

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlu de manuscris

C.Z.U: 389:536.5/.6(478)(043)

BORDIANU CONSTANTIN

**CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ETALONULUI NAȚIONAL
AL TEMPERATURII**

273.01 - METROLOGIE, STANDARDIZARE ȘI CONFORMITATE

Teză de doctor în științe inginerești

CHIȘINĂU, 2024

Teza a fost elaborată în cadrul Universității Tehnice a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică.

Conducător științific:

Andrei CHICIUC, doctor în tehnică, conferențiar universitar

Referenți oficiali:

URSACHI Veaceslav, conferențiar universitar, doctor habilitat, UTM, AȘM

HABA Cristian-Gyozo, conferențiar universitar, doctor, Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași, România

Componența consiliului științific specializat:

TIGHINEANU Ion	academician, profesor universitar, doctor habilitat, AȘM, Președinte
CAZAC Vadim	doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, UTM, Secretar
TODOS Petru	profesor universitar, doctor, UTM
MILICI Laurențiu-Dan	profesor universitar, doctor, Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava
TARLAJANU Alexandru	conferențiar universitar, doctor, UTM

Susținerea va avea loc la 25.06.2024, ora 10.00.

în ședința Consiliului științific specializat D 273.01-24-36.

din cadrul Universității Tehnice a Moldovei, Facultatea Energetică și Ingineria Electrică, str. str. 31 August 1989, 78.

Teza de doctor și rezumatul pot fi consultate la biblioteca Universității Tehnice a Moldovei și pe pagina web a ANACEC.

Rezumatul a fost expediat la 12.06.2024.

Secretar științific al Consiliului științific specializat,

CAZAC Vadim, doctor în științe tehnice, conferențiar universitar

semnătura

Conducător științific,

CHICIUC Andrei, doctor în tehnică, conferențiar universitar

semnătura

Autor

BORDIANU Constantin

Semnătura

CUPRINS

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII.....	4
1 EVOLUȚIA MĂSURĂRII ȘI ETALONĂRII ÎN TEMPERATURĂ.....	7
1.1 Kelvin în contextul redefinirii unităților SI	7
1.2 Evoluția Scărilor Internaționale de Temperatură.....	9
1.3 Scara Internațională de Temperatură din 1990.....	9
1.4 Realizarea scării de temperatură SIT-90 în Republica Moldova.....	11
2 CONSTRUCȚIA ȘI PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE A ETN 02-12.....	12
2.1 Reproducerea temperaturii punctului triplu al apei	14
2.2 Reproducerea la etalon a temperaturii punctelor fixe ale metalelor	15
2.3 Cercetarea reproductibilității punctelor fixe din componența etalonului	16
3 DISEMINAREA UNITĂȚII DE TEMPERATURĂ DE LA ETALON	17
3.1 Descrierea metodei pentru diseminarea unității de temperatură de la etalon	17
3.2 Etalonarea celulelor PTA.....	19
3.3 Etalonarea celulelor de solidificare și topire	19
3.4 Etalonarea termometrelor cu rezistență din platină etalon în PF	20
4 DEMONSTRAREA ECHIVALENȚEI UNITĂȚII DE TEMPERATURĂ	22
4.1 Conceptului de incertitudine și modelarea măsurării	22
4.2 Implicarea etalonului ETN 02-12 în comparații internaționale.....	24
4.3 Determinarea gradelor de echivalență a etalonului național.....	25
5 CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI.....	27
BIBLIOGRAFIE	29
6 Lista publicațiilor	30
ADNOTARE.....	32
АННОТАЦИЯ	33
ANNOTATION	34

