



**Sposób weryfikacji i sterowania urządzeniem grzewczym montowanym
zwłaszcza w przedziałach sanitarnych ambulansów obejmujący
wyznaczenie prawdopodobieństwa osiągnięcia temperatury przedziału
sanitarnego oraz uwzględniający intensywność nagrzewania szacowaną za
pomocą metody najmniejszych kwadratów**

Przedmiotem wynalazku jest sposób weryfikacji i sterowania urządzeniem grzewczym montowanym zwłaszcza w przedziałach sanitarnych ambulansów obejmujący wyznaczenie prawdopodobieństwa osiągnięcia temperatury przedziału sanitarnego oraz uwzględniający intensywność nagrzewania szacowaną za pomocą metody najmniejszych kwadratów, mający zastosowanie w układach elektronicznych sterowania nagrzewaniem ambulansu.

Systemy ogrzewania i chłodzenia ambulansu w przedziale pacjenta powinny być sterowane niezależnie od systemu przedziału kierowcy. Ogrzewanie/chłodzenie przedziału pacjenta może być zapewnione w systemie połączonym.

Oprócz ogrzewania przedziału kierowcy powinien istnieć niezależny, regulowany system zapewniający:

- ogrzewanie dla ambulansów drogowych typu A i B;
- ogrzewanie świeżym powietrzem dla ambulansów drogowych typu C.

System ten powinien działać w taki sposób, aby przy temperaturze zewnętrznej i wewnętrznej wynoszącej 5 °C, ogrzewanie do temperatury co najmniej 22 °C nie powinno trwać dłużej niż 15 minut. Pomiar temperatury powinien odbywać się w środku noszy i w punkcie środkowym od wylotów nagrzewnicy (jeśli dostępnych jest kilka wylotów).

Ogrzewanie powinno być sterowane za pomocą regulowanego termostatu lub elektronicznego systemu kontroli klimatyzacji

Rzeczywista temperatura nie może różnić się od ustalonej (założonej) temperatury o więcej niż 5°C. System grzewczy powinien być w stanie spełnić kryteria wydajności przy wyłączonym systemie wentylacji i systemie ogrzewania ustawionym na recyrkulację powietrza w przedziale pacjenta.

Instalacja systemu nie może powodować przedostawania się gazów spalinowych do kabiny pacjenta.

Dotychczas nie jest znana metoda wykorzystania metody najmniejszych kwadratów do optymalizacji pracy urządzeń grzewczych ambulansu.

Ze stanu techniki, z opisu chińskiego wynalazku CN117477102A znany jest system sterowania ogrzewaniem akumulatorów pojazdu. System sterowania ogrzewaniem składa się z zestawu akumulatorów samochodowych, modułu klimatyzatora, pompy wodnej, moduł sterującego podzespołami pojazdu, układ czynnika z zaworem sterującym. Moduł sterujący pojazdu może ustawić wartość progową ogrzewania, zestaw akumulatorów może przesyłać w czasie rzeczywistym temperaturę ogniw akumulatora do całego modułu sterującego pojazdu za pośrednictwem zespołu wykrywania temperatury, a gdy temperatura ogniw akumulatora w czasie rzeczywistym osiągnie wartość progową nagrzewania, cały moduł sterujący pojazdu wysyła sygnał do układu sterującego zaworem.

Z innego chińskiego opisu wynalazku CN117460633A znane jest urządzenie sterujące ogrzewaniem i program sterujący urządzeniem. Urządzenie sterujące ogrzewaniem przechowuje mapę wzrostu temperatury wskazującą zależność między natężeniem przepływu chłodziwa a szybkością wzrostu temperatury chłodziwa po stronie wylotowej grzejnika, gdy ilość ogrzewania przez grzejnik jest wartością przewidzianą. W początkowym trybie ogrzewania szybkość wzrostu temperatury cieczy chłodzącej obliczana jest na podstawie temperatury cieczy chłodzącej zarejestrowanej przez pierwsze urządzenie do pomiaru temperatury, a szybkość wzrostu temperatury cieczy chłodzącej obliczana jest na podstawie na podstawie temperatury cieczy chłodzącej wykrytej przez drugie urządzenie do pomiaru temperatury.

