

Parametrinio garso greièio ore daviklio su nikelio varþos termometru tyrimas

J.Ramanauskas

Kauno technologijos universitetas

Patikslinta temperatûrinë garso greièio ore priklausomybë

Ávairios garso greièio ore temperatûrinës priklausomybës apraðytos [1,2,3,4,5]. Pagal A.Voleiðio matavimø rezultatus [6] sukurtas patikslintas garso greièio ore $c(^{\circ}t)$ parametrinis modelis [7], kurio analitinë iðraiðka tokia:

$$c(^{\circ}t) = \left[(20,0764 \pm 0,0064) + (3,77 \pm 0,32) \cdot 10^{-4} \cdot ^{\circ}t \right] \cdot \sqrt{273,16 + ^{\circ}t} \quad (1)$$

Ðio modelio skiriamasis bruoþas, palyginti su þinomais modeliais, yra tas, kad koeficientas prieð kvadratinæ ðaknà priklauso nuo temperatûros. Tolesniuose skaièiavimuose naudosimës tokia $c(^{\circ}t)$ iðraiðka:

$$c(^{\circ}t) = (20,0764 + 3,77 \cdot 10^{-4} \cdot ^{\circ}t) \cdot \sqrt{273,16 + ^{\circ}t} \quad (2)$$

Nikelio varþos termometro charakteristika

Nikelio varþos termometro charakteristika literatûroje [8] yra pateikta lentelë, kurios duomenys atitinka standartà DIN 43760 ir pateikiami ëia 1 lentelëje.

1 lentelë. Nikelio varþos termometro charakteristikos duomenys [8]

Temperatûra, °C	Nikelio varþos termometro varþa, Ω	Temperatûra, °C	Nikelio varþos termometro varþa, Ω
-50	74,20	30	117,10
-40	79,10	40	123,00
-30	84,10	50	129,10
-20	89,30	60	135,30
-10	94,60	70	141,60
0	100,00	80	148,20
10	105,60	90	154,90
20	111,30	100	161,70

Ðiems duomenims pritaikius ketvirtojo laipsnio polinominës regresijos procedûrà, gaunama polinominë nikelio varþos termometro iðraðka $R_{Ni}(^{\circ}t)$:

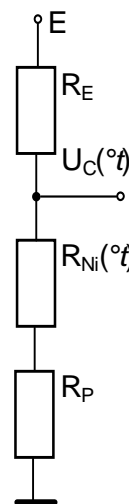
$$R_{Ni}(^{\circ}t) = 100,030774 + 0,549732 \cdot ^{\circ}t + 0,00062666 \cdot ^{\circ}t^2 -$$

$$- 3,371338 \cdot 10^{-7} \cdot ^{\circ}t^3 + 7,925994 \cdot 10^{-9} \cdot ^{\circ}t^4, \Omega \quad (3)$$

$R_{Ni}(^{\circ}t)$ temperatûrinës priklausomybës (3) maksimalus nesutapimas su duomenø taðkais yra +0,058 Ω ir -0,043Ω, o vidutinë kvadratinë 1 lentelës duomenø nuokrypis nuo charakteristikos $R_{Ni}(^{\circ}t)$ yra 0,025 Ω.

Parametrinio garso greièio ore daviklio su nikelio varþos termometru charakteristika

Parametrinis garso greièio ore daviklis yra toks daviklis, kuris ið oro temperatûros daviklio funkcijos iðëjime suformuoja garso greièio charakteristikà, ðiuo atveju pagal (2) iðraiðkà. Preliminarûs paklaidø tyrimai parodë, kad daviklis su nikelio varþos termometru $R_{Ni}(^{\circ}t)$ (schema pateikta 1 pav.) ágalina gauti paklaidø minimumà ir todėl tikslinga atlikti detalius ðio daviklio tyrimus.



1 pav. Parametrinio garso greièio ore daviklio su nikelio varþos termometru schema

Tokio daviklio iðëjimo signalas iðreiðkiamas formule:

$$U_c(^{\circ}t, S_R, S_P) = E \cdot \frac{1}{1 + \frac{S_R}{\frac{R_{Ni}(^{\circ}t)}{R_{Ni}(0)} + S_P}} \quad (4)$$

ëia $S_R = R_E / R_{Ni}(0)$, $S_P = R_P / R_{Ni}(0)$; o $R_{Ni}(0)$ - varþos termometro $R_{Ni}(^{\circ}t)$ varþa esant 0 °C temperatûrai.

