Із розподілу температурного поля в приміщенні видно, що температура 353°С, яка є температурою самоспалахування соснової деревини, пошириться на відстань 4м за 800с, що спричинить утворення нових осередків вогнищ.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров.-М.: Стройиздат, 1990.- 424 с.*
2. *Алексашенко А.А., Кошмаров Ю.А. Тепломассоперенос при пожаре - М.: Стройиздат, 1982.-175 с.*
3. *Лыков А.В. Теория теплопроводности. –М.: Высшая школа, 1967.-599 с.*
4. *Ольшанский В.П., Тригуб В.В. Нестационарное температурное поле трехмерного массива насыпи, порожденное сферическим очагом // Проблемы пожарной безопасности. Сб науч. тр. АПБ Украины, Вып. 12 – Харьков: Фолио, 2002.- С.144-149.*
5. *Гуліда Е.М., Карабин О.О., Смотр О.О. Математична модель поширення лісових пожеж // Пожежна безпека. - 2005. –№ 6. -С.7-12.*
6. *Гуліда Е.М., Карабин О.О., Смотр О.О. Математична модель поширення лісових пожеж з урахуванням конвективного теплообміну // Пожежна безпека. 2005. –№ 7. – С.48-53.*

УДК 621.314:539.377

М.М.Семерак д.т.н., професор, В.І.Гудим, д.т.н., доцент, О.М Коваль
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ НАГРІВАННЯ ПРОВІДНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ

Шляхом математичного моделювання процесів тепловідведення у системі провідник електричного струму – електроізоляція, отримано залежності величин нагрівання провідника електричним струмом, які мають практичне застосування для промислових і побутових електричних мереж

Актуальність задачі. Однією із причин виникнення пожеж у побутових та громадських приміщеннях є нагрівання провідників електричних мереж струмами перевантаження або короткого замикання, які здатні за лічені секунди нагріти їх до небезпечних температур [1]. У довідковій літературі для проектантів наведені за температурним режимом допустимі значення струмів, які є безпечними для таких мереж, однак часто трапляються випадки струмових перевантажень електричних мереж, які за даних умов теж можуть не нагрівати провідники до критичних температур [2]. Тому задача оцінки розподілу температури ізольованого провідника є важливою і актуальною, особливо для експлуатації та технічної експертизи.

Мета роботи. Задача полягає в тому, щоб отримати узагальнений вираз на основі розв'язання системи диференційних рівнянь теплового балансу з електричним джерелом нагрівання, який дозволив би виконати аналіз розподілу температури в системі провідник ізоляція, використовувати теплофізичні характеристики провідника та ізоляції.

Постановка задачі та її розв'язання. Під час протікання електричного струму величиною I у провіднику довжиною l і з поперечним перерізом, що має опір електричний $R_e = \rho \frac{l}{s}$ впродовж часу, τ виділяється тепло рівне $Q = I^2 R_e \tau$, яке нагріває провідник і через його поверхню передається зовнішньому середовищу. За умови незмінності величини електричного струму після перехідного процесу наступає усталений режим коли в поперечному перерізі провідника його температура розподіляється нерівномірно. Найбільше значення температура досягає в центрі перерізу, а на поверхні $r = R$, де відбувається теплообмін із зовнішнім середовищем, температура є дещо нижчою. Коли процес стане стаціонарним, кількість тепла, яка виділяється струмом дорівнюватиме теплу, яке віддається зовнішньому середовищу, в наслідок чого на поверхні провідника, з радіусом $r = R$ встановлюється постійна температура, величина якої залежить від інтенсивності теплообміну, що характеризується коефіцієнтом теплопровідності α, (Вт/м^{2}К).

За наявності ізоляції, тепло з поверхні ізоляції $r = R_1$ передається зовнішньому середовищу, яке оточує поверхню ізоляції.

Розглянемо оголений провідник радіусом R по якому тече струм діючим значенням I.

