

РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ ТЕРМІЧНОГО УРАЖЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОПОР СТРУМАМИ ОДНОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ

**А. О. Квіцинський, О. В. Шеліманова,
кандидати технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com**

Анотація. Наведено результати розрахунку змін у часі основних показників процесу термічного ураження залізобетонних опор струмами однофазного замикання на землю в мережах з ізолюваною нейтраллю.

Ключові слова: залізобетонна опора, термічне ураження, струм однофазного замикання на землю

При однофазному замиканні на землю (ОЗЗ) залізобетонні опори можуть нагріватися до високих температур (200°C і вище), що спричинює термічне руйнування матеріалу опори [1]. Тому задача розрахунку змін у часі основних показників процесу термічного ураження залізобетонних опор струмами однофазного замикання на землю в мережах з ізолюваною нейтраллю є актуальною.

Мета досліджень – розробка методики розрахунку термічного ураження залізобетонних опор струмами однофазного замикання на землю.

Матеріали та методика досліджень. Вважаючи, що процес термічного ураження може протікати відносно швидко, теплообміном між землею і повітрям та дифузією вологи у землі будемо нехтувати [2].

Заглиблену в землю частину залізобетонної опори замінимо моделлю – еквівалентною півкулею. Це забезпечить однакову у першому наближенні щільність електричного струму на поверхні залізобетонної опори і моделі та дасть змогу розглядати процес термічного ураження заглибленої частини опори як одномірний нестационарний електротепловий процес, зумовлений нерівномірно розподіленими і змінними у часі джерелами теплоти.

Характеристики заглибленої в землю частини залізобетонної опори (температуру та електропровідність) будемо вважати незмінними.

Розглянемо процес нагрівання землі в межах однієї з однакових N трубок струму, сила струму в якій у будь-який час t_n дорівнює

$$I_n = \frac{I_{3n}}{N}, \quad (1)$$

де I_{3n} – сила струму, що стікає із заглибленої в землю частини опори у разі ОЗЗ у час t_n .

Відповідно до наведених вище припущень, тепло, що виділяється як наслідок протікання електричного струму в землі з питомим електричним опором $\rho_{m,n} = f(T_{m,n})$, де $T_{m,n}$ – температура землі у точці на відстані r_m від центру моделі заземлювача у час t_n , поширюється тільки в радіальному напрямку. Це забезпечує однорізність задачі.

Розглянемо в межах однієї трубки струму в землі об'єм, обмежений радіусами r_m і $r_{m+1} = r_m + \Delta r$, де Δr – мала, порівняно з лінійними розмірами моделі, величина ($r_0 \gg \Delta r$), об'єм елемента трубки струму

$$\Delta v_m = \Delta r \cdot \frac{\Delta S_m + \Delta S_{m+1}}{2}, \quad (2)$$

де ΔS_m і ΔS_{m+1} – площі основ елемента.

Оскільки $r_0 \gg 0$ а Δr – мала величина, будемо вважати, що $\Delta S_m \approx \Delta S_{m+1}$, відповідно,

$$\Delta v_m = \Delta r \cdot \Delta S_m.$$

За таких умов, рівняння, які описують нагрівання m -го елемента об'єму у n -й момент часу, набудуть вигляду:

$$P1_{m,n} = \left(\frac{I_{3n}}{N} \right)^2 \cdot \rho_{m,n} \cdot \frac{\Delta r}{\Delta S_m}, \quad (3)$$

$$P2_{m,n} = (T_{m-1,n} - T_{m,n}) \cdot \Delta S_m \cdot \lambda, \quad (4)$$

$$P3_{m,n} = (T_{m,n} - T_{m+1,n}) \cdot \Delta S_m \cdot \lambda, \quad (5)$$

$$T_{m,n+1} = T_{m,n} + (P1_{m,n} + P2_{m,n} - P3_{m,n}) \cdot \frac{\Delta t}{C_m}, \quad (6)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності землі, Вт/м²·К;

C_m – теплоємність елемента об'єму, Дж/К.

Сила струму ОЗЗ I_{3n} у будь-який момент часу t_n лінійно пов'язана з повнотою замикання на землю δ_n

$$I_{3n} = I_C \cdot \delta_n, \quad (7)$$

де I_C – сила емнісного струму мережі (сила струму замикання на землю у разі $\delta_n = 1$).

