

# Metode de evaluare a incertitudinii de etalonare a termometrelor cu rezistența din platină în intervalul de temperatură (0... 419, 527)°C

SONIA TĂNASE\*

**Abstract:** The paper depicts two calculus methods, used to estimate the calibration uncertainty of platinum resistance thermometers, within the range (0... 419,527)°C, and to establish the way in which the measurement uncertainty for fixed points within this temperature range propagates. One of these methods, which is based upon the exact solution of the interpolation equation, is rigorous but laborious. The other makes use of the approximation  $W(T_{90}) = W_r(T_{90})$ , already used by other authors, which considerably simplifies the calculus.

**Résumé:** On présente et on discute deux méthodes de calcul utilisées pour estimer l'incertitude d'étalonnage des thermomètres à résistance de platine, dans l'intervalle (0... 419,527) °C, et pour établir le mode de propagation de l'incertitude de mesurage des points fixes dans cet intervalle de températures. Une de ces méthodes, qui se base sur la solution exacte de l'équation d'interpolation, est rigoureuse, mais très laborieuse. L'autre se base sur l'approximation  $W(T_{90}) = W_r(T_{90})$ , utilisée aussi par d'autres auteurs, qui simplifie considérablement le calcul.

## 1. Introducere

În conformitate cu Scara Internațională de Temperatură din 1990 (SIT-90 [1]), etalonarea unui termometru cu rezistență din platină implică măsurarea rezistenței sale electrice la puncte fixe de definiție specificate și determinarea, pe baza valorilor obținute, a caracteristicii  $W = f(T_{90})$  prin intermediul unor formule de interpolare, de asemenea, specificate.

Dar, rezistența electrică a unui termometru cu rezistență din platină se măsoară, la fiecare dintre punctele fixe, cu o anumită incertitudine. Pe de altă parte, valorile  $W(T_{90})$  se determină prin calcul pe baza rezultatelor acestor măsurări. Ca urmare, pentru estimarea incertitudinii de determinare a valorilor  $W(T_{90})$  trebuie să se evalueze efectul asupra respectivelor valori al incertitudinilor de măsurare la punctele fixe. Această evaluare are la bază teoria propagării incertitudinilor de măsurare.

Pentru stabilirea modului de evaluare a incertitudinii de etalonare a termometrelor cu

rezistență din platină în intervalul (0... 419,527)°C, respectiv pentru stabilirea modului de propagare a incertitudinilor de măsurare la punctele fixe în acest interval, în articol vor fi prezentate și analizate două metode de calcul:

— O metodă bazată pe soluția exactă a ecuației de interpolare. Este o metodă riguroasă, dar complexă și laborioasă; în plus, folosirea sa necesită efectuarea tuturor calculelor pe care le implică la fiecare termometru supus etalonării. Aceste dezavantaje au făcut ca metoda să nu fie abordată de specialiști în studiul propagării incertitudinilor de măsurare în intervalul (0... 419,527)°C. Va fi studiată, totuși, în articolul de față deoarece furnizează cele mai exacte rezultate; ca urmare, am denumit această metodă — *metoda exactă*.

— O metodă bazată pe aproximația  $W(T_{90}) = W_r(T_{90})$ , aproximație care a mai fost utilizată de unii autori [2, 3] și care simplifică foarte mult calculele. Elementul de noutate pe care îl aduce tratarea metodei în cadrul acestui articol îl constituie structurarea calculelor și sintetizarea rezultatelor astfel încât acestea să devină valabile pentru orice termometru etalon cu rezistență din platină; ca urmare, am denumit noua metodă stabilită — *metoda generală*. Un alt element de noutate îl reprezintă evaluarea erorilor introduse prin aproximația folosită; pentru aceasta, rezultatele obținute prin metoda generală sunt comparate cu rezultatele de referință determinate cu metoda exactă.

## 2. Unele considerații privind legea de propagare a incertitudinilor de măsurare

În majoritatea cazurilor, un măsurand  $Y$  nu este măsurat direct ci depinde de alte  $N$  mărimi măsurabile  $X_1, X_2, \dots, X_N$ , dependentă exprimată printr-o relație funcțională  $f$ :

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N). \quad (1)$$

Estimația măsurandului  $Y$ , notată cu  $y$ , este obținută din ecuația (1) pe baza estimațiilor  $x_1, x_2, \dots, x_N$  ale celor  $N$  mărimi  $X_1, X_2, \dots, X_N$ . În acest fel, estimația mărimii de ieșire  $y$ , care reprezintă rezultatul măsurării, va fi dată de:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N).$$

\* Institutul Național de Metrologie, șos. Vitan Bărzești nr. 11, sector 4, București.