Metoda najmniejszych kwadratów jest standardową metodą przybliżania rozwiązań układów nadokreślonych, tzn. zestawu równań, w którym jest ich więcej niż zmiennych. Nazwa „najmniejsze kwadraty” oznacza, aby oszacować parametry strukturalne modelu minimalizujemy funkcjonal jakości, który jest sumą kwadratów różnic pomiędzy wartością rzeczywistą zmiennej zależnej a wartością prognozowaną na podstawie modelu.

W statystyce wykorzystuje się ją do estymacji i wyznaczania linii trendu na podstawie zbioru danych w postaci par liczb. Najczęściej jest stosowana przy regresji liniowej, ale może też być stosowana do oszacowania parametrów strukturalnych nieliniowych funkcji trendu.

Zależność przyrostu temperatury w czasie określamy za pomocą wzoru

$$T_t = T_0 + (T_{max} - T_0)(1 - e^{-\lambda t}) \quad (1)$$

gdzie T_t oznacza temperaturę w momencie t , λ – stałą określającą efektywność ogrzewania obiektu, wielkość $T_{max} - T_0$ - maksymalny przyrost temperatury podczas ogrzania obiektu. Równanie (1) możemy przedstawić w postaci

$$\log\left(\frac{T_{max}-T_0}{T_{max}-T_t}\right) = \lambda t \quad (2)$$

Stosując klasyczną metodę najmniejszych kwadratów na podstawie obserwacji zachowania temperatury $\{(T_{t_j}, t_j)\}_{0 \leq j \leq n}$ ogrzewanego obiektu wyznaczamy wartość estymatora parametru intensywności ogrzewania.

Celem rozwiązania wedle wynalazku jest opracowanie metody optymalizacji pracy urządzenia grzejnego przedziału sanitarnego ambulansu, opracowanie metody pozwalającej określić prawdopodobieństwo spełnienia normy PN-EN 1789, gdzie poziom referencyjny $T_0 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$, wymagana temperatura przedziału sanitarnego $T_{req} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ w czasie $t_{req} = 15 \text{ min}$ oraz ustalonej maksymalnej temperatury ogrzania na przykład $T_{max} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$ wielkość parametru λ określającego efektywność ogrzewania wynosi 0,0896.

Sposób weryfikacji i sterowania urządzeniem grzewczym montowanym zwłaszcza w przedziałach sanitarnych ambulansów obejmujący wyznaczenie prawdopodobieństwa osiągnięcia temperatury przedziału sanitarnego oraz uwzględniający intensywność nagrzewania szacowaną za pomocą metody najmniejszych kwadratów, w którym to dokonuje się pomiaru temperatury za pomocą co najmniej jednego czujnika temperatury zamontowanego w punkcie krzyżowania się osi wylotów nagrzewnicy lub w środku noszy, **charakteryzuje się tym, że** na podstawie ciągu odczytów temperatury $\{T_{t_j}\}_{0 \leq j \leq n}$ w momentach $t_0 \leq t_1 \leq \dots \leq t_n < t_{req}$ wyznacza się wartość oczekiwaną parametru efektywności ogrzewania za pomocą wzoru

$$\hat{\lambda}_n = \frac{\sum_{j=1}^n t_j \left(\log(T_{max} - T_0) - \log(T_{max} - T_{t_j}) \right)}{\sum_{j=1}^n t_j^2} \quad (3)$$

wariancję

$$\hat{\sigma}_n^2 = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\log(T_{max} - T_0) - \log(T_{max} - T_{t_j}) - \hat{\lambda}_n t_j \right)}{(n-1) \sum_{j=1}^n t_j^2} \quad (4)$$

oraz wyznaczamy prawdopodobieństwo przekroczenia wymaganej temperatury T_{req} w czasie 15 min pod warunkiem że w momencie t_n temperatura jest równa T_{t_n} , które wynosi

$$P(T_{15} \geq T_{req} | T = T_{t_n}) = F \left(\frac{\hat{\lambda}_n}{\hat{\sigma}_n} + \frac{\log(T_{max} - T_{req})}{\hat{\sigma}_n (15 - t_n) \log(T_{max} - T_{t_n})} \right) \quad (5)$$

gdzie $F()$ jest dystrybuantą rozkładu $N(0,1)$ oraz

T_{max} – maksymalna temperatura ogrzania;