Повноту замикання на землю обчислимо за формулою

$$\delta_n = \left[1 + \left(\frac{R_{3n}}{U \cdot 10^3} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

де R_{3n} – опір замикання на землю у час t_n , Ом,

U – фазна напруга мережі, кВ.

Величину опору напівсферичного заземлювача у час $t_n = 0$ обчислимо на підставі відомого співвідношення

$$R_{30} = \frac{\rho_0}{2 \cdot \pi \cdot r_0}, \quad (9)$$

де ρ_0 – питомий опір землі у час $t_n = 0$, Ом·м,

r_0 – радіус напівсферичного заземлювача, м.

З урахуванням одномірності задачі й розподілу температури в M шарах, рівняння (9) для довільного часу t_n можна записати у вигляді

$$R_{3n} = \frac{\rho_0}{2 \cdot \pi \cdot (M \cdot \Delta r + r_0)} + \sum_{m=1}^M \rho_{m,n} \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{r_m} - \frac{1}{r_m + \Delta r} \right), \quad (10)$$

де $\rho_{m,n}$ – питомий електричний опір m -го елемента у час n ;

Δr – відстань між шарами землі з умовно однаковою температурою.

Зауважимо, що, відповідно до наведених вище припущень, температура землі, у разі $r_m > r_0 + M \cdot \Delta r$, лишається незмінною і дорівнює T_0 , відповідно, не змінюється $\rho_{m,n}$, якщо $r_m > r_0 + M \cdot \Delta r$.

Питомий опір елемента землі $\rho_{m,n}$ як функцію його температури $T_{m,n}$ визначимо як комбінацією експоненціальної та логістичної функцій

$$\rho_{m,n} = a \cdot e^{b \cdot T_{m,n}} + c + \frac{R_{max}}{1 + d \cdot e^{k \cdot (T_{m,n} - T_\Gamma)}}, \quad (11)$$

де a, b, c, d, k – коефіцієнти апроксимації дослідних температурних характеристик землі,

T_Γ – граничне значення температури, яке відповідає температурі випаровування води й висихання землі.

Напругу на залізобетонній опорі, у разі ОЗЗ, визначимо за формулою

$$U_{3n} = I_n \cdot R_{3n}. \quad (12)$$

Результати досліджень. На рис. 1–6 наведено результати розрахунків температури у шарах землі, що примикають до опори, при $\Delta r = 0,01$ м . $\Delta t = 600$ с , $\rho_0 = 1075$ Ом·м і $T_0 = 0$ °С