Estimația erorii medii pătratice a estimației  $y$ , denumită incertitudine standard (sau incertitudine la nivel de  $1 \sigma$ ) compusă și notată cu  $u_c(y)$  este determinată cu ajutorul estimațiilor erorilor medii pătratice ale estimațiilor  $x_i$ , denumite incertitudini standard și notate cu  $u(x_i)$ . O incertitudine standard  $u(x_i)$  este determinată, la rândul său, prin compunerea incertitudinilor standard de tip A și de tip B.

În cazul în care mărimile  $X_i$  sau estimațiile lor  $x_i$  sunt corelate, varianța (sau dispersia) compusă  $u_c^2(y)$  a rezultatului măsurării se exprimă prin:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right] \left[ \frac{\partial f}{\partial x_j} \right] u(x_i, x_j) =$$

$$= \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) +$$

$$+ 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right] \left[ \frac{\partial f}{\partial x_j} \right] u(x_i, x_j) \quad (2)$$

unde  $x_i$  și  $x_j$  sunt estimațiile lui  $X_i$  și, respectiv,  $X_j$ , iar  $u(x_i, x_j) = u(x_j, x_i)$  este covarianța lui  $x_i$  și  $x_j$ . Gradul de corelație dintre  $x_i$  și  $x_j$  este caracterizat prin coeficientul de corelație:

$$r(x_i, x_j) = \frac{u(x_i, x_j)}{u(x_i) u(x_j)}$$

unde  $r(x_i, x_j) = r(x_j, x_i)$  și  $-1 \leq r(x_i, x_j) \leq 1$ .

Dacă estimațiile  $x_i$  și  $x_j$  sunt independente, atunci  $r(x_i, x_j) = 0$  și o variație a uneia dintre ele nu implică și variația celeilalte.

În termenii coeficienților de corelație, covarianța din relația (2) poate fi scrisă astfel:

$$u(x_i, x_j) = u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j).$$

Ca urmare, relația (2) capătă forma:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N$$

$$\left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right] \left[ \frac{\partial f}{\partial x_j} \right] u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j) \quad (3)$$

care constituie legea de propagare a incertitudinilor de măsurare.

### 3. Două metode de evaluare a incertitudinii de etalonare a termometrelor cu rezistența din platină în intervalul de temperatură (0...419,527)°C

Plecând de la forma generală a legii de propagare a incertitudinilor de măsurare, prezentată în capitolul precedent, putem trece la par-

ticularizarea sa pentru intervalul de temperatură (0...419,527)°C.

În acest interval, curba de etalonare  $W = f(T_{90})$  a unui termometru cu rezistență din platină se determină prin măsurarea rezistenței sale electrice la punctul triplu al apei (0,01 °C) și la punctele de solidificare ale staniului (231,928°C) și zincului (419,527 °C), precum și prin interpolarea între valorile acestor puncte fixe cu ajutorul funcției abatere:

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a[W(T_{90}) - 1] +$$

$$+ b[W(T_{90}) - 1]^2 \quad (4)$$

în care:

–  $W(T_{90})$  reprezintă raportul dintre rezistențele electrice ale termometrului la temperatura  $T_{90}$  și, respectiv, la temperatura punctului triplu al apei:

$$W(T_{90}) = R(T_{90})/R(0,01 \text{ °C}); \quad (5)$$

–  $W_r(T_{90})$  constituie o funcție de referință:

$$W_r(T_{90}) = C_0 + \sum_{i=1}^9 C_i \left( \frac{T_{90}/K - 754,15}{481} \right)^i \quad (6)$$

ai cărei coeficienți  $C_0$  și  $C_i (i = 1, 2, \dots, 9)$  au valorile date în tabelul 1.