T_0 – poziom referencyjny, równy temperaturze początkowej pomiaru;

T_{t_j} – wartość temperatury w momencie t_j , $0 \leq j \leq n$;

T_{req} – minimalny wymagany poziom temperatury po czasie t_{req} ;

t_{req} – wymagany czas ogrzewania ambulansu, dla którego temperatura przedziału sanitarnego powinna być nie mniejsza niż T_{req} ,

jeżeli na podstawie obserwacji $\left\{ (T_{t_j}, t_j) \right\}_{0 \leq j \leq n}$ spełniona nierówność

$P(T_{15} \geq T_{req} | T = T_{t_n}) < 1 - \alpha$ to prawdopodobieństwo że wymagana temperatura przedziału sanitarnego zostanie osiągnięta jest poniżej wymaganego poziomu $1 - \alpha$ oraz należy zwiększyć moc urządzenia grzewczego, aby w momencie t_{req} temperatura przedziału sanitarnego przekroczyła wymaganą wartość T_{req} ;

jeżeli natomiast na podstawie obserwacji $\left\{ T_{t_j} \right\}_{0 \leq j \leq n}$ spełniona nierówność

$P(T_{15} \geq T_{req} | T = T_{t_n}) \geq 1 - \alpha$ to należy przyjąć, iż minimalna wymagana wielkość temperatury T_{req} przedziału sanitarnego po czasie t_{req} zostanie osiągnięta z prawdopodobieństwem co najmniej $1 - \alpha$.

Korzystnie, poziom referencyjny wynosi $T_0 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$, wymagana temperatura przedziału sanitarnego $T_{req} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ w czasie $t_{req} = 15 \text{ min}$ oraz ustalonej maksymalnej temperatury ogrzania np. $T_{max} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$ wielkość parametru λ określającego efektywność ogrzewania wynosi 0,0896.

Korzystnie, pomiar temperatury jest dokonywany w równych czasokresach, w odstępach 1 lub 2, lub 5 lub 10 sekundowych do momentu t_{req} .

Korzystnie, wyznacza się rozkład efektywności ogrzewania λ_m na podstawie odczytów temperatury $\{T_{t_j}\}_{0 \leq j \leq n}$ przedziału sanitarnego do momentu nieprzekraczającego t_{req} ($t_n < t_{req}$) oraz wyznacza się prawdopodobieństwo przekroczenia wymaganej temperatury T_{req} w czasie 15 min pod warunkiem że w momencie t_n temperatura jest równa T_{t_n} za pomocą wzorów (3)-(5) w pamięci urządzenia elektronicznego.

Korzystnie, za pomocą urządzenia komputerowego, mikrokontrolera steruje się mocą urządzenia grzewczego w celu osiągnięcia minimalnej wymaganej wielkości temperatury T_{req} przedziału sanitarnego w czasie t_{req} .

Przedmiot wynalazku został przedstawiony w przykładzie wykonania na załączonym rysunku gdzie Fig. 1 zaprezentowano wymagany wzrost temperatury w czasie dla ogrzewania przedziału ambulansu według normy PN-EN 1789., natomiast Fig. 2 przedstawiono pomiar wzrostu temperatury w czasie oraz prognozowana temperatura ogrzania przedziału sanitarnego ambulansu po 15 min, Fig. 3. uwidoczniono prawdopodobieństwo przekroczenia temperatury przedziału sanitarnego ambulansu, Fig. 4 przedstawia rozkłady parametru intensywności ogrzewania ambulansu.