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Metrologia este considerată cu bună credință una dintre cele mai vechi discipline științifice, lucru ce se datorează în special faptului că umanitatea, încă de la etapa apariției primelor civilizații, a început să se confrunte cu diverse provocări la realizarea marilor lucrări arhitecturale, ca construcțiile sistemelor de irigare (în Egiptul Antic), fortificațiile de apărare (Elada și Mesopotamia), sau renumitele drumuri construite în Imperiul Roman. Nu mai puțin importantă era și necesitatea utilizării unor repere, pentru stabilirea de impozite sau în comerțul dintre diferite state, ceea ce a condus și la apariția măsurilor materializate a lungimii, volumului și masei. Progresul tehnico-științific, satisfacerea necesităților de perspectivă ale științei și producției, impun necesitatea dezvoltării unei Baze Naționale de Etaloane (BNE), bazată pe noile tehnologii. BNE este compusă din etaloane naționale, care reproduc aceste unități, valorile cărora sunt apoi transmise către toate MM, utilizate în industrie, comerț, medicină etc., și determină respectiv nivelul științific, tehnic și cultural al țării. Existența unei BNE performante, ca bază de menținere a măsurărilor la nivelul cerințelor economiei, precum și perfecționarea continuă a lor, este una dintre condițiile primordiale de creștere a competitivității produselor autohtone, de asigurare a securității lor și integrării economiei țării în piața mondială [1]. Institutul National de Metrologie, în care sunt amplasate etaloanele naționale ale Republicii Moldova, inclusiv și ETN 02-12, și-a început activitatea în anul 2013 prin reorganizarea Institutului National de Standardizare și Metrologie. Una dintre misiunile INM, o reprezintă asigurarea uniformității, exactității și trasabilității măsurărilor în țară prin menținerea, dezvoltarea și perfecționarea BNE. În acest context a fost creat și etalonul de temperatură, ETN 02-12, descris în această lucrare.

Temperatura este una dintre cele mai importante mărimi fizice, folosită în diverse ramuri ale științei și tehnicii. În fizică și chimie ea reprezintă una dintre caracteristicile de bază ale stării de echilibru a unui sistem izolat, în meteorologie reprezintă caracteristica principală a vremii, în biologie și medicină este mărimea care determină funcțiile vitale ale organismelor vii. Deci putem afirma că temperatura este mărimea ce ne însoțește în permanență, inclusiv în diverse procese tehnologice, unde măsurarea corectă a temperaturii reprezintă un rol esențial. În Sistemul Internațional de Unități de Măsură (SI), unitatea de temperatură este kelvinul (K), care poartă numele savantului britanic William Thomson (Lordul Kelvin). Scara termodinamică sau scara Kelvin este scara absolută de măsurare a temperaturii. Această scară se bazează pe zero absolut al temperaturii gazului ideal și pe punctul triplu al apei. În teorie, volumul este direct proporțional cu temperatura și presiunea, respectiv volumul gazului ideal, la zero absolut, ar fi zero la care mișcarea tuturor moleculelor s-ar opri. Însă în condițiile reale, gazele nu pot fi la starea de zero absolut. Este foarte dificil să se efectueze etalonări și măsurări directe. Ca urmare, au fost lansate Scările Internaționale de temperatură (SIT), prima fiind adoptată

în 1927 [3]. Aceasta a fost introdusă pentru a elimina dificultățile practice de măsurare directă a temperaturilor termodinamice. SIT este o scară în care se estimează temperatura interpolată între punctele definite, prin utilizarea tranzițiilor de fază (topire, solidificare și triplu puncte) și proprietățile fizice (de exemplu, presiunea de vapori) ale materialelor pure, numite "puncte fixe". De-a lungul anilor, SIT au fost îmbunătățite astfel încât valoarea temperaturii să fie o aproximație numerică apropiată de temperatura termodinamică. În prezent, în vigoare este SIT-90 [3].

Corectitudinea și precizia măsurărilor este asigurată prin procesul de etalonare a MM. Prin intermediul acestei activități are loc preluarea, conservarea (păstrarea) și transmiterea unității de la etalonul național, către etaloanele de lucru, iar prin intermediul acestora către celelalte MM. Anume pentru acest scop este destinat ETN 02-12, descris în această lucrare. El este alcătuit din instalații pentru realizarea PF și termometre cu rezistență din platină (SPRT), prin intermediul cărora este preluată și transmisă unitatea. Luând în considerație precizia înaltă de menținere a unei temperaturi concrete în interiorul celulelor PF, este foarte important să fie luate în calcul toate sursele de incertitudini asociate cu măsurările date. Cele mai importante componente ale incertitudinii obținute, la etalonarea prin metoda PF, sunt incertitudinile asociate celulelor PF și SPRT. Respectiv dacă vom cerceta și identifica factorii de influență și parametrii caracteristici acestora, vom putea introduce corecțiile respective, și deci vom putea minimiza influența acestora asupra rezultatului final. Pentru aceasta au fost dezvoltate, mai proceduri de etalonare, implementate în cadrul INM.