Tyrimo metodika

(4) iðraiðkoje, kai tyrimui imame $E=1$, daviklio funkcija $U_c(^{\circ}t, S_R, S_P)$ priklauso nuo 3 parametrø. Ðiuo atveju funkcijos $U_c(^{\circ}t, S_R, S_P)$ tyrimà atliksime, kai jos

mažiausios santykinės paklaidos tiesinės aproksimacijos $U_{tC}(\circ t, S_R, S_P) = a_{Ni}(S_R, S_P) + b_{Ni}(S_R, S_P) \cdot \circ t$ koeficientø santykis $S_{utC} = a_{Ni}(S_R, S_P) / b_{Ni}(S_R, S_P)$ yra lygus garso greièio ore funkcijos $c(\circ t)$ (2) mažiausios santykinės paklaidos tiesinės aproksimacijos $ct(\circ t) = a_c + b_c \cdot \circ t$ koeficientø santykiui $S_{ct} = a_c / b_c$ pasirinktame temperatūrø diapazone. Tik tokiu atveju ðio tipo daviklio tyrimas turi prasmę, nes iðėjimo signalas $U_C(\circ t, S_R, S_P)$ pasidaro tiesiogiai proporcingas garso greièio ore funkcijai $c(\circ t)$, ir tik tokiu atveju schema, parodyta 1 paveiksle, yra parametrinis garso greièio ore daviklis. Parametrinio daviklio paklaidoms tirti funkcija $ct(\circ t)$ sutapdinama su funkcija $U_{tC}(\circ t, S_R, S_P)$ ir vietoj jø á iðraiðkas áraðomos funkcijos $c(\circ t)$ ir $U_C(\circ t, S_R, S_P)$.

Mažiausios santykinės paklaidos tiesinë aproksimacija yra tokia funkcijos $f(\circ t)$ tiesinės aproksimacijos funkcija $ft(\circ t)$, kurios santykinės aproksimacinės paklaidos iðreikðtos formule:

$$\delta f(\circ t), \% = \left(1 - \frac{ft(\circ t)}{f(\circ t)} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

Absoliutusias dydis pasirinktame temperatūrø diapazone yra minimalus.

Èia analizuojamø funkcijø $f(\circ t)$ ($c(\circ t)$ (2) ir $R_{Ni}(\circ t)$ (4)) mažiausiosios santykinės paklaidos tiesinės aproksimacijos funkcijà

$$ft(\circ t) = a_f + b_f \cdot \circ t \quad (6)$$

gauname tokiu būdu. Pirmiausia pasirinktame temperatūrø ($\circ t_{\min} \div \circ t_{\max}$) diapazone surandame tiesės $ftk(\circ t) = a_{kf} + b_{kf} \cdot \circ t$ jungianèios kraðtinius $f(\circ t_{\min})$ ir $f(\circ t_{\max})$ funkcijos $f(\circ t)$ taðkus, koeficientus b_{kf} ir a_{kf} ið formuljø:

$$b_{kf} = \frac{f(\circ t_{\max}) - f(\circ t_{\min})}{\circ t_{\max} - \circ t_{\min}}, \quad (7)$$

$$a_{kf} = f(\circ t_{\min}) - b_{kf} \cdot \circ t_{\min}. \quad (8)$$

Taip gauname:

$$ftk(\circ t) = f(\circ t_{\min}) + \frac{f(\circ t_{\max}) - f(\circ t_{\min})}{\circ t_{\max} - \circ t_{\min}} \cdot (\circ t - \circ t_{\min}) \quad (9)$$

Surandame pasirinktame temperatūrø diapazone funkcijø skirtumo

$$\Delta f(\circ t) = f(\circ t) - ftk(\circ t) \quad (10)$$

maksimumà $\Delta f_{\max}(\circ t_{\Delta f \max})$ ir jos santykinę paklaidà tame $\circ t_{\Delta f \max}$ taðke ið formulės:

$$\delta ftk(\circ t_{\Delta f \max}) = 1 - \frac{\Delta f_{\max}(\circ t_{\Delta f \max})}{ftk(\circ t_{\Delta f \max})}. \quad (11)$$

Nustatyta, kad (11) formulėje atliekant dalybà ið $ftk(\circ t_{\Delta f \max})$, o ne ið $f(\circ t_{\Delta f \max})$ gaunamas didesnis mažiausiosios santykinės paklaidos tiesinės aproksimacijos tikslumas.