Приймаємо циліндричну систему координат, початок якої розміщено в центрі поперечного перерізу провідника, а вісь r лежить в площині перерізу. Визначення температурного поля круглого провідника зводиться до розв'язання стаціонарного диференційного рівняння теплопровідності [3] у вигляді:

$$\frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dT}{dr} = -\frac{q_v}{\lambda}, \tag{1}$$

де $q_{v=}\rho J^2$ - питома потужність тепловиділення, Вт/м^3; ρ - питомий опір матеріалу провідника, Ом·м; c; $J = \frac{I}{S}$ - густина струму, $A/м^2$; $S = \pi R^2$ - для круглого провідника, що має радіус R, м^2; λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/($м \cdot K$).

Інтегруючи рівняння (1) двічі по r, знайдемо загальний розв'язок

$$T = -\frac{q_v}{4\lambda}r^2 + A_1 \ln r + A_2, \tag{2}$$

де A_1 і A_2 - сталі інтегрування, які знайдемо із двох граничних умов, які записуються у вигляді.

$$T \neq \infty \text{ при } r = 0; \qquad T = T_R \text{ при } r = R. \tag{3}$$

Із рівняння (2) і першої умови (3) знаходимо $A_1 = 0$. Враховуючи другу умову знаходимо

$$A_2 = T_R + \frac{q_v}{4\lambda}R^2. \tag{4}$$

Підставляючи (4) в (2), враховуючи, що $A_1 = 0$, загальний розв'язок рівняння (1) запишемо у вигляді

$$T = -\frac{q_v}{4\lambda}r^2 + T_R + \frac{q_v}{4\lambda}R^2 = \frac{q_v R^2}{4\lambda}\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) + T_R. \tag{5}$$

Якщо температуру в центрі провідника $(r = 0)$ позначимо T_0, то із виразу (5) отримаємо:

$$T_0 = \frac{q_v R^2}{4\lambda} + T_R. \tag{6}$$

Температурний перепад між центром провідника $r = 0$ і його поверхнею $r = R$ запишемо із виразу (6) у вигляді:

$$T_0 - T_R = \frac{q_v R^2}{4\lambda}. \tag{7}$$

Вираз (7) показує, що перепад температури між центром і поверхнею провідника повністю визначається внутрішнім тепловиділенням q_v і коефіцієнтом теплопровідності λ матеріалу провідника. Прийнявши перепад температури $\frac{q_v R^2}{4\lambda}$ за базову величину із рівності (5) отримаємо вираз температури в будь-якій точці провідника у вигляді:

$$\left(T - T_R\right)\frac{4\lambda}{q_v R^2} = 1 - \frac{r^2}{R^2} \tag{8}$$

Ввівши позначення $\theta^* = \left(T - T_R\right)\frac{4\lambda}{q_v R^2}$ $r^* = \frac{r}{R}$ за виразом (8) побудуємо графічну залежність відносного значення температури у будь-якій точці перерізу провідника в координатах θ^*, r^*,

Задаючись різними значеннями радіуса круглого провідника, обчислимо безрозмірне поле температури для цього провідника за формулою $4\lambda\frac{T - T_R}{q_v R^2} = 1 - \overset{*}{r}{}^2$, котре наведено на рис.1 у відповідних координатах