Această lucrare este un studiu științific care are ca fundament cerințele Hotărârii Guvernului nr. 1169 [4] și a Legii metrologiei nr. 19 [5] și propune o cercetare orientată asupra analizei necesităților, de construire a etalonului național, în scopul îmbunătățirii performanțelor de asigurare a trasabilității metrologice la SI și diseminarea unității de măsură, de la ETN 02-12. Lucrarea își propune să prezinte informațiile teoretice, tehnice și metrologice, de utilizare a etalonului, precum și prelucrarea și evaluarea rezultatelor obținute la determinarea echivalenței unității de temperatură. Ea aduce contribuții științifice într-un domeniu ce se află în continuă dezvoltare la nivel internațional, activitate ce este impulsionată și de redefinirea unităților fundamentale SI, printre care cea de temperatură, pe bază de constante fizice. Se presupune că în perioada următoare, vor fi realizate studii și modificări fundamentale în metrologia științifică, ceea ce se va răsfrânge și asupra altor domenii și discipline. La nivel național, realizarea unității de temperatură în conformitate cu SIT-90, în puncte fixe, este pentru prima dată implementată și utilizată în practică, în cadrul INM. Crearea și dezvoltarea ETN 02-12 a fost realizată concomitent cu cercetările pentru redefinirea unității SI la nivel internațional. Aceasta a permis de a lua în considerație multe aspecte teoretice, ce vor avea aplicabilitate practică și după redefinire.

Valoarea aplicativă a lucrării constă și în faptul că rezultatele lucrării vor contribui la îmbunătățirea preciziei de măsurare în țară, la sporirea concurenței produselor autohtone pe piețele

externe, prin eliminarea barierelor în calea comerțului. Pentru îndeplinirea obiectivelor menționate, lucrarea a fost structurată în patru capitole principale, o introducere, o listă cu 107 de referințe bibliografice (din care 19 prezintă contribuțiile autorului în domeniul tezei) și 15 Anexe cu informații suplimentare și detalii referitoare la conținutul tezei. Primul capitol al lucrării este destinat analizei situației existente în domeniu, a formulării problemei de cercetare, ce a stat la baza temei și direcțiile de soluționare a ei. În acest capitol, este descris contextul principal al măsurării temperaturii și etalonărilor realizate conform SIT-90. Capitolul se încheie cu descrierea reproducerii SIT-90 în Republica Moldova prin intermediul etalonului național, dezvoltat și descris în această lucrare. Capitolul doi cuprinde o descriere a caracteristicilor tehnice și metrologice a componentelor etalonului, a principiilor de funcționare a lor și a oportunităților de utilizare și selectare a diferitor componente. Sunt descrise particularitățile de realizare a tuturor PF precum și prezentarea unor cercetări asupra celulelor de PF. În capitolul trei sunt prezentate metodele utilizate la etalonarea celulelor de PF, a SPRT în PF, precum și determinarea practică a corecțiilor și influențelor acestora asupra rezultatului final. Capitolul conține de asemenea descrierea metodelor și mijloacelor de etalonare pentru fiecare echipament în parte, precum și specificul ce trebuie de luat în considerație. Capitolul patru descrie evaluarea factorilor de influență și estimarea incertitudinilor de măsurare. În acest capitolul sunt prezentate și rezultatele comparărilor internaționale, în care a fost antrenat etalonul creat, pentru determinarea gradului de echivalență a unității de temperatură reproduse. Toate măsurările au fost efectuate de către autor în incinta laboratorului LMTU al INM, în care este menținut și utilizat ETN 02-12, și care își realizează activitățile în conformitate cu cerințele sistemului de management implementat în conformitate cu SM EN ISO/IEC 17025:2018 [6].