Surandame funkcijos $ft(\circ t)$ reikðmes temperatūrø diapazono $\circ t_{\min}$ ir $\circ t_{\max}$ taðkuose ið formuljø:

$$ft(\circ t_{\min}) = f(\circ t_{\min}) \cdot \left(1 + \frac{\delta ftk(\circ t_{\Delta f \max})}{2} \right), \quad (12)$$

$$ft(\circ t_{\max}) = f(\circ t_{\max}) \cdot \left(1 + \frac{\delta ftk(\circ t_{\Delta f \max})}{2} \right). \quad (13)$$

Ir pagaliau surandame mažiausiosios santykinės paklaidos tiesinės aproksimacijos funkcijos $ft(\circ t)$ (6) b_f ir a_f koeficientus ið formuljø:

$$b_f = \frac{ft(\circ t_{\max}) - ft(\circ t_{\min})}{\circ t_{\max} - \circ t_{\min}}, \quad (14)$$

$$a_f = ft(\circ t_{\min}) - b_f \cdot \circ t_{\min}. \quad (15)$$

2 lentelėje pateiktos pagal mažiausiosios santykinės paklaidos tiesinės aproksimacijos procedūrà atliktø tiesinės aproksimacijos funkcijos koeficientø reikðmės ir aproksimacijos paklaidà $\delta f(\circ t_{\delta f \max})$ taðke $\circ t_{\delta f \max}$, kuriame funkcija $\delta f(\circ t)$ (5) turi maksimumà.

Funkcijø $c(\circ t)$ ir $U_C(\circ t, S_R, S_P)$ sutapdinimo esmė tokia. 1 paveiksle pateiktos daviklio schemas iðėjime turi būti suformuotas toks informacinis signalas $U_C(\circ t, S_R, S_P)$, kuris būtų kiek galima labiau tiesiogiai proporcingas garso greièio ore funkcijai $c(\circ t)$ (2). Kadangi funkcijos $c(\circ t)$ ir $U_C(\circ t, S_R, S_P)$ yra skirtingai kreivos ir nevienodo mastelio, tai sutapdiname ðiø funkcijø mažiausiosios santykinės paklaidos tiesinės aproksimacijos tieses. Taèiau sutapdiname ne bet kokià $U_{tC}(\circ t, S_R, S_P)$ tiesę, bet tik tokià, kurios $S_{utC} = S_{ct}$. Taigi garso greièio funkcija $c(\circ t)$ (2), sutapdinta su $U_C(\circ t, S_R, S_P)$, ágauna toká pavidaalà:

$$c_{sut}(\circ t, S_R, S_P) = a_{Ni}(S_R, S_P) + \frac{b_{Ni}(S_R, S_P)}{b_c} \cdot (c(\circ t) - a_c). \quad (16)$$

Dël charakteristikø kreivumo liekanèià santykinę paklaidà apskaièiuojame pagal formulę:

$$\delta K(\circ t, S_R, S_P), \% = \left(1 - \frac{U_c(\circ t, S_R, S_P)}{c_{sut}(\circ t, S_R, S_P)} \right) \cdot 100, \quad (17)$$

Optimalø S_{Ropt} ir kartu S_{Pop} parenkame pagal funkcijos $U_C(\circ t, S_R, S_P)$ mažiausiąjà vidutinà kvadratinà nuokrypà nuo funkcijos $c_{sut}(\circ t, S_R, S_P)$, kurà surandame ið formulės:

$$\sigma(\circ t, S_R, S_P) = \frac{\sqrt{\sum_{\circ t_{\min}}^{\circ t_{\max}} \delta K(\circ t, S_R, S_P)^2}}{\circ t_{\max} - \circ t_{\min} + 1}. \quad (18)$$

2 lentelė. Mažiausiosios santykinės paklaidos tiesinės aproksimacijos tiesės koeficientø ir santykinės paklaidos $\delta f(\circ t_{\delta f \max})$ reikðmės

Diapazonas→	+10 ÷ +35 °C	-10 ÷ +40 °C
↓ Funkcija, jos tipas ir	$\circ t_{\min} \div \circ t_{\max}$	$\circ t_{\min} \div \circ t_{\max}$