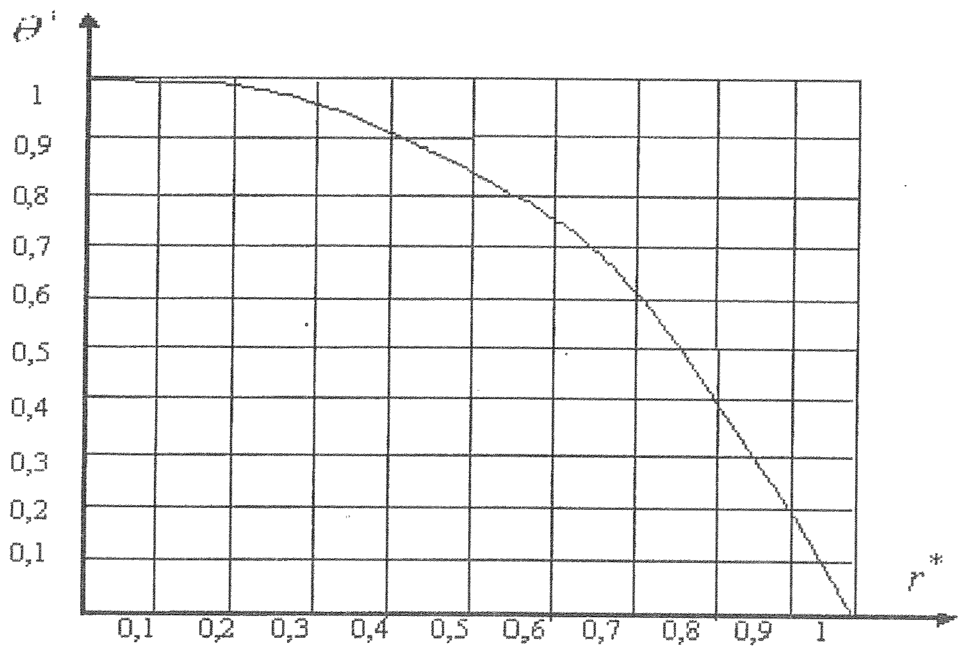

Рис.1 Залежність відносного значення температури поля круглого провідника від радіуса поперечного перерізу.

Якщо провідник (рис.2) має ізоляцію, тоді необхідно розглядати теплопровідність двошарового коаксіального циліндра з тепловиділенням в центральному шарі. Характеристики, які відносяться до металевого провідника, будемо позначати індексом 1, а характеристики, що відносяться до ізоляції – індексом 2.

Розв'язок рівняння теплопровідності для провідника $0 \le r \le R_1$ з тепловиділенням одержано в вигляді (2)

$$T_1 = -\frac{q_v}{4\lambda}r^2 + A_1 \ln r + A_2 \tag{9}$$

Для визначення закону розподілу температури в зовнішньому (ізоляційному), циліндрі ($R_1 \le r \le R_2$), записується однорідне диференційне рівняння;

$$\frac{d^2T_2}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dT_2}{dr} = 0 \tag{10}$$

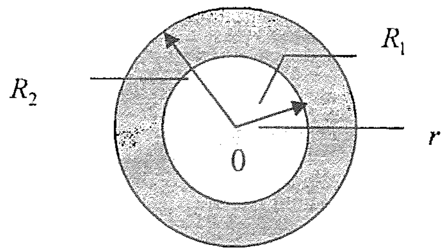

Рис.2. Конструктивна схема ізольованого проводу.

Інтегруючи це рівняння двічі по r, знайдемо розв'язок у вигляді

$$T_2 = B_1 \ln r + B_2, \tag{11}$$

де B_1 і B_2 - сталі інтегрування диференційного рівняння (13).

Для знаходження сталих інтегрування $A_1, A_2, B_1 i B_2$ запишемо чотири граничні умови, зокрема:

1. Обмеження температури в центрі коаксіального циліндра тобто

$$T_1 \ne \infty \text{ при } r = 0 \tag{12}$$

2. Рівності температур і теплових потоків на поверхні спряження циліндрів першого та другого середовищ:

$$T_1 = T_2, \qquad \lambda_1 \frac{dT_1}{dr} = \lambda_2 \frac{dT_2}{dr} \qquad \text{при} \qquad r = R_1. \tag{13}$$

3. Умова теплообміну на межі між зовнішньою поверхнею циліндра ($r = R_2$) і зовнішнім середовищем

$$\lambda_2 \frac{dT_2}{dr} = \alpha(T_c - T_2) \qquad \text{при } r = R_2, \tag{14}$$

де λ_1, λ_2 - коефіцієнт теплопровідності матеріалу провідника і ізоляції відповідно, Вт/м·К; α - коефіцієнт тепловіддачі з циліндричної поверхні $r = R$ Вт/м^{2}К; T_c - температура зовнішнього середовища.

