

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

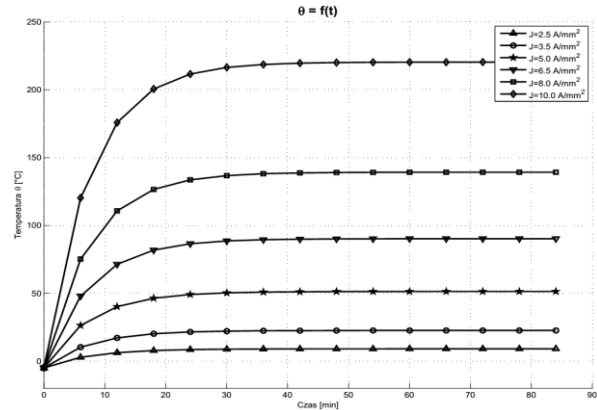
Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, e-mail: [pejajiel@cyf-kr.edu.pl](mailto:pejajiel@cyf-kr.edu.pl), [jprusak@usk.pk.edu.pl](mailto:jprusak@usk.pk.edu.pl), [gudymvi@ukr.net](mailto:gudymvi@ukr.net)

## UWARUNKOWANIA ELEKTRYCZNE I CIEPLNE LIKWIDACJI OBLODZENIA NA PRZEWODACH 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, wynikłe również z tego powodu, że duża część pasażerów przesiadła się na inny środek transportowy.

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, wynikłe 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 zatorów na drogach.

Spośród wykorzystywanych sposobów usuwania oblodzenia z przewodów 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 okres wyłączona z użytkowania. Dobrą alternatywę dla usuwania lodu stanowi metoda nagrzewania przewodów jezdnych prądem o odpowiedniej gęstości, który byłby pobierany z podstacji trakcyjnych.



Rys. 1. Wykres zależności temperatury przewodu od czasu nagrzewania

Wcześniej przeprowadzone przez autorów badania [1], obejmowały proces ogrzewania samego przewodu narażonego na działanie warunków atmosferycznych. W wyniku symulacji otrzymano wykresy, jak na rysunku 1. W symulacji nagrzewania przewodu założono początkową temperaturę otoczenia równą  $-5^{\circ}\text{C}$ . Przyjęto również, że na przewodzie nie tworzy się lód. Jak wiadomo, w rzeczywistości jest zupełnie inaczej i należy uwzględnić fakt powstawania oblodzenia zwłaszcza podczas opadów deszczu ze śniegiem bądź śniegu, którym towarzyszy niska temperatura. Proces ogrzewania przewodu pokrytego lodem będzie się różnił od nagrzewania samego przewodu. Po załączeniu zasilania, w początkowej fazie ogrzewania, ciepło z przewodu będzie przekazywane do lodu w celu ogrzania go do temperatury  $0^{\circ}\text{C}$  lub nieznacznie wyższej. Kolejno nastąpi przemiana fizyczna lodu w wodę, a dalej proces topienia lodu. Przedstawiony model zakłada równomierne rozłożenie pokrywy lodowej wokół przewodu. W normalnych warunkach większa narośl na przewodzie będzie występować od dołu, ponieważ jest ona skutkiem działania siły grawitacji. Można zatem przyjąć, że założona przez nas grubość pokrywy lodowej występuje od góry przewodu. Wystarczy ją stopić, a dolna część odpadnie pod własnym ciężarem. Pozwala to zmniejszyć ilość energii potrzebnej do usunięcia oblodzenia.

W celu realizacji sposobu nagrzewania oblodzonego przewodu prądem, konieczna jest zmiana układu sieci zasilającej poprzez dodanie odpowiednio dobranych łączników wysokonapięciowych. Natomiast problemem jest dobór miejsca instalacji tych łączników, co jednocześnie wiąże się z gęstością przepływającego prądu i czasem likwidacji oblodzenia. Uzyskanie informacji dotyczących w/w wielkości jest możliwe poprzez symulację procesu nagrzewania układu przewod – lód z uwzględnieniem najważniejszych jego parametrów, zjawisk i struktury sieci. W tym celu opracowano model matematyczny w oparciu o prawa elektrotechniki i termodynamiki, który pozwala na analizę zależności zmian temperatury oblodzonego przewodu od gęstości przepływającego prądu.