apskaièiuotieji parametrai		
$c(^{\circ}t)$ a_c	332,026008	331,760318
b_c	0,59071673	0,5987377
$\delta_c(^{\circ}t_{\Delta f_{max}}),\%$	0,01094(+22,2)	0,04625(+13,9)
$R_{Ni}(t)$ a_{R2}	99,768479	100,100986
b_{R2}	0,577603	0,56748375
$\delta_{R2}(^{\circ}t_{\Delta f_{max}}),\%$	-0,0437(+22,1)	-0,1824(+13,5)
Diapazonas→↓ Funkcija, jos tipas ir apskaièiuoti parametrai	-30 ÷ +50 °C $^{\circ}t_{min} \div ^{\circ}t_{max}$	-50 ÷ +100 °C $^{\circ}t_{min} \div ^{\circ}t_{max}$
$c(^{\circ}t)$ a_c	331,430442	330,596964
b_c	0,60522919	0,59519155
$\delta_c(^{\circ}t_{\Delta f_{max}}),\%$	0,1236(+7,1)	0,4029(+15,4)
$R_{Ni}(t)$ a_{R2}	100,502976	101,727907
b_{R2}	0,55949398	0,57418948
$\delta_{R2}(^{\circ}t_{\Delta f_{max}}),\%$	-0,4919(+5,7)	-1,7812(+11,6)

Diapazonas→	-30 ÷ +50 °C	-50 ÷ +100 °C
↓ Funkcija, jos tipas ir apskaièiuotieji parametrai	$^{\circ}t_{min} \div ^{\circ}t_{max}$	$^{\circ}t_{min} \div ^{\circ}t_{max}$
S_{Ropt}	2,08085681	2,02053733
S_{Poprt}	0,66096645	0,65010279
$\sigma(^{\circ}t, S_{Ropt}, S_{Poprt})$	0,005725998	0,0127711
k_{SR}	0,25375463	0,2724167
K_{σ}	747,144	737,023
σ_{Uc}	0,005075	0,0113
$K_{\delta c}$	746,96	736,374
$\delta_{K_{max}},\%$	0,076	0,243

Toliau pateiksime būdingąsias tyrimo funkcijas. Jos ágalins suprasti tyrimus.

Tyrimo rezultatai

3 lentelėje pateiktas S_{Ropt} ir S_{Poprt} reikðmes áraðæ á (4) formulæ, gauname keturias analitines parametriniø garso greièio davikliø iðraiðkas keturiems skirtingiems temperatūrø diapazonams.

3 lentelėje stiprinimo koeficientas K_{σ} parodo, kiek kartø reikia sustiprinti parametrinio daviklio signalà, kad bûtø gauta átampa, proporcinga $c(^{\circ}t)$ ir tenkinanti maþiausiojo vidutinio kvadratinio nuokrypio kriterijø, kurio dydis σ_{Uc} , o K_{δ} – kad tenkintø maþiausiosios santykinës paklaidos $\delta_K,\%$ kriterijø.

Santykinaè paklaidà, kuri lieka esant S_{Ropt} ir S_{Poprt} reikðmëms, galime apskaièiuoti pagal formulæ:

$$\delta k_{opt}(^{\circ}t),\% = \left(1 - \frac{U_c(^{\circ}t, S_{Ropt}, S_{Poprt}) \cdot K_{\delta}}{c(^{\circ}t)} \right) \cdot 100, \quad (19)$$

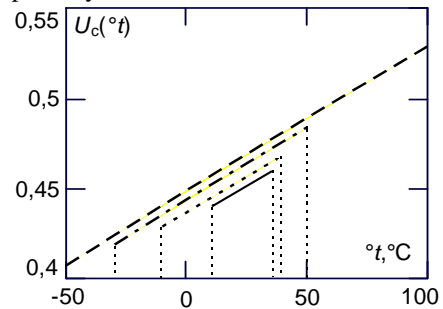
kurios maksimali reikðmë $\delta_{K_{max}},\%$ pateikta 3 lentelėje.

3 lentelėje taip pat pateikta parametro k_{SR} reikðmë, kuri parodo pasirinktame temperatūrø diapazone ir parametrorø S_{Poprt} ir S_{Ropt} srityje S_P parametro priklausomybës nuo S_R parametro statumà. Ðioje srityje parametrai susijæ tokia iðraiðka:

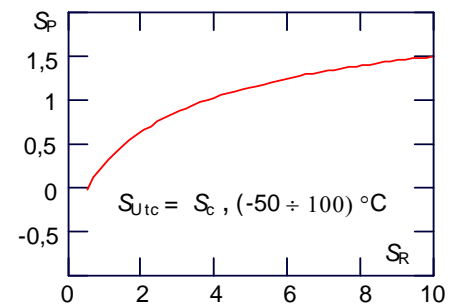
$$S_P(S_R) = S_{Poprt} + k_{SR} \cdot (S_R - S_{Ropt}). \quad (20)$$

