

1. Cel instrukcji

Celem dokumentu jest określenie sposobu szacowania niepewności w pomiarach środowisk cieplnych. Instrukcję stosuje się do wyznaczenia niepewności:

- wskaźnika WBGT;
- wskaźnika t_{wc} ;
- wskaźnika PMV i PPD.

2. Postępowanie

Niepewność wskaźników oceny środowisk cieplnych szacowana jest własną metodą.

2.1. Niepewność wskaźnika WBGT

Niepewność standardowa wynikająca z dokładności i wzorcowania sond temperaturowych miernika:

$$u_B = \sqrt{\frac{u_w^2}{k^2} + \left(\frac{0,5}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

gdzie:

0,5 - dokładność sond temperaturowych;

u_w - niepewność rozszerzona wzorcowania sond temperaturowych podana na świadectwie wzorcowania (sondy są wzorcowane w kilku punktach do oszacowania niepewności u_w można przyjąć wartość średnią z niepewności wzorcowania lub wartość maksymalną);

k - współczynnik rozszerzenia, podany na świadectwie wzorcowania;

Niepewność standardową wskaźnika WBGT_j dla j-tej czynności zawodowej obliczamy ze wzoru

a) dla pomieszczeń bez nasłonecznienia:

$$u_{WBGT_{głow (brzuch)(kostki)},j} = \sqrt{\left(0,7^2 \cdot (u_B^2 + s_j^2)\right) + \left(0,3^2 \cdot (u_B^2 + s_j^2)\right)}$$

Gdzie „s” odchylenie standardowe dla każdego termometru z osobna

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \left[\sum_{i=1}^n (x_{i,j} - \bar{x}_j)^2 \right]}$$

$$u_{WBGT,j} = \frac{1}{4} \sqrt{u_{WBGT_{kostki},j}^2 + (2 \cdot u_{WBGT_{brzuch},j})^2 + u_{WBGT_{glowa},j}^2}$$

$$u_{C,WBGT} = \frac{1}{60} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m (u_{WBGT,j} \cdot t_j)^2}$$

b) dla pomieszczeń z nasłonecznieniem

$$u_{WBGT_{glow (brzuch)(kostki),j}} = \sqrt{(0,7^2 \cdot (u_B^2 + s_j^2)) + (0,2^2 \cdot (u_B^2 + s_j^2)) + (0,1^2 \cdot (u_B^2 + s_j^2))}$$

Gdzie „s” odchylenie standardowe dla każdego termometru z osobna

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \left[\sum_{i=1}^n (x_{i,j} - \bar{x}_j)^2 \right]}$$

$$u_{WBGT,j} = \frac{1}{4} \sqrt{u_{WBGT_{kostki},j}^2 + (2 \cdot u_{WBGT_{brzuch},j})^2 + u_{WBGT_{glowa},j}^2}$$

$$u_{C,WBGT} = \frac{1}{60} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m (u_{WBGT,j} \cdot t_j)^2}$$

2.2. Niepewność wskaźnika t_{wc}

Niepewność standardowa typu B wynikająca z dokładności i wzorcowania sondy temperaturowej miernika:

$$u_{B,t_a} = \sqrt{\frac{u_w^2}{k^2} + \left(\frac{0,5}{\sqrt{3}} \right)^2}$$

gdzie:

0,5 - dokładność sond temperaturowych;

u_w - niepewność rozszerzona wzorcowania sond temperaturowych podana na świadectwie wzorcowania (sondy są wzorcowane w kilku punktach za niepewność u_w można przyjąć wartość średnią z niepewności wzorcowania lub wartość maksymalną);

k - współczynnik rozszerzenia, podany na świadectwie wzorcowania.