Model został opisany równaniami różniczkowymi. Jednym z problemów wynikłych w trakcie symulacji była potrzeba aproksymacji współczynnika ciepła właściwego układu, którego wartość zależy od grubości pokrywy lodowej oraz parametrów przewodu sieci trakcyjnej. Celem określenia tego współczynnika przeprowadzono serię obliczeń, w wyniku których otrzymano analityczną zależność, równoważnego współczynnika ciepła właściwego układu przewod – lód od jego temperatury. Zastosowano następujący wzór [1]:

$$C_r = 962,5 - 637,5 \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \tan^{-1} 0,35 \cdot (\theta(t) - 10)$$

w którym:

$$\theta(t) = \frac{\rho \cdot J^2 \cdot r}{2 \cdot \alpha} + \theta_s - \frac{\rho \cdot J^2 \cdot r}{2 \cdot \alpha} \cdot e^{-\frac{2 \cdot \alpha}{\gamma \cdot r \cdot C} \cdot t}$$

gdzie:

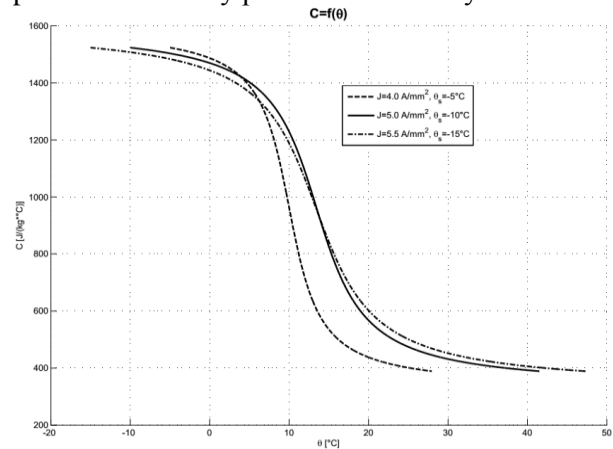
- $\rho$  - rezystywność miedzi;
- $J$  - gęstość prądu;
- $r$  - promień przewodu;
- $\alpha$  - współczynnik wiatru;
- $\theta_s$  - temperatura otoczenia;
- $\gamma$  - gęstość miedzi;
- $C$  - wartość współczynnika ciepła właściwego dla układu przewod-lód.

Wartości współczynników zostały obliczone i oszacowane na podstawie wyników uzyskiwanych w trakcie testów. Obliczenia współczynników wykonano w oparciu o własności funkcji *arctg*. Współczynnik 962,5 obliczono w następujący sposób:

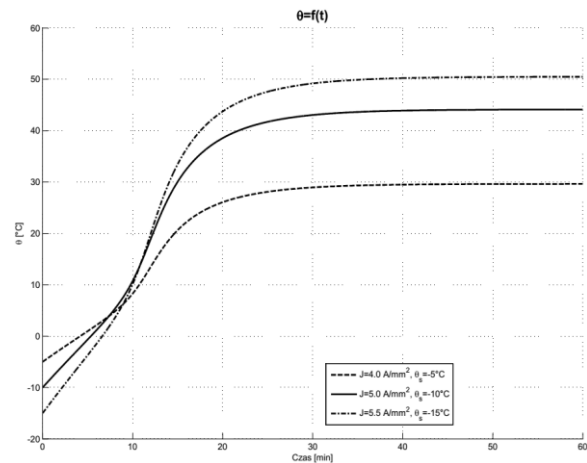
$$\begin{aligned} C_r &= 1535, C_m = 390, \\ 1535 - 390 &= 1145, \\ 1145 \div 2 &= 572,5, \\ 572,5 + 390 &= 962,5 \end{aligned}$$

Wartość 637,5 została dobrana empirycznie rozpoczynając od wartości 572,5. Pozostałe wartości 0,35 oraz 10 również zostały dobrane w trakcie doświadczeń. Celem było uzyskanie rozpiętości wykresu od wartości około 1535 do wartości około 390 na osi Y.

Uzyskane wyniki pozwoliły na prostszą symulację procesu nagrzewania oblodzonego przewodu i zostały przedstawione na rysunku 2.



Rys. 2. Wykres zależności współczynnika ciepła właściwego od temperatury układu przewod-lód



Rys. 3. Wykres zależności temperatury układu przewod-lód od czasu nagrzewania

Uwzględnienie otrzymanej zależności w obliczeniach dało możliwość uzyskania wykresu zależności temperatury przewodu od czasu nagrzewania lodu do temperatury bliskiej zeru bądź nieznacznie wyższej, po częściowym roztopieniu lodu wartość współczynnika ulega

zmniejszeniu do wartości jak dla miedzi. Tej zmianie współczynnika towarzyszy nagły wzrost temperatury przewodu i szybka likwidacja oblodzenia. Rysunek 3 przedstawia otrzymane wyniki.

Представлена методa нагрівання проводів не wymaga odłączenia sieci trakcyjnej od źródła zasilania, jednak konieczna jest zmiana w samym układzie zasilania w celu przeprowadzenia procesu нагрівання. Metoda ta istotnie skraca czas likwidacji osadu na przewodach bez potrzeby wykorzystywania lokomotyw spalinowych.