3 lentelë. Pagal tyrimo metodikà atliktø tyrimø rezultatai

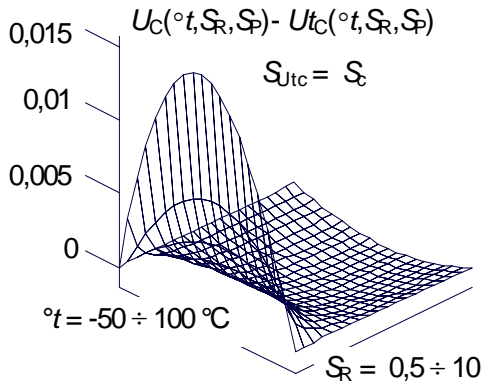
Diapazonas→	+10 ÷ +35 °C	-10 ÷ +40 °C
↓ Funkcija, jos tipas ir paskaièiuoti parametrai	$^{\circ}t_{min} \div ^{\circ}t_{max}$	$^{\circ}t_{min} \div ^{\circ}t_{max}$
S_{Ropt}	2,26058636	2,180993
S_{Poprt}	0,72804512	0,69659372
$\sigma(^{\circ}t, S_{Ropt}, S_{Poprt})$	0,0010170985	0,00281079
k_{SR}	0,254654	0,2520157



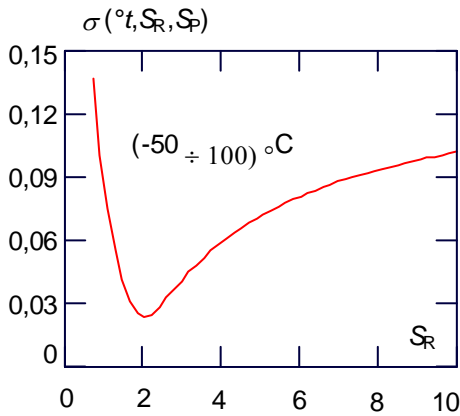
2 pav. Pagal metodikà sukurtø parametriniø garso greièio davikliø modeliø charakteristikos su jø temperatūrø diapazono ribomis



3 pav. Koeficiento S_P priklausomybë nuo S_R , kuomet tenkinama sąlyga, kad $S_{Utc} = S_c$, $S_P=0$, kai $S_R=0,535527$

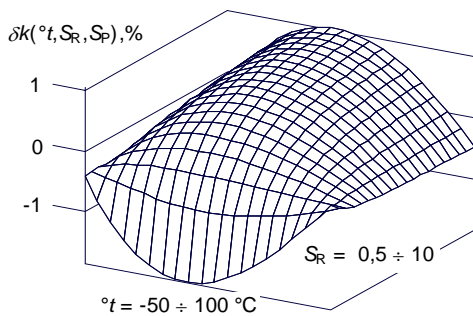


4 pav. Funkcijø skirtumo $U_C(^{\circ}t, S_R, S_P) - U_{tC}(^{\circ}t, S_R, S_P)$ priklausomybė nuo $^{\circ}t$ ir S_R , kai $S_{Utc} = S_c$

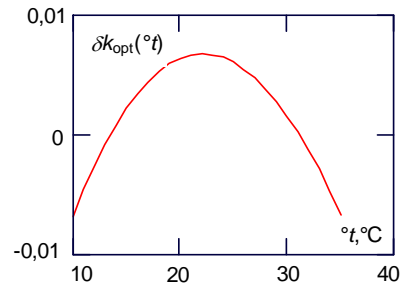


5 pav. Funkcijos $U_C(^{\circ}t, S_R, S_P)$ mažiausia vidutinė kvadratinė nuokrypa $\sigma(^{\circ}t, S_R, S_P)$ nuo funkcijos $e_{sul}(^{\circ}t, S_R, S_P)$, kai kiekviename taške $S_{Utc} = S_c$

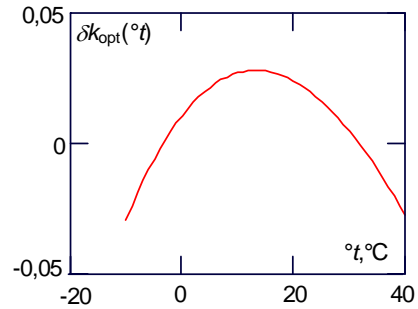
5 paveikslas rodo, kad dėl tam tikros S_P reikdmes esama tam tikro optimalaus parametro S_R taško, kuriame gaunamas daviklio funkcijos mažiausias vidutinis kvadratinis nuokrypis nuo tiesiogiai proporcingai transformuotos patikslintos garso greièio funkcijos.