Задовольняючи умови (12)-(14) запишемо систему алгебраїчних рівнянь, внаслідок розв'язання яких знаходимо сталі інтегрування у вигляді:

$$A_1 = 0, \; B_1 = -\frac{q_v}{2\lambda_2} R_1^{\;2}, \qquad B_2 = -\frac{q_v R_1^2}{2\lambda R_2} + T_c + \frac{q_v R_1^2}{2\lambda_2} \ln R_2,$$

$$A_2 = \frac{q_v R_1^2}{4\lambda_1}\left[1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \ln \frac{R_2^2}{R_1^2} - \frac{2\lambda_1}{\alpha R_2}\right] + T_c.$$

Підставляючи одержані значення сталих в вирази (9) і (12), одержимо вирази температурного поля у провіднику та ізоляції відповідно:

$$T_1 = \frac{q_v R_1^2}{4\lambda_2}\left[\frac{\lambda_2}{\lambda_1}(1 - r^{*2}) + \ln \frac{R_2^2}{R_1^2} - \frac{2}{\alpha}\frac{\lambda_2}{R_2}\right] + T_C \tag{15}$$

$$T_2 = \frac{q_v R_1^2}{4\lambda_2}\left[\ln\frac{R_2^2}{r^2} - \frac{2}{\alpha R_2}\right] + T_C \tag{16}$$

Використовуючи вирази (15) і (16) запишемо узагальнений вираз температури розглядуваної системи у вигляді:

$$T = \frac{q_v R_l^2}{4\lambda_2}\left[\frac{1}{\lambda}\left(1 - \frac{r^2}{R_1^2}\right) + \ln\frac{R_2^2}{R_1^2} + \lambda_2\frac{2}{\alpha R_2}\right] S_-(R_1 - r) + \frac{q_v R_l^2}{4\lambda_2}\left(\frac{\lambda_2}{\alpha R_2} - \ln\left(\frac{r}{R_2}\right)^2\right) S_+(r - R_1) + T_c \tag{17}$$

де $S_-(x) = \begin{cases} 1, x \ge 0 \\ 0, x < 0. \end{cases}$; $S_+ = \begin{cases} 1, x > 0 \\ 0, x \le 0. \end{cases}$ - асиметричні одиничні функції [4].

Аналіз одержаного виразу показує, що температурне поле ізольованого провідника залежить від радіусів провідника і ізоляції, інтенсивності тепловиділення q_v, значення теплопровідностей матеріалу провідника і матеріалу ізоляції λ_1 і λ_2, відповідно, а також інтенсивності тепловіддачі α з поверхні ізоляції.

Для спрощення процесу обчислень вираз (17) запишемо в безрозмірному вигляді:

$$\theta = \left(\frac{1-\rho^2}{\lambda} + \ln R^{*2} + \frac{2}{Bi}\right) S_-(1-\rho) + \left(\frac{2}{Bi} - \ln\left(\frac{\rho}{R}\right)^2\right) S_+(\rho - 1) + T_c \tag{18}$$

де $\theta = \frac{4\lambda_2 (T - T_c)}{q_v R_1^2}$, $R^* = \frac{R_2}{R_1}$, $\rho = \frac{r}{R_1}$, $\lambda = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$, $Bi = \frac{\alpha R_2}{\lambda_2}$-критерій Біо, ,

Обчислення температури на поверхні провідника в іменованих одиницях здійснюється за формулою $T = \frac{\theta q_v R_1^2}{4\lambda_2} + T_c$

За виразом (18) проведені розрахунки безрозмірного температурного поля мідного провідника з поліхлорвініловою ізоляцією поперечний переріз якого $S = 1{,}5\ мм^2$ для $\lambda = 3900$, $\lambda_2 = 0{,}1\ Вт/(м \cdot К)$ $R^* = 2{,}48$, $Bi = 46 \cdot 10^{-2}$, $q_v = 33{,}3 \cdot 10^6\ Вт/м^3$. Розрахунок виконано для випадку протікання струму у даному провіднику, прокладеному у повітрі зі струмом перевантаження $I = 50\ A$ [4] і температурою зовнішнього середовища $T_c = 20^o\ C$