#### LITERATURA

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

2. Г. И. Денисеико́б, Г. А. Генрих, Л. А. Нико́нец, *Повышение надежности работы воздушных линий электропередачи за счет плавки гололеда на их проводах и тросах.*, Доклад ГК СМ

СССР по науке и технике, Львов, 1969. (G. I. Denysenko, G.A. Henrich, L. A. Nikonic, *Podwyższenie niezawodności pracy linii przesyłowych napowietrznych poprzez topienie oblodzenia na ich przewodach roboczych i odgromowych, Referat Komitetu Państwowego Rady Ministrów ZSRR z nauki i techniki, Lwów, 1969*).

3. Г. А. Генрих, М. А. Евшин, *Структурная математическая модель для исследования режимов работы УПГ на проводах ВЛ пульсирующим током с отключением линии.*, Параграф 2.5 (G.A. Henrich, M. A. Jelszyn, *Model matematyczny strukturalny do badania stanu pracy Instalacji do Topienia Lodu na przewodach linii napowietrznych prądem pulsującym z odłączoną linią.*, Paragraf 2.5)

4. Г. А. Генрих, В. Н. Стряпан, *Моделирование на ЭСВМ режимов работы преобразователя УПГ пульсирующим током.*, Параграф 2.21 (G.A. Henrich, W. N. Striapan, *Modelowanie na elektronicznych obliczeniowych maszynach warunków pracy przekształtnika Instalacji do Topienia Lodu prądem pulsującym*, Paragraf 2.21)

Received 15.06.2016.

Internal reviewer *Kuznetsov V.G.*

External reviewer *Andriienko P.D.*

In winter, there is currently a problem in that the contact wires on ice can be formed, which may interfere with the normal operation of the rolling stock. In Poland, there was a case when the formation of deposits on the contact wires led to a long delay trains. When icing contact network operators bear the financial loss, the passengers have to change vehicles. The article presents a model of a contact network of heating, presented method significantly reduces the icing on the Elimination of contact network without the need for locomotives

**Keywords:** contact wire; power train; icing; model.

#### 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, e-mail: [pejagiel@cyf-kr.edu.pl](mailto:pejagiel@cyf-kr.edu.pl), [jprusak@usk.pk.edu.pl](mailto:jprusak@usk.pk.edu.pl), [gudymvi@ukr.net](mailto:gudymvi@ukr.net)

## ЕЛЕКТРИЧНІ І ТЕПЛОВІ УМОВИ ЛІКВІДАЦІЇ ОБМЕРЗАННЯ НА ПРОВОДАХ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ

У зимовий період в даний час існує проблема, яка полягає в тому, що на контактних проводах може утворюватися обмерзання, яке може перешкодити нормальній роботі рухомого складу. У Польщі, був випадок, коли утворення відкладень на контактних проводах призвело до тривалої затримки поїздів. При обмерзаннях контактної мережі оператори несуть фінансові втрати, пасажери змушені пересідати на інші транспортні засоби. У статті представлена модель нагрівання контактної мережі, Представлений метод значно скорочує час ліквідації обледеніння на контактній мережі без необхідності використання тепловозів.

**Ключові слова:** контактний провід; тягова мережа; обмерзання; модель.

Внутрішній рецензент *Кузнецов В.Г.*

Зовнішній рецензент *Андрієнко П.Д.*

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, e-mail: [pejagiell@cyf-kr.edu.pl](mailto:pejagiell@cyf-kr.edu.pl), [jprusak@usk.pk.edu.pl](mailto:jprusak@usk.pk.edu.pl), [gudymvi@ukr.net](mailto:gudymvi@ukr.net)

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ УСЛОВИЯ ЛИКВИДАЦИИ ОБЛЕДЕНЕНИЯ НА ПРОВОДАХ ТЯГОВОЙ СЕТИ

В зимний период в настоящее время существует проблема, заключающаяся в том, что на контактных проводах может образовываться обледенение, которое может помешать нормальной работе подвижного состава. В Польше, был случай, когда образование отложений на контактных проводах привело к длительной задержке поездов. При обледенениях контактной сети операторы несут финансовые потери, пассажиры вынуждены пересаживаться на другие транспортные средства. В статье представлена модель нагревания контактной сети, Представленный метод значительно сокращает время ликвидации обледенения на контактной сети без необходимости использования тепловозов.

**Ключевые слова:** контактный провод; тяговая сеть; обледенение; модель.

Внутренний рецензент *Кузнецов В.Г.*

Внешний рецензент *Андрієнко П.Д.*