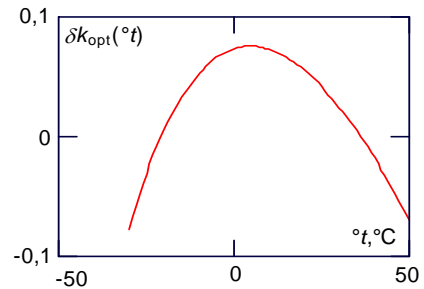
6 pav. Santykinė paklaida $\delta k(^{\circ}t, S_R, S_P)$, % dėl charakteristikø kreivumo, kai $S_{Utc} = S_c$



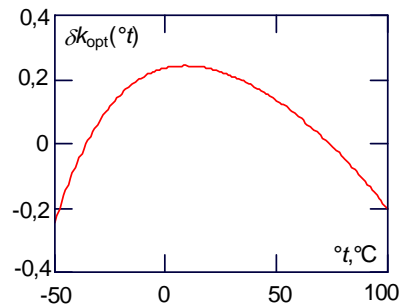
7 pav. Santykinė paklaida $\delta k_{opt} = \delta k(^{\circ}t, S_{Ropt}, S_{Pop})$, % dėl charakteristikø kreivumo temperatūrø diapazone $(+10 \div +35)$ °C, kai $S_{Utc} = S_c$



8 pav. Santykinė paklaida $\delta k_{opt} = \delta k(^{\circ}t, S_{Ropt}, S_{Pop})$, % dėl charakteristikø kreivumo temperatūrø diapazone $(-10 \div +40)$ °C, kai $S_{Utc} = S_c$



9 pav. Santykinė paklaida $\delta k_{opt} = \delta k(^{\circ}t, S_{Ropt}, S_{Pop})$, % dėl charakteristikø kreivumo temperatūrø diapazonui $(-30 \div +50)$ °C, kai $S_{Utc} = S_c$



10 pav. Santykinė paklaida $\delta k_{opt} = \delta k(^{\circ}t, S_{Ropt}, S_{Pop})$, % dėl charakteristikø kreivumo temperatūrø diapazone $(-50 \div +100)$ °C, kai $S_{Utc} = S_c$

Parametrø S_{Ropt} ir S_{Pop} tolerancijø tyrimas

Patyrinėjime, su kokiomis tolerancijomis turi būti ágyvendinti 3 lentelėje pateikti S_{Popt} ir S_{Ropt} parametrai. Pasirenkame parametriną daviklą, veikiantą temperatūrø diapazone (-10 ÷ +40) °C. Jo S_{Popt} ir S_{Ropt} koeficientus paimame iš 3 lentelės. Taigi gauname tokią optimalaus parametrinio daviklio analitinę išraišką:

$$U2c(^{\circ}t) = \frac{E}{1 + \frac{2,180993}{R_{Ni}(^{\circ}t)/R_{Ni}(0) + 0,69659372}} \quad (21)$$

Pastebime, kad parametrai S_P ir S_R yra santykiniai, t.y. $S_R=R_E / R_{Ni}(0)$, $S_P=R_P / R_{Ni}(0)$, o $R_{Ni}(0)$ yra varžos, termometro $R_{Ni}(^{\circ}t)$ varža esant 0°C. Pasiekti didesnį santykinį matavimų tikslumą lengviau nei absoliutinį.

S_{Popt} ir S_{Ropt} srityje S_P ir S_R parametrai yra funkciškai susiję. Todėl galima spėti, kad jei realizuoti konkrečiame parametriniame daviklyje parametrai S_P ir S_R didesni arba mažesni S_{Popt} ir S_{Ropt} atžvilgiu, tai jie turėtų daryti mažesnę ataką parametrinio daviklio charakteristikos nepageidautinam iškraipymui, nei tuo atveju, kai parametrai S_P ir S_R būtų priešingai išsisklaidę. Tyrinėjdami šio parametrų sklaidos ataką parametrinio daviklio charakteristikos formos nukrypimui nuo funkcijos $c(^{\circ}t)$, parenkame mažiausiojo vidutinio kvadratinio nuokrypio kriterijų ir patikriname pagal mažiausiosios santykinės paklaidos kriterijų. Tyrinėjdami parametrus S_{Popt} ir S_{Ropt} , (21) išraiškoje jiems suteikiame nuokrypas $\pm\delta_{SR}$ ir $\pm\delta_{SP}$, lygius $\pm 0,05\%$, $\pm 0,1\%$, $\pm 0,5\%$. Temperatūrø diapazonas, apskaičiuojant vidutinius kvadratinis nuokrypius pagal (18) formulę, buvo diskretizuotas kas 1°C. Mažiausiąją vidutiną kvadratiną nuokrypą σ_{min} , esant tam tikram $K_{\sigma min}$, apskaičiuojame pagal (18) formulę, o mažiausiąją santykinę paklaidą, esant tam tikrai temperatūrai $^{\circ}t_{\delta k}$ ir tam tikram stiprinimo koeficientui $K_{\delta k}$, - pagal (19) formulę. Skaičiavimo rezultatus pateikiame 4 lentelėje.

