

V. HUDYM (PK), A. JAGIEŁŁO (PK), I. CHRABAŚCZ, (PK), J. PRUSAK (PK),
P. TRĘBACZ (PK)

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, e-mail: jprusak@usk.pk.edu.pl ,
gudymvi@ukr.net

OKREŚLENIE PARAMETRÓW RÓWNOWAŻNYCH DLA OBLODZONEGO PRZEWODU SIECI TRAKCYJNEJ

W okresie zimowym aktualnym problemem staje się zapobieganie oblodzeniu przewodów sieci trakcyjnej, które może utrudniać normalną pracę elektrowozów. W Polsce wystąpił przypadek, gdzie powstawanie osadów na przewodach zasilających doprowadziło do opóźnień pociągów o kilka godzin, a w niektórych sytuacjach doszło do uszkodzenia elementów układu zasilania. W efekcie przełożyło się to na straty finansowe, które wynikły również z tego powodu, że duża część pasażerów przesiadła się na inny środek transportowy.

Autorzy artykułu uważają, że likwidacja oblodzenia na przewodach sieci trakcyjnej jest zagadnieniem aktualnym i ważnym. Zapewnienie niezawodności transportu zbiorowego, kolejowego bądź tramwajowego, pozwala ograniczyć ruch samochodowy wewnątrz dużych aglomeracji, a to z kolei może prowadzić do rozładowania korków.

Spośród wykorzystywanych sposobów usuwania oblodzenia z przewodów elektrycznych stosuje się m.in. mechaniczną metodę likwidacji osadu, którą przeprowadza się przy odłączonym od zasilania odcinku sieci. Konieczność wyłączenia zasilania jest wadą tej metody, ponieważ przy usuwaniu lodu trzeba korzystać z lokomotywy spalinowej. Ta operacja wymaga dużych nakładów czasowych co powoduje, że dana linia jest przez dłuższy czas wyłączona z użytkowania. Dobrą alternatywę dla usuwania lodu stanowi metoda nagrzewania przewodów jezdnych prądem o odpowiedniej gęstości, który byłby pobierany z podstacji trakcyjnych.

Z tego punktu widzenia najbardziej przydatne jest usuwanie lodu z przewodów sieci trakcyjnej poprzez jej nagrzewanie prądem stałym, który jednocześnie usuwa oblodzenie na całym odcinku, a ponadto pozwala nagrzać przewód do temperatury wyższej od zera i w ten sposób zapobiegać powtórnemu powstaniu osadu przez najbliższe 30 minut, zanim nadjedzie elektrowóz.

Rozwiązanie tego problemu wymaga odpowiedzi na ważne techniczne pytania. Przede wszystkim ile czasu jest potrzebne w celu zlikwidowania oblodzenia i jaką wartość prądu należy zapewnić. Należy również sprawdzić czy wystarczy mocy zainstalowanych prostowników

do zapewnienia potrzebnej gęstości prądu. Odpowiedzi na te pytania można otrzymać poprzez modelowanie matematyczne procesów nagrzewania układu. Jednak w tym przypadku konieczne jest określenie parametrów oblodzonego przewodu, np. współczynnika ciepła właściwego i gęstości układu przewod – lód.

Dlatego zadaniem postawionym w tej pracy jest opracowanie wzorów matematycznych dla współczynników równoważnych, które można wykorzystać do zamodelowania zjawisk występujących w trakcie topienia lodu na przewodach trakcyjnych. Wymienione wcześniej parametry to: równoważny współczynnik ciepła właściwego oraz równoważny współczynnik gęstości układu przewod - lód. Dodatkowo dokonano obliczeń czasu nagrzewania przewodu potrzebnego do stopienia lodu na przewodzie w zależności od grubości tego lodu. Obliczenia przeprowadzono dla wybranych wartości gęstości prądu.

Współczynniki ciepła właściwego miedzi, z której wykonany jest przewód, oraz lodu są różne i podczas rozpatrywania układu przewod – lód, konieczne jest określenie współczynnika równoważnego dla wymienionego układu. Wyprowadzenie wzoru na ten współczynnik oparto o prawo zachowania energii i bilans energii cieplnej. Wykorzystano do tego celu parametry ciepła właściwego, gęstości, masy przewodu oraz lodu pokrywającego rozpatrywany przewód. Ilość ciepła do ogrzania układu przewod – lód o długości 1 m, o 1 °C powinna być taka sama, jak ilość ciepła potrzebna do nagrzewania układu równoważnego. Można to zapisać wzorem (1):

$$C_m m_m (\theta_k + \theta_0) + C_{lodu} m_{lodu} (\theta_k + \theta_0) = \\ = C_r m_r (\theta_k + \theta_0), \quad (1)$$

gdzie:

m_m – masa przewodu, C_m – ciepło właściwe miedzi, m_{lodu} – masa lodu, C_{lodu} – ciepło właściwe lodu, θ_k – temperatura docelowa, θ_0 – temperatura otoczenia.