Tabelul 1

Valorile coeficienților funcției de referință  $W_r(T_{90})$

$C_0$	2,781 572 54	$C_5$	0,005 118 68
$C_1$	1,646 509 16	$C_6$	0,001 879 82
$C_2$	-0,137 143 90	$C_7$	-0,002 044 72
$C_3$	-0,006 497 67	$C_8$	-0,000 461 22
$C_4$	-0,002 344 44	$C_9$	0,000 457 24

Dacă se folosesc notațiile:

$R(\text{Sn})$  = rezistența electrică a termometrului la temperatura punctului de solidificare al staniului

$R(\text{Zn})$  = rezistența electrică a termometrului la temperatura punctului de solidificare al zincului

$$W(\text{Sn}) = R(\text{Sn})/R(0,01 \text{ °C})$$

$$W(\text{Zn}) = R(\text{Zn})/R(0,01 \text{ °C}),$$



atunci caracteristica  $W = f(T_{90})$  a termometrului se calculează cu relația:

$$W(T_{90}) = W_r(T_{90}) + \frac{[W(\text{Sn}) - W_r(\text{Sn})][W(\text{Zn}) - 1]^2 - [W(\text{Zn}) - W_r(\text{Zn})][W(\text{Sn}) - 1]^2}{[W(\text{Sn}) - 1][W(\text{Zn}) - 1][W(\text{Zn}) - W(\text{Sn})]} \times \\ \times [W(T_{90}) - 1] + \frac{[W(\text{Zn}) - W_r(\text{Zn})][W(\text{Sn}) - 1] - [W(\text{Sn}) - W_r(\text{Sn})][W(\text{Zn}) - 1]}{[W(\text{Sn}) - 1][W(\text{Zn}) - 1][W(\text{Zn}) - W(\text{Sn})]} \times \\ \times [W(T_{90}) - 1]^2. \quad (7)$$

Prin definiție,  $W_r(T_{90})$ ,  $W_r(\text{Sn})$  și  $W_r(\text{Zn})$  sunt constante. Rezultă că valoarea raportului  $W(T_{90})$  depinde numai de valorile rapoartelor  $W(\text{Sn})$  și  $W(\text{Zn})$ , specifice fiecărui termometru cu rezistență din platină:

$$W(T_{90}) = f(W(\text{Sn}), W(\text{Zn})).$$

Valorile  $W(\text{Sn})$  și  $W(\text{Zn})$  se determină cu incertitudinile  $u_{W(\text{Sn})}$  și  $u_{W(\text{Zn})}$ , rezultate în urma măsurărilor la cele trei puncte fixe și care se propagă în valoarea lui  $W(T_{90})$  prin relația (7).

Incertitudinea de determinare a valorii  $W(T_{90})$ , în care sunt propagate  $u_{W(\text{Sn})}$  și  $u_{W(\text{Zn})}$ , în conformitate cu relația (3), se exprimă prin:

$$u_W = \left[ \left( \frac{\partial W}{\partial W(\text{Sn})} \right)^2 u_{W(\text{Sn})}^2 + \left( \frac{\partial W}{\partial W(\text{Zn})} \right)^2 \cdot \right. \\ \left. \cdot u_{W(\text{Zn})}^2 + 2r \left( \frac{\partial W}{\partial W(\text{Sn})} \right) \left( \frac{\partial W}{\partial W(\text{Zn})} \right) u_{W(\text{Sn})} u_{W(\text{Zn})} \right]^{1/2} \quad (8)$$

unde:

$r$  coeficientul de corelație între  $W(\text{Sn})$  și  $W(\text{Zn})$ ;

$u_W$  incertitudinea de determinare a valorii  $W(T_{90})$ .

Derivatele parțiale  $\partial W / \partial W(\text{Sn})$  și  $\partial W / \partial W(\text{Zn})$  din expresia de mai sus pot fi obținute din soluția exactă a ecuației (7) sau din soluția exactă a unei forme simplificate a acesteia, care rezultă în urma unor aproximații. În acest scop, respectiv pentru evaluarea incertitudinii compuse  $u_W$ , ca urmare a propagării incertitudinilor parțiale  $u_{W(\text{Sn})}$  și  $u_{W(\text{Zn})}$  în intervalul (0... 419,527) °C, am stabilit două metode de calcul ce vor fi prezentate în continuare.

### 3.1 Metoda exactă

Această metodă include următoarele etape:

- rezolvarea ecuației (7) în  $W$ ;
- derivarea soluției exacte rezultate în raport cu  $W(\text{Sn})$  și, respectiv, în raport cu  $W(\text{Zn})$ ;
- înlocuirea expresiilor celor două derivate parțiale în relația (8).