Niepewność typu A pomiaru temperatury:

$$t_{a,gowa(brzuch)(kostki)} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_{a,i}$$

$$u_{A,t_{a,gowa(brzuch)(kostki)}} = S_{t_{a,gowa(brzuch)(kostki)}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (t_{a,i} - t_a)^2}$$

$$u_{t_{a,gowa(brzuch)(kostki)}} = \sqrt{u_{A,t_{a,gowa(brzuch)(kostki)}}^2 + u_{B,t_a}^2}$$

$$u_{t_a} = \sqrt{\left(\frac{1}{4} \cdot u_{t_{a,gowa}} \right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot u_{t_{a,brzuch}} \right)^2 + \left(\frac{1}{4} \cdot u_{t_{a,kostki}} \right)^2}$$

Niepewność pomiaru prędkości powietrza v_{10}

Niepewność standardowa typu B wynikająca z dokładności i wzorcowania sondy anemometrycznej:

$$u_{B,v} = \sqrt{\left(\frac{u_w}{k}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,05}{\sqrt{3}} \cdot v_a\right)^2} \quad \text{m/s}$$

gdzie:

u_w - niepewność rozszerzona wzorcowania sondy anemometrycznej podana na świadectwie wzorcowania (sonda jest wzorcowana w kilku punktach za niepewność u_w można przyjąć wartość średnią z niepewności wzorcowania lub wartość maksymalną);

v_a - zmierzona prędkość powietrza;

k - współczynnik rozszerzenia, podany na świadectwie wzorcowania.

Niepewność typu A pomiaru prędkości powietrza:

$$v_a = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v_{a,i}$$

$$u_{A,v_a} = S_{(v_a)} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (v_{a,i} - v_a)^2}$$

$$u_{v_{10}} = 1,5 \cdot \sqrt{u_{A,v_a}^2 + u_{B,v_a}^2}$$

Niepewność standardową wskaźnika t_{WC} obliczamy ze wzoru:

$$u_{C,t_{WC}} = \sqrt{[c_1 \cdot u_{t_a}]^2 + [c_2 \cdot u_{v_{10}}]^2}$$

$$c_1 = 0,6215 + 0,3965 \cdot v_{10}^{0,16}$$

$$c_2 = \left| \frac{0,06344 \cdot t_a - 1,8192}{v_{10}^{0,84}} \right|$$

UWAGA

Współczynniki czułości c_1 i c_2 są odpowiednio pochodnymi:

$$c_1 = \left| \frac{\partial t_{WC}}{\partial t_a} \right|$$

$$c_2 = \left| \frac{\partial t_{WC}}{\partial v_{10}} \right|$$

2.3. Niepewność wskaźnika PMV i PPD

Z uwagi na złożoność wzoru na PMV nie ma możliwości uwzględnienia w budżecie niepewności składowych związanych z temperaturą, prędkością wiatru czy wilgotnością. Należy zauważyć że niepewność tempa metabolizmu jest najbardziej istotną składową niepewności gdyż szacuje się na poziomie ok. 20%. Laboratorium może oszacować niepewność wskaźnika PMV własnymi metodami np. na podstawie odtwarzalności w

badaniach biegłości. Dalsze wyjaśnienia omawianej kwestii podaje artykuł „O problemach związanych z oceną środowiska cieplnego za pomocą wskaźnika PMV” dr inż. Anna Sobolewska, Bezpieczeństwo Pracy 12/2011”

Inne podejście do problemu szacowania niepewności PMV podano w materiale „Niepewność PMV.pdf”

Niepewność wskaźnika PPD

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)}$$

$$u_{C,PPD} = c_1 \cdot u_{C,PMV}$$

$$c_1 = 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)} \cdot (0,03353 \cdot 4 \cdot PMV^3 + 0,2179 \cdot 2 \cdot PMV)$$

UWAGA

Współczynnik czułości c_1 jest pochodną:

$$c_1 = \left| \frac{\partial PPD}{\partial PMV} \right|$$

3. Zapis wyników obliczeń z niepewnością

Laboratorium zapisuje wyniki obliczeń z niepewnością rozszerzoną. W formacie $X(+U_X)$. Niepewność rozszerzona wskaźników narażenia przy jednostronnym przedziale ufności równym 95% wynosi:

$$U_X = 2 \cdot u_{c,X}$$