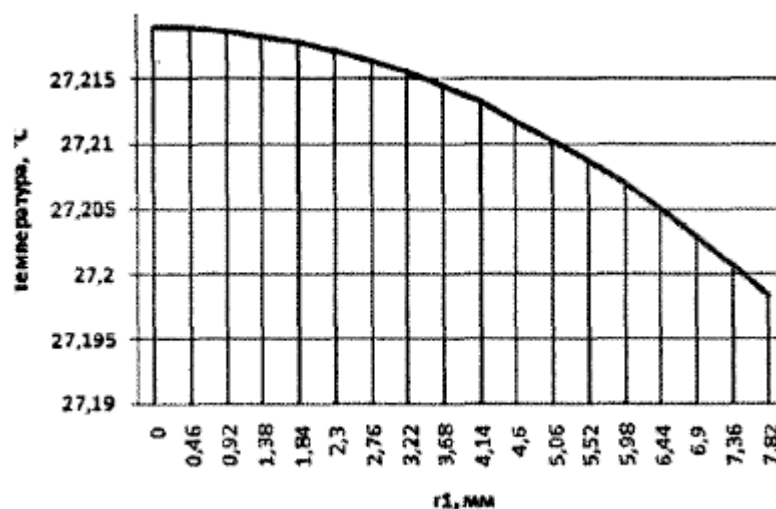


Рисунок 2. Распределение температуры по сечению токоведущей жилы

Расчеты помогут построить график распределение температуры в токоведущей жиле провода вдоль радиуса при температуре окружающей среды 20°C (293°K). По графику можно сделать вывод, что перепад и градиент температуры малы. Следовательно, во всех точках сечения температуру провода можно считать одинаковой [4].

В результате получившая математическая модель, позволяет определить температуру в проводе и потери мощности с учетом нелинейности процессов теплоотдачи.

Использованные источники:

1. Формален В.Ф. Метод конечных элементов в задачах теплообмена: Учебное пособие. — М.: Изд-во МАИ, 1991, - 64 с.
2. Рудых О.Л., Рудых Л.Н. Расчет температурных полей ограждений методом конечных элементов. // Межвуз. сб. научн. тр./ ХабИИЖТ, - Хабаровск.- 1982,- вып.43.- С.74-82.
3. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / Под ред. В.Н. Казанцева. - М.: Энергоатомиздат, 1983.

4. Поспелов Г.Е., Ершевич В.В. Влияние температуры проводов на потери электроэнергии в активных сопротивлениях проводов воздушных линий электропередачи // Электричество. - 1973. - №10. - С.81-83.