Procedura testowania systemu ogrzewania powinna być stosowana dla wszystkich typów karetek (A, B, C) i powinna spełniać następujące założenia:

- nie należy podłączać zewnętrznego źródła zasilania,
- w razie potrzeby zainstaluj czujnik temperatury płynu chłodzącego na przyłączy T nagrzewnicy (po stronie silnika).

Procedurę tworzą poniższe etapy:

- otworzyć drzwi przedziału pacjenta;
- schładzać pojazd przez co najmniej 6 godzin w temperaturze określonej w punkcie 4.4.7.1;
- sprawdzić, czy system ogrzewania przedziału pacjenta jest wyłączony;
- uruchomić silnik;
- uruchomić ogrzewanie kabiny kierowcy w najkorzystniejszej pozycji;

- uruchomić silnik do osiągnięcia normalnej temperaturę roboczej (silnik jest uważany za gorący po dwóch otwarciach termostatu);
- zamknąć drzwi przedziału pasażerskiego, uruchomić system ogrzewania przedziału pasażerskiego (regulator w pozycji maksymalnej/pokrętło w położeniu maksymalnym), z silnikiem na biegu jałowym lub przyspieszonym biegu jałowym, jeśli uruchomi się on podczas testu bez ręcznego sterowania.

W raporcie z testu należy wskazać, czy podczas testu zadziałał przyspieszony bieg jałowy. Test:

- początek testu $t_0 = 0$;
- zapis temperatury w czasie;
- koniec testu: $t_0 + 20$ min;
- zatwierdzenie testu: czujniki temperatury powinny osiągnąć wartości wynoszące co najmniej 22°C w czasie $t_0 + 15$ min.

Pomiary zarejestrowane na jednym czujniku na środku noszy powinny spełniać kryteria. Biorąc pod uwagę zmienne warunki użytkowania ambulansów, ustawioną temperaturę należy sprawdzać wyłącznie poprzez porównanie wyświetlanej temperatury (22°C) po 15-minutowym wzroście temperatury. Zmierzona temperatura nie powinna różnić się o więcej niż 5°C .

Przykład

Sposób weryfikacji i sterowania urządzeniem grzewczym montowanym zwłaszcza w przedziałach sanitarnych ambulansów obejmujący wyznaczenie prawdopodobieństwa osiągnięcia temperatury przedziału sanitarnego oraz uwzględniający intensywność nagrzewania szacowaną za pomocą metody najmniejszych kwadratów, w którym to dokonuje się pomiaru temperatury za pomocą czujnika temperatury zamontowanego w punkcie krzyżowania się osi wylotów nagrzewnicy lub w środku noszy. Pomiaru można dokonywać za pomocą dowolnego czujnika, w szczególności czujnika temperatury na podczerwień.

W pamięci komputera na podstawie ciągu odczytów temperatury $\{T_{t_j}\}_{0 \leq j \leq n}$ w momentach $t_0 \leq t_1 \leq \dots \leq t_n < t_{req}$ gdzie moment ostatniego

pomiaru jest mniejszy niż wymagany czas ogrzewania ambulansu) wyznacza rozkład parametru efektywności ogrzewania przedziału sanitarnego ambulansu λ , który jest zmienną losową o rozkładzie normalnym $N(\hat{\lambda}_n, \hat{\sigma}_n^2)$, gdzie wartość oczekiwana parametru efektywności ogrzewania:

$$\hat{\lambda}_n = \frac{\sum_{j=1}^n t_j \left(\log(T_{max} - T_0) - \log(T_{max} - T_{t_j}) \right)}{\sum_{j=1}^n t_j^2}, \quad (3)$$

natomiast wariancja

$$\hat{\sigma}_n^2 = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\log(T_{max} - T_0) - \log(T_{max} - T_{t_j}) - \hat{\lambda}_n t_j \right)^2}{(n-1) \sum_{j=1}^n t_j^2} \quad (4)$$

gdzie:

T_{max} – maksymalna temperatura ogrzania;