Результати розрахунків наведені на рис.4

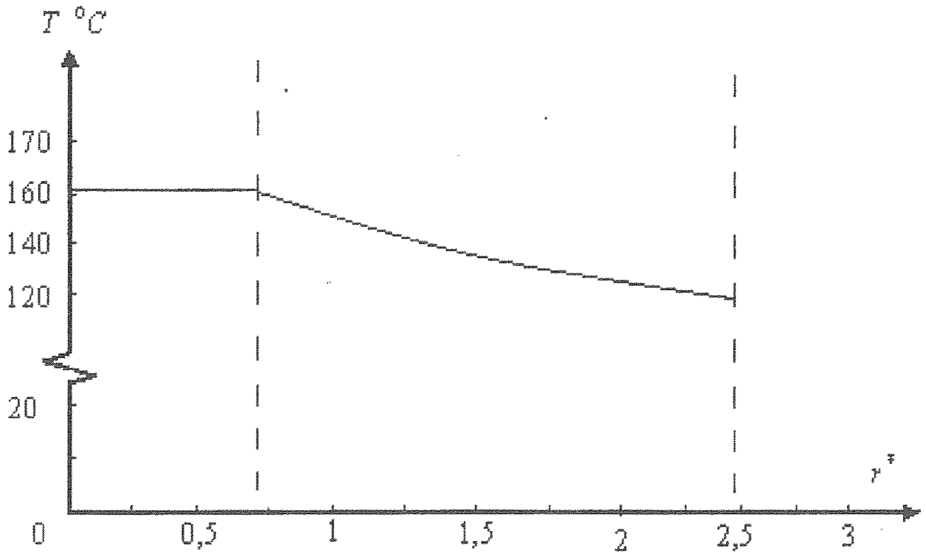

Рис.4 Розподіл температури у провіднику та ізоляції в залежності від радіуса.

Висновок. Аналіз розрахунків показує, що при двократному значенні струму температура провідника на поверхні контакту з ізоляцією з коефіцієнтами теплопровідності ізоляції $\lambda_2 = 0{,}1\,Bm/(м \cdot K)$ та тепловіддачі $\alpha = 23\,Bm/(м^2 \cdot K)$ перевищує температуру оточуючого середовища на 141,2 ^{o}C, а на зовнішній поверхні ізоляції – на 99,09 ^{o}C.

Отримані вирази дозволяють оцінити величину температурних полів у провідниках і ізоляції електричних мереж соціально-побутових приміщень для відповідних усталених значень струмів та температури оточуючого середовища.

Визначення температурних полів провідників складної конструкції з наявністю кількох шарів ізоляції можна проводити за розробленим алгоритмом із врахуванням підходу наведеного в роботі [5].

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Пожежна безпека №2 (77) 2006р. С.32-33*
2. *Правила устройства электроустановок./Минэнерго СССР. 6-е издание. Переработанное и дополненное. – М.: Энергоатомиздат, 1986. - 648 с.: ил.*
3. *Лыков А.В. Теория теплопроводности М.Высшая школа. 1967. 600 с.*
4. *Подстригач Я. С., Коляно Ю. М., Семерак М. М. Температурные поля и напряжения в элементах электровакуумных приборов. – Киев: Наук. думка, -1981. – 344 с.*
5. *Семерак М.М., Працевят М.М., Дячишин А.С. Определение и анализ погрешности от нагрева термометров сопротивления измерительным током.В кн.: Термомеханические процессы в кусочнооднородных элементов конструкции. Сб. науч. тр. Киев, Наук. думка, 1978-С.146-150.*

УДК 614.843(075.32)

О.Е. Васильєва к.т.н., А.В. Камінський, О.В. Придатко, О.В. Хлєвной
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ОПТИМІЗАЦІЙНА ПРОГРАМА ВИБОРУ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЧИННИКІВ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ КОРОБКИ ВІДБОРУ ПОТУЖНОСТІ АЦ-40(130)63Б

На основі середовища програмування Delphi та з використанням методу Монте-Карло розроблена унікальна програма для оптимального визначення конструктивних та експлуатаційних чинників зубчастих передач коробки відбору потужності автоцистерни АЦ-40(130)63Б з урахуванням дії динамічних навантажень, які виникають при максимальній висоті забору та подачі води.

Сучасний стан. При розробленні конструкції коробок відбору потужності пожежних автомобілів, як відомо, найважливішими є такі вимоги:

- відповідність розробленої конструкції її призначенню;
- компактність конструкції;
- забезпечення встановленого терміну експлуатації при заданих режимах роботи;
- забезпечення високої надійності розробленої конструкції тощо.

Від коробки відбору потужності, через карданну передачу, передається крутний момент на насос.

Тому при великій висоті забору та подачі води в зубчастих передачах коробки відбору потужності виникають значні динамічні навантаження, які сприяють швидкому зносу