Wyrażono masę przewodu i lodu poprzez γ_m i γ_{lodu} oraz objętość poprzez promienie: przewodu (r_{pr}) i układu przewód – lód (Rr), a następnie po dokonaniu przekształceń otrzymano wzór ostateczny na równoważny współczynnik ciepła właściwego w postaci wyrażonej wzorem (2):

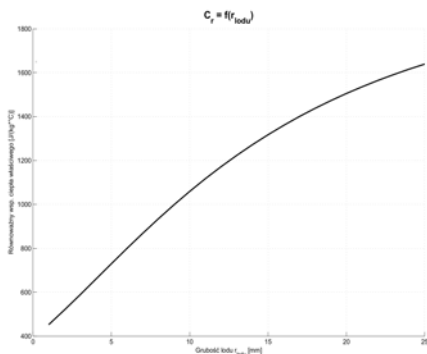
$$C_r = \frac{(\gamma_m C_m - \gamma_{lodu} C_{lodu}) + \gamma_{lodu} C_{lodu} \frac{Rr^2}{r_{pr}^2}}{(\gamma_m + \gamma_{lodu}) + \gamma_{lodu} \frac{Rr^2}{r_{pr}^2}}, \quad (2)$$

gdzie:

γ_m – gęstość miedzi, γ_{lodu} – gęstość lodu, Rr – promień przewodu pokrytego lodem, r_{pr} – promień przewodu.

Należy zauważyć, że ten współczynnik jest zależny od wymiarów geometrycznych przewodu oraz grubości pokrywy lodowej. Dlatego na rysunku 1 przedstawiono zależność współczynnika C_r od promienia oblodzenia liczonego od powierzchni przewodu do zewnętrznej warstwy lodu.

Przyjmując, że maksymalna grubość oblodzenia wyniesie 25 mm przeprowadzono obliczenia, które zostały przedstawione na rysunku 1.



Rys. 1. Wykres zależności równoważnego współczynnika ciepła właściwego od grubości oblodzenia.

Analizując wykres możemy zauważyć, że dla oblodzenia o grubości 1 mm wartość równoważnego współczynnika ciepła właściwego wynosi 452,2 J/(kg · °C). Przy zwiększaniu grubości warstwy lodu do 25 mm powyższy współczynnik uzyskuje wartość 1639 J/(kg·°C).

W celu uzyskania równoważnego współczynnika gęstości dla układu przewód – lód należy skorzystać ze wzoru na masę wymienionego układu. Wzór ten można zapisać w

© Hudym V. i inny, 2017

oparciu o gęstość miedzi i lodu, a następnie zakładając pewien współczynnik równoważny porównać lewą i prawą stronę otrzymanego równania. W efekcie wyznaczony równoważny współczynnik gęstości, uzależniony od promienia przewodu sieci trakcyjnej i promienia układu przewód – lód, został określony wzorem (3):

$$\gamma_r = \frac{r_{pr}^2(\gamma_m - \gamma_{lodu}) + Rr^2\gamma_{lodu}}{Rr^2} \quad (3)$$

Zmienna grubość lodu od 1 do 25 mm określa przedział zmian równoważnego współczynnika gęstości w zakresie od 6758 do 1209 kg/m³. Stąd oczywisty wniosek, że im grubsza warstwa lodu tym wartość równoważnego współczynnika gęstości bardziej zbliża się do gęstości lodu wynoszącej 916,7 kg/m³.

Wzór na zależność temperatury od czasu nagrzewania przewodu, podany w artykule [1], zmodyfikowano o wartość równoważnego współczynnika ciepła właściwego oraz równoważny współczynnik gęstości. Wprowadzono również promień przewodu pokrytego lodem o zmiennej grubości od 1 do 25mm. Zmodyfikowany wzór przyjmuje postać (4):

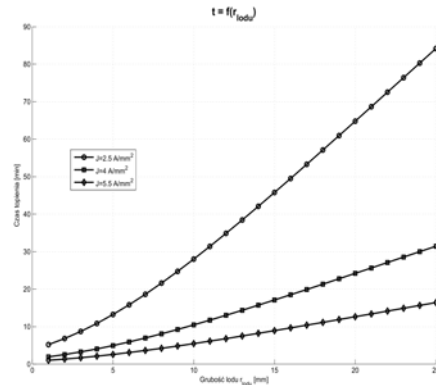
$$t = \frac{\gamma_r Rr C_r}{2\alpha} \ln \left(\frac{\rho J^2 r_{pr}^2}{2\alpha \left(\frac{\rho J^2 r_{pr}^2}{2\alpha} + \theta_o - \theta_k \right)} \right) \quad (4)$$

gdzie:

γ_r – równoważny współczynnik gęstości, α – współczynnik wiatru, ρ – rezystywność miedzi, J – gęstość prądu.