Analizuojant nedideles $\pm 0,05\%$ parametrų S_P ir S_R tolerancijas pagal 4 lentelę matyti, kad esant $S_P=S_{Popt}$ ir $S_R=S_{Ropt} \cdot (1 - 0,0005)$ vidutinis kvadratinis nuokrypis $\sigma_{min}=0,002517$ yra mažesnis nei esant $S_R=S_{Ropt}$.

4 lentelė. Parametrinio daviklio, veikiančio temperatūrø diapazone (-10 ÷ +40) °C, parametrų S_P ir S_R tolerancijų ataka charakteristikai

$S_{Ropt} \pm \delta_{SR} \rightarrow$ $\downarrow S_{Popt} \pm \delta_{SP};$	0 %	+0,05 %	-0,05 %	+0,1 %
0 %				
σ_{min}	0,002522	0,002531	0,002517	0,002542
$K_{\sigma min}$	758,346	758,55	758,138	758,762
$\delta k, \%$	0,028	0,0282	0,02888	0,02851
$^{\circ}t_{\delta k}$	13	13	14	13
$K_{\delta k}$	758,282	758,49	758,066	758,697
+0,05 %				
σ_{min}	0,002519	0,002524	0,002517	0,002531
$K_{\sigma min}$	758,265	758,473	758,056	758,68
$\delta k, \%$	0,0293	0,029	0,0294	0,0284

$^{\circ}t_{\delta k}$	14	13	14	14
$K_{\delta k}$	758,19	758,402	757,98	758,615
-0,05 %				
σ_{min}	0,002530	0,002542	0,002521	0,002557
$K_{\sigma min}$	758,428	758,637	758,22	758,85
$\delta k, \%$	0,0285	0,0289	0,0286	0,0295
$^{\circ}t_{\delta k}$	14	13	14	13
$K_{\delta k}$	758,36	758,567	758,15	758,772
+0,1 %				
σ_{min}	0,002520	0,002521	0,002521	0,002525
$K_{\sigma min}$	758,18	758,385	757,975	758,6
$\delta k, \%$	0,0303	0,0294	0,0305	0,0274
$^{\circ}t_{\delta k}$	14	14	14	14
$K_{\delta k}$	758,10	758,316	757,89	758,54
$S_{Ropt} \pm \delta_{SR} \rightarrow$ $\downarrow S_{Popt} \pm \delta_{SP};$	0 %	-0,1 %	+0,5 %	-0,5 %
0 %				
σ_{min}	0,002522	0,002514	0,002723	0,002591
$K_{\sigma min}$	758,346	257,928	760,432	756,258
$\delta k, \%$	0,028	0,0298	0,0329	0,0336
$^{\circ}t_{\delta k}$	13	14	12	16
$K_{\delta k}$	758,282	757,85	760,34	756,15
-0,1 %				
σ_{min}	0,002543	0,002520	0,002806	0,002542
$K_{\sigma min}$	758,518	758,09	760,60	756,43
$\delta k, \%$	0,02877	0,0283	0,0349	0,0320
$^{\circ}t_{\delta k}$	14	13	10	16
$K_{\delta k}$	758,44	758,026	760,493	756,324
+0,5 %				
σ_{min}	0,002682	0,002739	0,002544	0,003053
$K_{\sigma min}$	757,524	757,15	759,612	755,445
$\delta k, \%$	0,0348	0,0361	0,0305	0,0405
$^{\circ}t_{\delta k}$	17	16	14	19
$K_{\delta k}$	757,413	756,988	759,53	755,294
-0,5 %				
σ_{min}	0,002790	0,002719	0,003260	0,00252
$K_{\sigma min}$	759,17	758,75	761,265	757,074
$\delta k, \%$	0,0349	0,0334	0,0406	0,0289
$^{\circ}t_{\delta k}$	10	11	9	13
$K_{\delta k}$	759,06	758,651	761,125	757,004

Panašiai yra ir kai $S_P=S_{Popt} \cdot (1 + 0,0005)$, o $S_R=S_{Ropt}$. Tai rodo, kad aprašytoji tyrimø metodika neágalina gauti labai tiksliø S_{Ropt} ir S_{Popt} parametrø. Antra vertus, tie nedideli σ_{min} pokyčiai rodo, kad nedidelės S_{Ropt} ir S_{Popt} parametrø tolerancijos praktiškai nedeformuoja parametrinio daviklio charakteristikos. Matome, kad kai

S_{Ropt} ir S_{Popt} parametrai net (-0,1)% mažesni, tai σ_{min} mažesnis nei pagal metodiką surastų S_{Ropt} ir S_{Popt} parametrai.