T_0 – poziom referencyjny, równy temperaturze początkowej pomiaru;

T_{t_j} – wartość temperatury w momencie t_j , $0 \leq j \leq n$;

T_{req} – minimalny wymagany poziom temperatury po czasie t_{req} ;

t_{req} – wymagany czas ogrzewania ambulansu, dla którego temperatura przedziału sanitarnego powinna być nie mniejsza niż T_{req} ,

następnie szacowane jest prawdopodobieństwo przekroczenia wymaganej temperatury T_{req} w czasie 15 min pod warunkiem że w momencie t_n temperatura jest równa T_{t_n} , które wynosi

$$P(T_{15} \geq T_{req} | T = T_{t_n}) = F \left(\frac{\hat{\lambda}_n}{\hat{\sigma}_n} + \frac{\log(T_{max} - T_{req})}{\hat{\sigma}_n (15 - t_n) \log(T_{max} - T_{t_n})} \right) \quad (5)$$

gdzie $F()$ jest dystrybuantą rozkładu $N(0,1)$.

Dla ustalonego poziomu istotności np. $\alpha = 0.05$ (prawdopodobieństwo nie spełnienia warunku dotyczącego ogrzania przedziału sanitarnego ambulansu) jeżeli na podstawie obserwacji $\left\{ (T_{t_j}, t_j) \right\}_{0 \leq j \leq n}$ spełniona nierówność $P(T_{15} \geq T_{req} | T = T_{t_n}) < 1 - \alpha$ to prawdopodobieństwo osiągnięcia wymaganej

temperatury przedziału sanitarnego jest poniżej $1 - \alpha$ (przedział sanitarny nie zostanie nagrany do 22C w czasie 15min z prawdopodobieństwem co najmniej $1 - \alpha$), należy zwiększyć moc urządzenia grzewczego aby w momencie t_{req} temperatura przedziału sanitarnego przekroczyła wymaganą wartość T_{req} ;

jeżeli natomiast na podstawie obserwacji $\{(T_{t_j}, t_j)\}_{0 \leq j \leq n}$ spełniona nierówność $P(T_{15} \geq T_{req} | T = T_{t_n}) \geq 1 - \alpha$ to z prawdopodobieństwem co najmniej $1 - \alpha$ wymagana temperatura przedziału sanitarnego zostanie osiągnięta (przedział sanitarny zostanie nagrany do 22C w czasie 15min), zatem z prawdopodobieństwem co najmniej $1 - \alpha$ wymagana norma PN-EN 1789 zostanie spełniona. Poziom referencyjny wynosi $T_0 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$, wymagana temperatura przedziału sanitarnego $T_{req} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ w czasie $t_{req} = 15 \text{ min}$ oraz ustalonej maksymalnej temperatury ogrzania np. $T_{max} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$ wielkość parametru λ określającego efektywność ogrzewania wynosi 0,0896.

Pomiar temperatury może nie być ciągły, tzn. pomiar może być dokonywany w równych czasokresach, np. w odstępach 10 sekundowych do momentu t_{req} . Wyznacza się rozkład efektywności ogrzewania λ na podstawie odczytów temperatury $\{T_{t_j}\}_{0 \leq j \leq n}$ przedziału sanitarnego do momentu t_{req} oraz wyznacza się $P(T_{15} \geq T_{req} | T = T_{t_n})$ prawdopodobieństwo przekroczenia wymaganej temperatury T_{req} w czasie 15 min pod warunkiem że w momencie t_n temperatura jest równa T_{t_n} za pomocą wzoru (5) w pamięci urządzenia elektronicznego, komputera oraz określa się możliwość spełnienia wymagań ogrzania ambulansu do temperatury T_{req} w czasie t_{req} . Za pomocą urządzenia komputerowego, mikrokontrolera steruje się mocą urządzenia grzewczego w celu osiągnięcia minimalnej wymaganej wielkości temperatury T_{req} przedziału sanitarnego w czasie t_{req} .