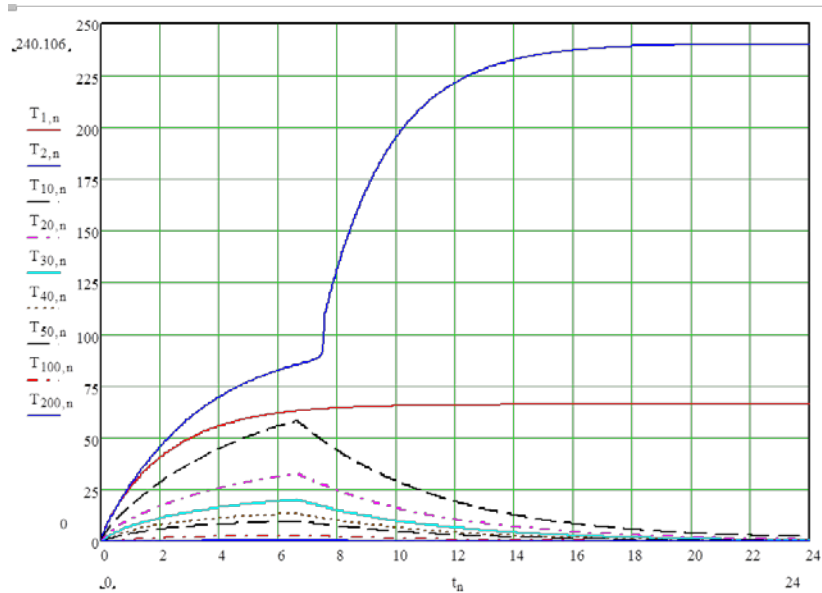


Рис. 1. Зміна температури у шарах землі, що примикають до опори під час ОЗЗ

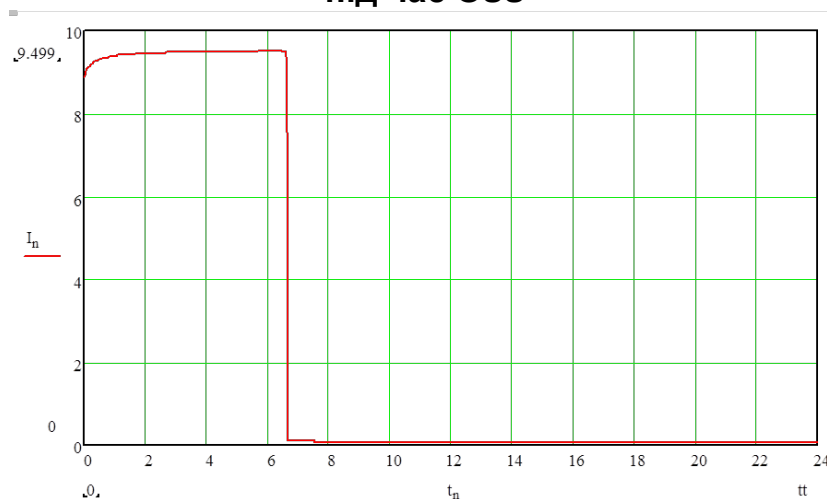


Рис. 2. Зміна сили струму через залізобетонну опору під час ОЗЗ

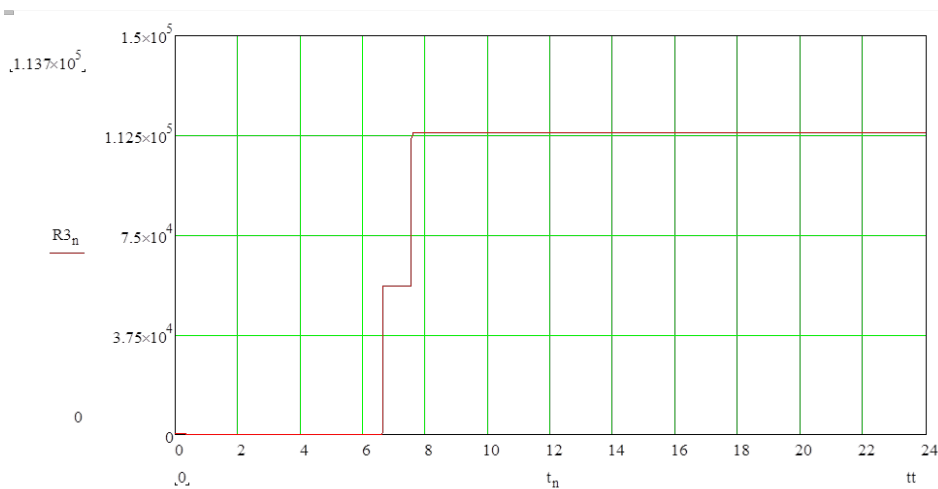


Рис. 3. Зміна опору стікання струму через залізобетонну опору під час ОЗЗ

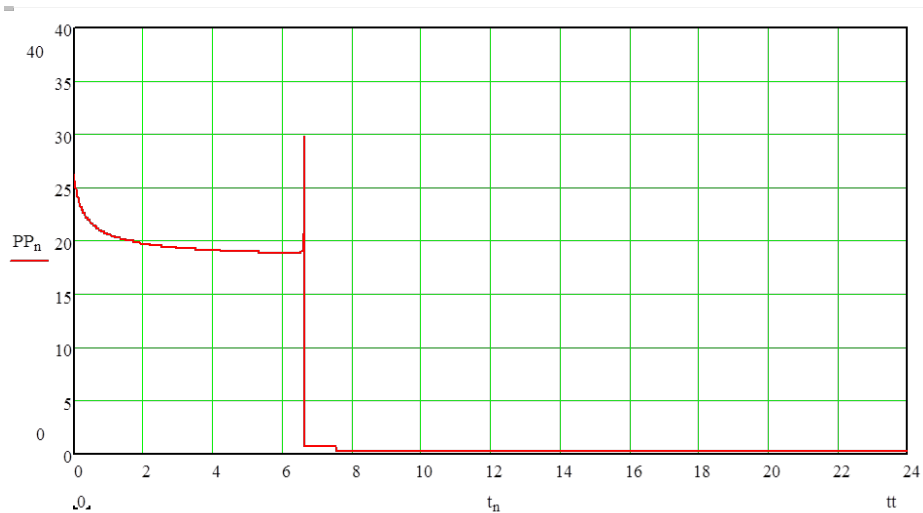


Рис. 4 . Зміна загальної потужності, яка виділяється в землі під час ОЗЗ (у кВт)

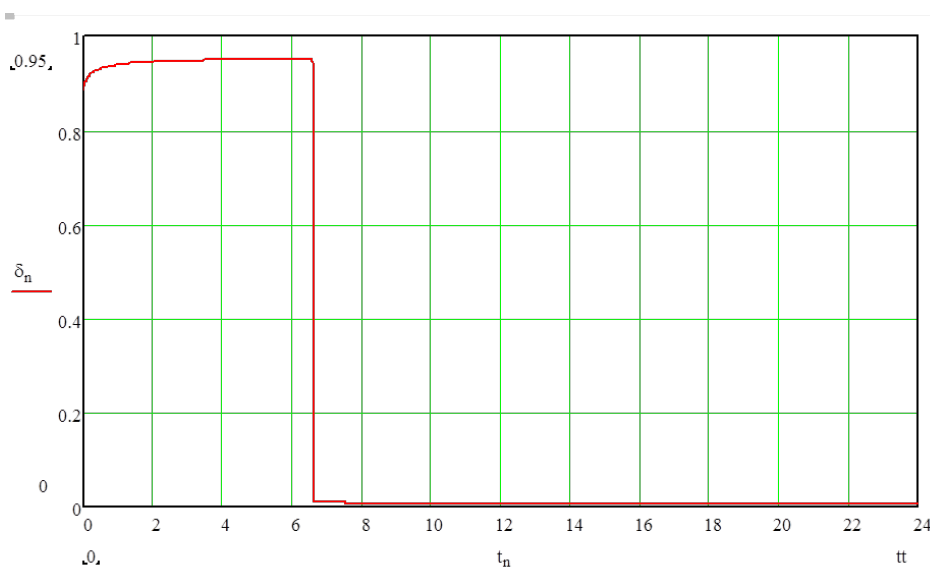


Рис. 5. Зміна повноти замикання на землю залізобетонної опори під час ОЗЗ

Як видно на рис. 1–6, величини, що характеризують процес ОЗЗ, поведуться складним чином у часі. На початковому етапі (проміжок часу близько 7 годин, рис. 1) спостерігається прогрівання шарів землі, що примикають до заглибленої частини залізобетонної опори.

Із підвищенням температури найбільш нагрітого шару до 100 °С, цей шар втрачає вологу і його опір суттєво підвищується (рис. 3). Це зумовлює стрибкоподібну зміну сили струму, що стікає з опори (рис. 2), напруги на опорі (рис. 6) і повноти замикання на землю (рис. 5). При цьому загальна потужність, що виділяється в землі під час ОЗЗ (рис. 4), досягає максимальної величини при $\delta_n = 0,707$.