Išvados

Sukurtas parametrinis garso greičio ore daviklis su nikelio varšos termometru, ištirtos jo paklaidos. Nustatyta, kad toks daviklis turi optimalią parenkamą parametrą, kuriems esant jis su mažiausiomis paklaidomis teikia informaciją apie garso greitą ore. Optimalūs daviklio parametrai apskaičiuoti keturiems temperatūrų diapazonams. Palyginti su tiesine garso greičio funkcijos aproksimacija, pagal mažiausiosios santykinės paklaidos kriterijų analizuojamas daviklis ágalina vidutiniškai apie 1,6 karto sumažinti santykinę garso greičio ore matavimo paklaidą. Nustatyta, kad nedidelės optimalios parametrinio daviklio parametrai tolerancijos smarkiai nedeformuoja daviklio charakteristikos.

Literatūra

1. **Ááóáíá Ę.** Óéúóðáçáóé è ááí íðéíáíáíéá á íáóéá è óáóíééá/íáðááíá ñ íáíáóéíáí.-M: Ęçá. èññóðáíííé èèðáðáóóðú, 1957.- 726 ñ.
2. **Áíðááóíá Á.Á., Ðóááóááñéé Á.Á.** Áéóñðè-áñééá íáóíáú è ñðááñðáá èçíáðáíéý ðáññóýíéé á áíçáóóííé ñðááá. -Ì.: Ýíáðáèý, 1973.- 144 ñ. ñ èé.
3. **Áíðááóíá Á.Á., Ðóááóááñéé Á.Á.** Áéóñðè-áñééá íáóíáú èçíáðáíéý ðáññóýíéé è óíðááéáíéý. -Ì.: Ýíáðáíèçááð, 1981.- 208 ñ.
4. **Hickling R., Marin S.P.** The use of ultrasonics for gauging and proximity sensing in air, J. Acoust. Soc. Am. 79(4), April 1986, 1151-1160 p.
5. **Ėóóééíá Ő.** Ñíðááí-íéé ñ ðèççéé/íáð. ñ íáí. -Ì.: ĩèð, 1982. - 520 ñ., èé.
6. **Īó-áð í íáó-ñ-èññéááíááðáéúñéíé ðááíðá** "Ðáçðááíðéá è èññéááíááíéá ñèñðáíú óéúóðáçáóéíáíáí éíóáððáðñáððá áéý áàçíáúó ñðáá". - Ęáóíáñ, 1984. -73 ñ.; Áíñ. Ðáá. 1 01.83.0049479.
7. **Ramanauskas J.** Patikslintas garso greičio ore parametrinis modelis, ISSN 1392-2114 // ULTRAGARSAS. 1996.- Nr.1(26).-P.60-68.
8. **Ėéíáááá Ő.** Èçíáðáíéá ðáññóóðð á óáóíééá: Ñíðááí-íéé/íáð. ñ. íáí. 1980, 544 ñ.
9. **Óáíéíðáóíé-áñééá èçíáðáíéý è íðéáíðú: Ó-ááíéé áéý áóçíá /Á.Ī.Ęááíáá, Ī.Á.Ęóçíáóíá, Á.Ñ.èññóýéíá.** -Ì.: Ýíáðááðñèçááð, 1984. - 232 ñ., èé.

J.Ramanauskas

Investigation of a parametric measuring element of speed of sound in air with the nickel resistance thermometer

Summary

This paper describes the parametric measuring element of the speed of sound in air with the nickel resistance thermometer. The parametric measuring element forms signal, which represents an improved parametric model of the speed of sound in air. Investigated circuit of parametric measuring element has a minimum of the measurement error. This point enable to find optimal parameters of parametric measuring elements for various temperature ranges. These optimum parameters of the parametric measuring element are presented in the table for four temperature ranges. It has been determined that the optimal parametric measuring element has the relative error 1.6 times smaller than the minimal relative error of the linear approximation.