Przykład wyznaczenia prawdopodobieństwa przekroczenia wymaganej temperatury przedziału sanitarnego ambulansu oraz reguła sterowania ogrzewaniem.

Zależność przyrostu temperatury w czasie określamy za pomocą wzoru

$$T_t = T_0 + (T_{max} - T_0)(1 - e^{-\lambda t}) \quad (1)$$

gdzie T_t oznacza temperaturę w momencie t , λ – stałą określającą efektywność zamontowanego urządzenia do ogrzania obiektu, wielkość $T_{max} - T_0$ - maksymalny przyrost temperatury.

Zgodnie z normą PN-EN 1789 (punkt 4.4.7.2) przyjmujemy

$T_0 = 5$ - poziom referencyjny;

$T_{req} = 22$ - minimalny wymagany poziom po 15 min

oraz ustalamy maksymalną temperaturę ogrzania ambulansu np. $T_{max} = 28^\circ\text{C}$.

Dla wymagań według normy PN-EN 1789 po 15 min powinna być spełniona nierówność $T_{15} \geq T_{req}$. Korzystając ze wzoru (5) spełnienie nierówności $T_{15} \geq T_{req}$ z prawdopodobieństwem co najmniej $1 - \alpha$ jest równoważne spełnieniu warunku

$$F\left(\frac{\hat{\lambda}_n}{\hat{\sigma}_n} + \frac{\log(T_{max} - T_{req})}{\hat{\sigma}_n(15 - t_n)\log(T_{max} - T_{t_n})}\right) \geq 1 - \alpha.$$

Na Fig. 1 przedstawiono wymagania dotyczące ogrzewania w ambulansach według normy PN-EN 1789.

Identyfikacja efektywności urządzenia grzewczego obejmuje następujące czynności:

1. Wykonanie pomiaru.

dokonyjemy pomiaru temperatury obiektu w czasie $\{(T_{t_j}, t_j)\}_{0 \leq j \leq n}$, gdzie $t_n \leq 15$ (obserwujemy do wymaganego czasu 15 min). W chwili 0 włączamy urządzenie grzewcze. Wielkość T_0 -temperatura w chwili zero jako poziom referencyjny, t_j - czas ogrzewania do j -go momentu odczytu, $0 \leq j \leq n$.

2. Estymacja efektywności.

Na podstawie odczytów temperatury w czasie wyznaczamy wartość oczekiwaną parametru efektywności ogrzewania za pomocą wzoru

$$\hat{\lambda}_n = \frac{\sum_{j=1}^n t_j \left(\log(T_{max} - T_0) - \log(T_{max} - T_{t_j}) \right)}{\sum_{j=1}^n t_j^2}, \quad (3)$$

wariancję

$$\hat{\sigma}_n^2 = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\log(T_{max} - T_0) - \log(T_{max} - T_{t_j}) - \hat{\lambda}_n t_j \right)^2}{(n - 1) \sum_{j=1}^n t_j^2} \quad (4)$$

oraz za pomocą wzoru (5) wyznaczamy prawdopodobieństwo przekroczenia wymaganego poziomu T_{req} po 15 min.

3. Reguła sterowania urządzeniem grzewczym.

Jeżeli na podstawie obserwacji $\{(T_{t_j}, t_j)\}_{0 \leq j \leq n}$ spełniona nierówność $P(T_{15} \geq T_{req} | T = T_{t_n}) < 1 - \alpha$ to prawdopodobieństwo że wymagana temperatura przedziału sanitarnego zostanie osiągnięta jest poniżej wymaganego poziomu $1 - \alpha$ oraz należy zwiększyć moc urządzenia grzewczego, aby spełnić wymagania normy PN-EN 1789.

Jeżeli na podstawie obserwacji $\{(T_{t_j}, t_j)\}_{0 \leq j \leq n}$ spełniona nierówność $P(T_{15} \geq T_{req} | T = T_{t_n}) \geq 1 - \alpha$ to z prawdopodobieństwem co najmniej $1 - \alpha$ przedział sanitarny ambulansu zostanie nagrzany do 22C w czasie 15 min (wymagania normy zostaną spełnione).