Întrucât expresiile obținute pentru soluția ecuației (7), precum și pentru cele două derivate parțiale sunt foarte lungi, transcrierea lor aici ar ocupa un spațiu nejustificat de mare în economia articolului. Aceste expresii pot fi, însă, puse la dispoziția celor interesați, împreună cu un listing al programului de calculator, care stabilește forma expresiilor respective prin calcul simbolic și le utilizează, apoi, direct în calculele numerice ulterioare.

Pentru a se pune în evidență modul de propagare a  $u_{W(\text{Sn})}$  și  $u_{W(\text{Zn})}$ , trebuie ca diferitelor variabile din expresia obținută pentru  $u_W$  să li se atribuie valori numerice (ceea ce nu va afecta, însă, generalitatea concluziilor). Astfel, pentru incertitudinile de măsurare la cele trei puncte fixe s-au ales valorile:

$$u_{0,01}^{\circ\text{C}} = u_{t(\text{Sn})} = u_{t(\text{Zn})} = 1 \text{ mK}$$

rezultând

$$u_{W(\text{Sn})} = 8,55 \cdot 10^{-6} \text{ și } u_{W(\text{Zn})} = 10,99 \cdot 10^{-6}.$$

Pentru rapoartele  $W(\text{Sn})$  și  $W(\text{Zn})$ , dintre datele experimentale s-au ales valorile:

$$W(\text{Sn}) = 1,892\,583\,5 \text{ și } W(\text{Zn}) = 2,568\,515\,2,$$

după criteriul abaterii maxime față de  $W_r(\text{Sn})$  și, respectiv,  $W_r(\text{Zn})$ , din considerente care vor fi relevate ulterior.

Întrucât valoarea coeficientului de corelație  $r$  nu a putut fi stabilită pe cale teoretică, s-au atribuit acestuia diferite valori [2,3] ( $r_1=1$ ;  $r_2=0,5$ ;  $r_3=0$ ;  $r_4=-0,5$ ;  $r_5=-1$ ), urmând ca din interpretarea rezultatelor să se deducă valoarea sa cea mai exactă.

În fig. 1 au fost reprezentate grafic, în funcție de  $r$  și temperatură, valorile incertitudinilor  $u_W$  stabilite cu metoda exactă.

Din fig. 1 se observă că:

— valorile  $u_W$  sunt minime pentru  $r=1$  și sunt maxime pentru  $r=-1$ , în subintervalul (0...231,928) °C și, respectiv, sunt maxime pentru  $r=1$  și sunt minime pentru  $r=-1$ , în subintervalul (231,928...419,527) °C;

— valorile  $u_W$  la temperatura de solidificare a staniului și, respectiv, a zincului sunt egale cu  $u_{W(\text{Sn})}$  și, respectiv,  $u_{W(\text{Zn})}$ , pentru orice valoare a coeficientului de corelație  $r$ ;



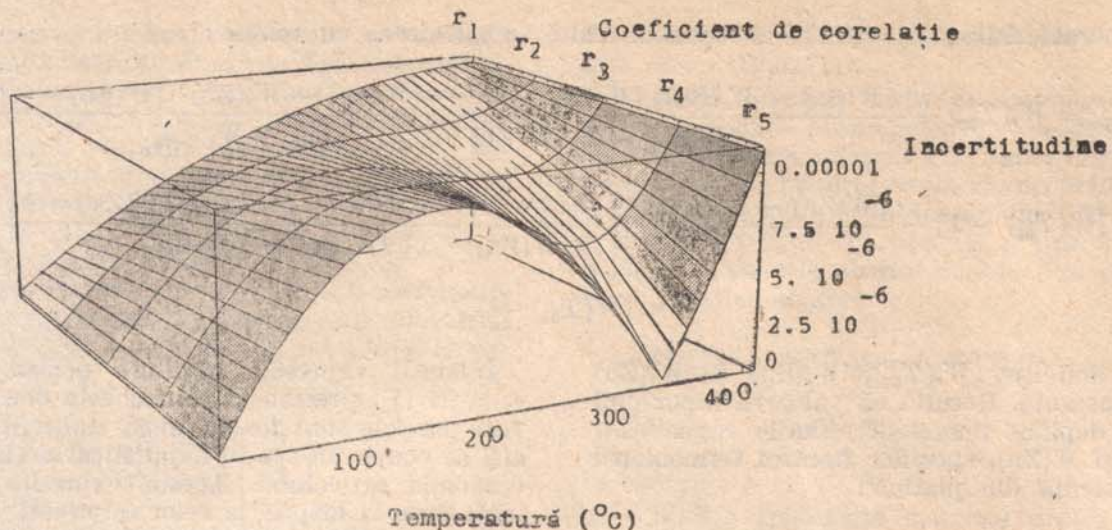


Fig. 1 Modul de propagare a  $u_{W(Sn)}$  și  $u_{W(Zn)}$  în  $u_W$  (metoda exactă)