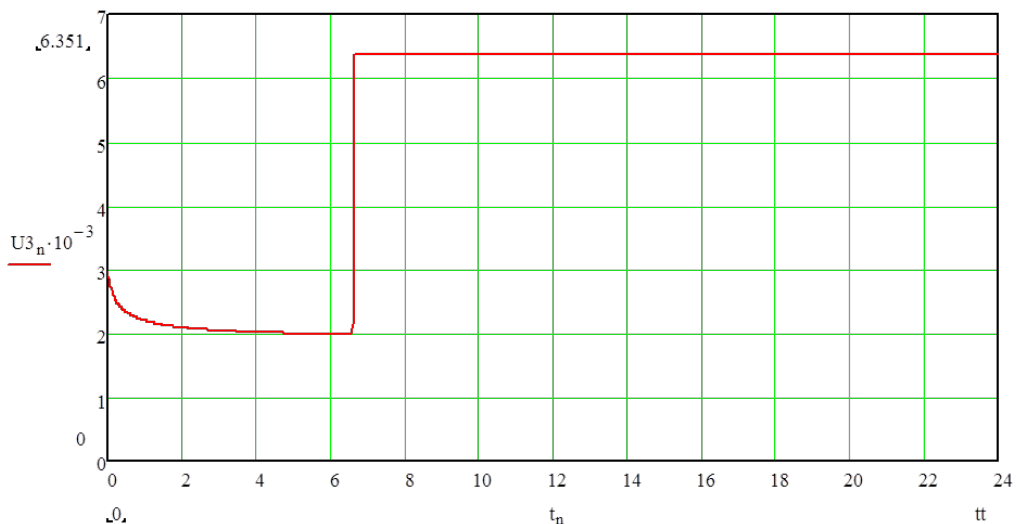


Рис. 6. Зміна напруги на залізобетонній опорі під час ОЗЗ

Висновки

Отже, зміна опору шару землі, який розташований біля залізобетонної опори, зумовлює перерозподіл потужності між шарами землі й різну температуру нагрівання шарів землі. Характер процесу при цьому суттєво залежить від теплофізичних характеристик землі (температурної характеристики – залежності питомого опору від температури, початкових значень температури та вологості, питомих теплоємності і теплопровідності, вологопровідності тощо) та величини струму замикання на землю I_C .

Список літератури

1. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. – Х. : Форт, 2006. – 272 с.
2. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидравлическое сопротивление : справ. пособие / С. С. Кутателадзе. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР ТОКАМИ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

А. А. Квицинский, Е. В. Шелиманова

Аннотация. *Приведены результаты расчета изменений во времени основных показателей процесса термического поражения железобетонных опор токами однофазного замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью.*

Ключевые слова: *железобетонная опора, термическое поражение, ток однофазного замыкания на землю*

CALCULATION OF THERMAL SHOCK OF REINFORCED CONCRETE PILLARS BY CURRENTS SINGLE-PHASE GROUND FAULT

A. Kvitsynskyi, O. Shelimanova

Annotation. *The results of calculation of changes over time in key indicators of thermal shock of reinforced concrete pillars by currents single-phase ground fault in networks with isolated neutral are given.*

Key words: *reinforced concrete pillar, thermal shock, the current single-phase ground fault*

УДК 536.24

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛО- Й МАСОПЕРЕНОСУ ТА ОПТИМАЛЬНЕ РОЗМІЩЕННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ У ПТАШНИКУ

*В. І. Троханяк, асистент
v1kt0r_t@ukr.net*

Анотація. *Проведено математичне моделювання процесів тепло- і масопереносу при вентиляції повітря в птахівничих приміщеннях. Для охолодження припливного повітря запропоновані нові конструкції теплообмінних апаратів, в яких як охолоджувач використовується вода підземних свердловин. по вибору розташування обладнання системи вентиляції в пташниках. У результаті чисельного моделювання з використанням програмного продукту ANSYS Fluent, отримані поля швидкостей, температур і тисків у пташнику. Дано рекомендації щодо вибору розташування обладнання системи вентиляції в пташниках.*

Ключові слова: *математичне моделювання, процеси тепло- і масопереносу, поле швидкостей, температура, пташник, вентиляційне обладнання*

Фізіологічний стан птиці та продуктивність птахоферм залежить від мікроклімату, який підтримується в птахівничих приміщеннях. При невідповідності основних параметрів мікроклімату оптимальним зоогігієнічним параметрам приріст маси курей-бройлерів знижується на 20–30 %, несучість птиці зменшується на 30 %, а втрати молодняку досягають 30 %, що призводить до значних економічних перевитрати при виробництві продукції.

Тепловий і вологісний режим пташника формується під впливом системи опалення та вентиляції залежно від метеорологічних параметрів зовнішнього повітря і теплотехнічних характеристик будівельних конструкцій.

© В. І. Троханяк, 2016