Przykładowo dokonujemy pomiarów co 10 sek (6 pomiarów na minutę) w czasie 8 min (49 odczytów: początkowy oraz 48 pomiarów). Tabela poniżej przedstawia przykładowe odczyty.

Tabela 1. Przykłady pomiarów temperatury w przedziale ambulansu:

| Moment | t_j , [min] | T_{t_j} , [C] (przykład 1) | T_{t_j} , [C] (przykład 2) |
|--------------|---------------|------------------------------|------------------------------|
| 0 min 0 sek | 0.00 | 5.00 | 5.00 |
| 0 min 10 sek | 0.17 | 5.33 | 5.78 |
| 0 min 20 sek | 0.33 | 5.61 | 5.83 |
| 0 min 30 sek | 0.50 | 5.78 | 6.12 |
| 0 min 40 sek | 0.67 | 6.00 | 6.59 |
| 0 min 50 sek | 0.83 | 6.42 | 6.62 |
| 1 min 0 sek | 1.00 | 6.88 | 6.90 |
| 1 min 10 sek | 1.17 | 7.23 | 7.34 |
| 1 min 20 sek | 1.33 | 7.39 | 7.85 |
| 1 min 30 sek | 1.50 | 7.46 | 7.92 |
| 1 min 40 sek | 1.67 | 7.60 | 8.37 |

| Moment | t_j , [min] | T_{t_j} , [C] (przykład 1) | T_{t_j} , [C] (przykład 2) |
|--------------|---------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 min 50 sek | 1.83 | 8.01 | 8.88 |
| 2 min 0 sek | 2.00 | 8.36 | 8.94 |
| 2 min 10 sek | 2.17 | 8.56 | 9.52 |
| 2 min 20 sek | 2.33 | 8.64 | 9.57 |
| 2 min 30 sek | 2.50 | 8.74 | 9.63 |
| 2 min 40 sek | 2.67 | 9.33 | 9.90 |
| 2 min 50 sek | 2.83 | 9.38 | 10.27 |
| 3 min 0 sek | 3.00 | 9.70 | 10.79 |
| 3 min 10 sek | 3.17 | 9.80 | 10.99 |
| 3 min 20 sek | 3.33 | 10.20 | 11.00 |
| 3 min 30 sek | 3.50 | 10.30 | 11.72 |
| 3 min 40 sek | 3.67 | 10.39 | 11.79 |
| 3 min 50 sek | 3.83 | 10.66 | 12.13 |
| 4 min 0 sek | 4.00 | 11.09 | 12.16 |
| 4 min 10 sek | 4.17 | 11.31 | 12.59 |
| 4 min 20 sek | 4.33 | 11.37 | 12.61 |
| 4 min 30 sek | 4.50 | 11.49 | 13.06 |
| 4 min 40 sek | 4.67 | 11.84 | 13.27 |
| 4 min 50 sek | 4.83 | 12.02 | 13.33 |
| 5 min 0 sek | 5.00 | 12.37 | 13.46 |
| 5 min 10 sek | 5.17 | 12.49 | 13.61 |
| 5 min 20 sek | 5.33 | 12.52 | 13.94 |
| 5 min 30 sek | 5.50 | 12.85 | 14.32 |
| 5 min 40 sek | 5.67 | 13.07 | 14.59 |
| 5 min 50 sek | 5.83 | 13.14 | 14.80 |
| 6 min 0 sek | 6.00 | 13.22 | 14.94 |
| 6 min 10 sek | 6.17 | 13.50 | 15.02 |
| 6 min 20 sek | 6.33 | 13.89 | 15.42 |
| 6 min 30 sek | 6.50 | 13.96 | 15.50 |
| 6 min 40 sek | 6.67 | 14.25 | 15.52 |