— valoarea  $u_W$  pentru  $r = 0$  reprezintă aproximativ media aritmetică a celorlalte 4 valori  $u_W$ , calculate pentru  $r = -1$ ;  $-0,5$ ;  $0,5$  și  $1$  (eroarea de aproximație fiind de maximum 5% din incertitudinea de măsurare la punctele fixe, este neglijabilă);

— diferențele dintre valorile  $u_W$  calculate pentru  $r = 0$  și, respectiv, pentru oricare altă valoare a lui  $r$  sunt neglijabile în raport cu  $u_{W(Sn)}$  și  $u_{W(Zn)}$ .

Pe baza acestor observații se poate conchiziiona că cea mai bună alegere a valorii coeficientului de corelație o constituie  $r = 0$ , aceasta exprimând independența variabilelor  $W(Sn)$  și  $W(Zn)$ , ceea ce reduce relația (8) la :

$$u_W = \left[ \left( \frac{\partial W}{\partial W(Sn)} \right)^2 u_{W(Sn)}^2 + \left( \frac{\partial W}{\partial W(Zn)} \right)^2 u_{W(Zn)}^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

$$\frac{\partial W}{\partial W(Sn)} = \frac{[W_r - 1] [W_r - W_r(Zn)] [W_r(Sn) + W_r(Zn) - W_r(Sn) \times W_r(Zn) - 1]}{[W_r(Sn) - 1]^2 [W_r(Zn) - 1] [W_r(Zn) - W_r(Sn)]} \quad (10)$$

$$\frac{\partial W}{\partial W(Zn)} = \frac{[W_r - 1] [W_r - W_r(Sn)] [-W_r(Sn) - W_r(Zn) + W(Sn) \times W(Zn) + 1]}{[W_r(Sn) - 1] [W_r(Zn) - 1]^2 [W_r(Zn) - W_r(Sn)]} \quad (11)$$

Metoda de calcul prezentată până aici are marele avantaj de a furniza rezultatele cele mai exacte. Pe de altă parte, însă, această metodă prezintă o serie de dezavantaje și anume, complexitatea și volumul mare al calculului, precum și necesitatea efectuării acestora pentru fiecare termometru supus etalonării în parte (întrucât

expresiile rezultate includ valorile  $W(Sn)$  și  $W(Zn)$ , specifice unui anumit termometru).

### 3.2 Metoda generală

Pentru a înlătura dezavantajele metodei exacte, am introdus în relația (7) aproximația consacrată  $W(T_{90}) = W_r(T_{90})$ . Modalitatea de abordare a calculului este însă diferită de cea a altor autori [2,3] și are drept scop obținerea rezultatelor într-o formă care reduce contribuția utilizatorilor doar la câteva operații algebrice elementare.

Aproximația folosită simplifică mult expresiile derivatelor parțiale  $\partial W / \partial W(Sn)$  și  $\partial W / \partial W(Zn)$ . Dacă se fac și aproximațiile  $W(Sn) = W_r(Sn)$  și  $W(Zn) = W_r(Zn)$ , aceste expresii se reduc la :

Se observă că în aceste expresii nu mai apare nici o variabilă care să depindă de rezultatele măsurărilor la cele trei puncte fixe. Ca urmare, derivatele parțiale devin niște constante, comune tuturor termometrelor cu rezistență din platină supuse etalonării. Pentru a facilita utilizarea acestei metode, valorile  $\partial W / \partial W(Sn)$  și  $\partial W / \partial W(Zn)$  au fost calculate din  $10^\circ C$  în  $10^\circ C$ , și sunt înscrise în tabelul 2.