Rezultat obliczeń został przedstawiony w postaci wykresu, na rysunku 2

Rysunek 2 Wykres zależności czasu topienia od grubości oblodzenia dla wybranych wartości gęstości prądu.



Rys. 2. Wykres zależności czasu topienia od grubości oblodzenia dla wybranych wartości gęstości prądu.

Analizując wykres można określić, jak zmienia się czas topienia lodu zależnie od jego grubości i gęstości prądu, przykładowo usunięcie oblodzenia o grubości 10 mm można wykonać przy gęstości prądu 4 A/mm² w czasie 10 minut i 28 sekund, co jest wartością, jak sądzą autorzy, zadowalającą. Otrzymane wzory do określenia równoważnych

współczynników pozwalają na obliczenie czasu likwidacji oblodzenia z dokładnością do 10%.

REFERENCES

1. Hudym V., Jagiełło A., Prusak J., Chrabąszcz I., Trębacz P., Kaczmarczyk A., *Metodyka usuwania oblodzenia z sieci trakcyjnej*, Kraków, 2015, Logistyka nr 6

Received 21.01.2017.

Internal reviewer *Getman G. K.*

External reviewer *Denisyuk S. P.*

W okresie zimowym aktualnym problemem staje się zapobieganie oblodzeniu przewodów sieci trakcyjnej. Zadaniem postawionym w tej pracy jest opracowanie wzorów matematycznych dla współczynników równoważnych, które można wykorzystać do zamodelowania zjawisk występujących w trakcie topienia lodu na przewodach trakcyjnych. Obliczenia przeprowadzono dla wybranych wartości gęstości prądu i czasu topienia od grubości oblodzenia dla wybranych wartości gęstości prądu.

Keywords: oblodzenia z przewodów; gęstości prądu; ciepła właściwego; sieć trakcyjna.

УДК 621.331.3

В. ГУДИМ (КП), А. ЯГЕЛЛО (КП), І. ХРАБОНШЧ (КП), Я. ПРУСАК (КП), П. ТРЕНБАЧ (КП)

Краківська політехніка, факультет електротехніки та обчислювальної техніки ел.пошта: jprusak@usk.pk.edu.pl, gudymvi@ukr.net .

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОКРИТИХ ЛЬДОМ ПРОВОДІВ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ

На сьогодні є проблемне питання профілактики обмерзання проводів контактної мережі у зимній період. Задача, поставлена в даній роботі, є розробка математичної моделі для розрахунку еквівалентних коефіцієнтів, які можуть бути використані для моделювання явища, що виникає під час плавлення льоду на контактній мережі. Було проведено визначення значення щільності струму і часу плавлення льоду різної товщини при обраних значеннях щільності струму.

Ключові слова: обмерзання проводів; щільність струму; питома теплоємність; тягова мережа.

Внутрішній рецензент *Гетьман Г. К.*

Зовнішній рецензент *Денисюк С. П.*

УДК 621.331.3

В. ГУДИМ (КП) А. ЯГЕЛЛО (КП), И. ХРАБОНШЧ (КП), Я. ПРУСАК (КП), П. ТРЕНБАЧ (КП)

Краковская политехника, факультет электротехники и вычислительной техники эл. почта: jprusak@usk.pk.edu.pl, gudymvi@ukr.net

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОКРЫТЫХ ЛЬДОМ ПРОВОДОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Сегодня проблемным вопросом является профилактика обледенения проводов контактной сети в зимний период. В данной работе поставлена задача разработки математической модели для расчета эквивалентных коэффициентов, которые могут быть использованы для моделирования явлений, возникающих во время плавления льда на контактной сети. Были проведены определение значений плотности тока и времени плавления льда различной толщины при выбранных значениях плотности тока.

Ключевые слова: обледенения проводов; плотность тока; удельная теплоемкость; тяговая сеть.

Внутренний рецензент *Гетьман Г. К.*

Внешний рецензент *Денисюк С. П.*