| Moment | t_j , [min] | T_{t_j} , [C] (przykład 1) | T_{t_j} , [C] (przykład 2) |
|--------------|---------------|------------------------------|------------------------------|
| 6 min 50 sek | 6.83 | 14.29 | 16.03 |
| 7 min 0 sek | 7.00 | 14.56 | 16.13 |
| 7 min 10 sek | 7.17 | 14.65 | 16.31 |
| 7 min 20 sek | 7.33 | 14.69 | 16.67 |
| 7 min 30 sek | 7.50 | 14.93 | 16.73 |
| 7 min 40 sek | 7.67 | 15.16 | 16.83 |
| 7 min 50 sek | 7.83 | 15.52 | 17.09 |
| 8 min 0 sek | 8.00 | 15.59 | 17.34 |

Za pomocą wzoru (3) i (4) wyznaczamy wartość oczekiwaną i wariancję parametru efektywności ogrzewania. Za pomocą wzoru (1) dokonano prognozy wzrostu temperatury oraz zostały przedstawione na Fig. 2, natomiast za pomocą wzoru (5) wyznaczamy prawdopodobieństwo przekroczenia wymaganej temperatury przedziału sanitarnego $T_{req} = 22$. Fig. 3 przedstawia prawdopodobieństwo przekroczenia temperatury T_{req} , natomiast Fig. 4 przedstawia rozkład parametru intensywności ogrzewania.

Dla przykładu 1 rozkład parametru intensywności ogrzania jest rozkładem normalnym $N(0.0759, 4 \cdot 10^{-8})$ przedstawiony kolorem czerwonym, natomiast dla przykładu 2 rozkład parametru intensywności ogrzania jest rozkładem normalnym $N(0.0945, 8 \cdot 10^{-8})$ kolorem granatowym. Liniją przerywaną zaznaczony minimalny wymagany poziom intensywności nagrzewania przedziału sanitarnego λ_{min} .

Dla przykładu 1 w momencie $t_n = 8$ temperatura przedziału jest równa $T_{t_n} = 15.59$, natomiast prawdopodobieństwo ogrzewania przedziału sanitarnego w czasie 15 min do poziomu co najmniej $22C$ wynosi $P(T_{15} \geq T_{req} | T = T_{t_n}) = 0 \leq 1 - \alpha = 0.95$. Prawdopodobieństwo ogrzania ambulansu do $22C$ w czasie 15min jest poniżej poziomu ufności $1 - \alpha$, zatem należy zwiększyć moc urządzenia grzewczego. Pomiar temperatury jest przedstawiony na Fig. 2 za pomocą krzywej koloru czerwonego. Prognozowane zachowanie wzrostu temperatury przedziału pacjenta w ambulansie jest przedstawione krzywą przerywaną koloru czerwonego. Zgodnie z regułą sterowania należy zwiększyć moc urządzenia grzewczego aby spełnić wymagane normy PN-EN 1789.

Dla przykładu 2 w momencie $t_n = 8$ temperatura przedziału jest równa $T_{t_n} = 17.34$, natomiast prawdopodobieństwo ogrzewania przedziału sanitarnego w czasie 15 min do poziomu conajmniej $22C$ wynosi $P(T_{15} \geq T_{req} | T = T_{t_n}) = 1 \geq 1 - \alpha = 0.95$. Prawdopodobieństwo ogrzania ambulansu do $22C$ w czasie 15min jest powyżej poziomu ufności, zatem moc urządzenia grzewczego pozostawiamy bez zmian. Pomiar temperatury jest przedstawiony na Fig. 2 za pomocą krzywej koloru granatowego. Prognozowane zachowanie wzrostu temperatury przedziału pacjenta w ambulansie jest przedstawione krzywą przerywaną koloru granatowego. Zgodnie z reguła sterowania pozostawiamy bez zmian moc urządzenia grzewczego, wymagania normy PN-EN 1789 zostanie spełniona z prawdopodobieństwem co najmniej 0.95.

Instytut Transportu Samochodowego
Politechnika Lubelska
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego
Pełnomocnik:
Bartłomiej Tomaszewski
Rzecznik patentowy