Tabelul 2

Valorile derivatelor parțiale  $\partial W/\partial W(\text{Sn})$  și  $\partial W/\partial W(\text{Zn})$

$t, ^\circ\text{C}$	$\frac{\partial W}{\partial W(\text{Sn})}$	$\frac{\partial W}{\partial W(\text{Zn})}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\frac{\partial W}{\partial W(\text{Sn})}$	$\frac{\partial W}{\partial W(\text{Zn})}$
0	0,000	0,000	220	1,013	-0,035
10	0,101	-0,032	230	1,002	-0,006
20	0,196	-0,061	240	0,988	0,026
30	0,286	-0,087	250	0,968	0,060
40	0,370	-0,110	260	0,945	0,097
50	0,449	-0,130	270	0,917	0,137
60	0,523	-0,146	280	0,884	0,179
70	0,591	-0,160	290	0,848	0,223
80	0,655	-0,172	300	0,807	0,269
90	0,712	-0,180	310	0,761	0,318
100	0,765	-0,185	320	0,712	0,369
110	0,813	-0,188	330	0,658	0,423
120	0,856	-0,187	340	0,601	0,479
130	0,893	-0,184	350	0,539	0,537
140	0,926	-0,178	360	0,473	0,597
150	0,953	-0,170	370	0,403	0,659
160	0,976	-0,158	380	0,329	0,724
170	0,994	-0,144	390	0,252	0,791
180	1,007	-0,128	400	0,170	0,859
190	1,016	-0,109	410	0,085	0,930
200	1,019	-0,087	420	-0,004	1,004
210	1,018	-0,062			

În fig. 2 sunt reprezentate grafic, în funcție de  $r$  și temperatură, valorile incertitudinilor  $u_W$  stabilite cu metoda generală, folosindu-se aceleași valori :

$$u_W = 8,55 \cdot 10^{-6}$$

$$u_W = 10,99 \cdot 10^{-6}$$

$$r = -1; -0,5; 0; 0,5; 1$$

ca și în cazul metodei exacte.

Se constată că observațiile desprinse din analiza suprafețelor reprezentate în fig. 1 sunt valabile și în cazul reprezentării grafice din fig. 2, ceea ce conduce și aici la alegerea coeficientului de corelație nul ( $r = 0$ ). În aceste condiții, calcularea valorilor incertitudinii compuse de etalonare  $u_W$  ale unui termometru devine extrem de simplă și se reduce doar la câteva operații algebrice între valorile derivatelor parțiale înscrise în tabelul 2 și valorile incertitudinilor parțiale de măsurare  $u_{W(\text{Sn})}$  și  $u_{W(\text{Zn})}$ .

Pentru caracterizarea metodei bazate pe aproximații în raport cu metoda exactă, în fig. 3 au fost reprezentate grafic diferențele  $\Delta u_W$  dintre valorile  $u_W$  calculate cu metoda generală și valorile  $u_W$  de referință determinate cu metoda exactă.

Din fig. 3 rezultă că diferențele  $\Delta u_W$  sunt neglijabile în raport cu incertitudinile de măsurare la punctele fixe. Deoarece rezultatele obținute cu cele două metode sunt aproape identice, deși rapoartelor  $W(\text{Sn})$  și  $W(\text{Zn})$  li s-au atribuit valorile cele mai depărtate și, respectiv, cele mai apropiate de  $W_r(\text{Sn})$  și  $W_r(\text{Zn})$ , se poate aprecia că cea de-a doua metodă este aproape la fel de exactă cu prima metodă și că valorile din tabelul 2 sunt valabile și utilizabile pentru orice termometru cu rezistență din platină, care se etalonează în intervalul (0... 419,527) °C.

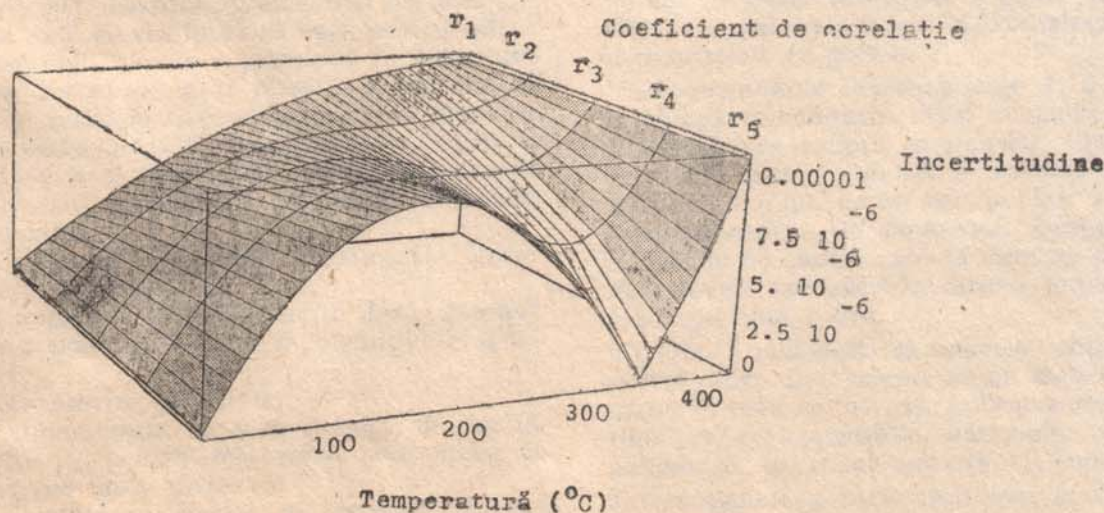


Fig. 2. Modul de propagare a  $u_{W(\text{Sn})}$  și  $u_{W(\text{Zn})}$  în  $u_W$  (metoda generală)



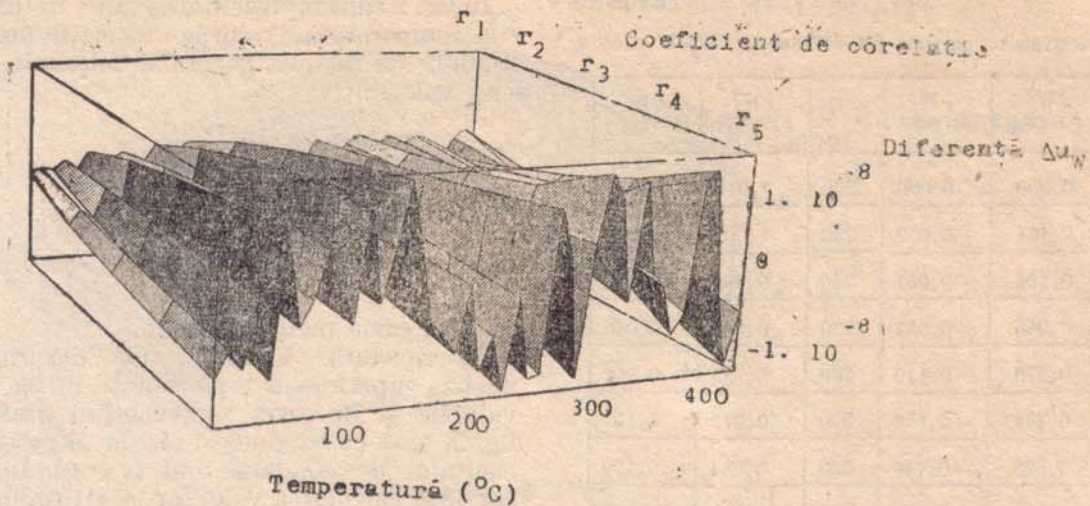


Fig. 3. Diferențele  $\Delta u_W$  dintre valorile  $u_W$  determinate cu cele două metode

#### 4. Concluzii

A. Cele două metode prezentate în acest articol dau rezultate care diferă nesemnificativ (doar cu câțiva  $\mu\text{K}$ ) între ele. Se poate, deci, aprecia că metoda exactă și metoda generală sunt practic la fel de exacte.

B. Simplitatea deosebită și caracterul mult mai general de aplicabilitate prezentate de metoda bazată pe aproximația  $W(T_{90}) = W_r(T_{90})$  fac această metodă accesibilă tuturor persoanelor

care certifică și utilizează termometre etalon cu rezistență din platină în conformitate cu SIT-90.

#### BIBLIOGRAFIE

- [1] \* \* \* Echelle Internationale de Température de 1990; Bulletin du BNM, nr. 79, 1990.
- [2] Hermier Y., Bonnier G., Mise en place de l'EIT-90; Bulletin du BNM, nr. 79, 1990.
- [3] Renaot, E., Elgourdou M., Bonnier G., Mise en place de l'EIT-90 (suite) entre 0 °C et 419,527 °C; Bulletin du BNM, nr. 90, 1992.