Lucrarea se încheie cu un capitol de concluzii generale în care sunt prezentate sintezele contribuțiile autorului (teoretice și experimentale) precum și perspectivele de dezvoltare ulterioară a tematicii abordate. Concluziile acestei lucrări sunt prezentate în capitolul 5, în care sunt propuse și unele recomandări pentru activități de viitor pentru dezvoltarea etalonului național.

1 EVOLUȚIA MĂSURĂRII ȘI ETALONĂRII ÎN TEMPERATURĂ

În acest capitol, este descris contextul principal al măsurării temperaturii și etalonărilor realizate conform SIT-90. Capitolul începe cu o prezentare generală a evoluției conceptului de temperatură și a principiilor fundamentale ale termometriei, urmată de o descriere a Scărilor Internaționale de Temperatură, inclus a SIT-90, care reprezintă în sine o aproximare a temperaturii termodinamice. Capitolul se încheie cu descrierea reproducerii SIT-90 în Republica Moldova prin intermediul etalonului național, ETN 02-12, dezvoltat și prezentat în această lucrare.

O problemă importantă în asigurarea nivelului tehnic al țării este crearea condițiilor care să asigure primirea, utilizarea, păstrarea și schimbul informațiilor de măsurare, calitatea cărora trebuie să corespundă necesităților populației, științei, industriei, învățământului, ocrotirii sănătății, apărării statului etc. Crearea acestor de condiții este un criteriu indispensabil în domeniul comerțului, ecologiei sau certificării producției, iar realizarea lor este posibilă numai în cazul rezolvării problemei de asigurare a uniformității măsurărilor, adică atingerea a astfel de stare a măsurărilor efectuate în țară, când rezultatele sunt comparabile, indiferent de faptul unde, când și cu ce echipamente au fost efectuate. Asigurarea uniformității măsurărilor deci, concomitent cu sistemele de standardizare și evaluare a conformității, este una din funcțiile principale în domeniul infrastructurii calității. La bază se află etaloanele unităților de măsură, care reprezintă un complex de MM de înaltă precizie și care asigură reproducerea și păstrarea unității, în scopul transmiterii altor MM, iar prin intermediul lor tuturor proceselor tehnologice.

Dezvoltarea tehnică a măsurărilor în mai puțin de o generație a schimbat concepția despre măsurări, care au început să fie percepute ca niște procese numeric orientate. A fost parcursă calea de la principiile analogice până la cele numerice de reprezentare a rezultatelor măsurărilor. Aceasta necesită crearea etaloanelor naționale de generație nouă, bazate pe tehnologii noi. Echivalența etaloanelor și metodelor de măsurare la nivel internațional joacă un rol important în menținerea credibilității la nivelul consumatorului și întărește acordul despre comerțul liber. Argumentând strategia de formare și perfecționare a etalonului, este necesar de luat în considerare cerințele de nivel internațional, regional și național. Cerințele internaționale sunt expuse clar în Acordul de recunoaștere reciprocă a etaloanelor și certificatelor de etalonare (CIPM-MRA) [12].

1.1 Kelvin în contextul redefinirii unităților SI

Așa cum metrologia are rolul său special în raport cu alte științe, tot așa și unitatea de temperatură, deține un rol specific în SI. Influența temperaturii asupra altor unități de măsură, se datorează atât fenomenelor fizice, ce stau la baza realizării acestor unități, cât și datorită faptului că

etaloanele primare, sunt de regulă compuse dintr-un set de echipamente ce reproduc unitatea, asigură achiziția, transmiterea și prelucrarea informației despre mărimea unității.

În practică, este utilizat Sistemul Internațional de Unități (SI). Începând cu 20 mai 2019, toate unitățile SI sunt definite în termeni de constante fizice, ce descriu lumea naturală. Acest lucru asigură stabilitatea viitoare a SI și deschide posibilitatea de utilizare a noi tehnologii, inclusiv cuantice, pentru a pune în aplicare definițiile. Constantele fundamentale sunt alese în așa fel încât orice unitate să poată fi scrisă fie prin intermediul unei constante, fie prin produse de constante. Păstrarea continuității este o caracteristică esențială a oricărei modificări ale SI. De aceea valorile numerice ale constantelor au fost alese pentru a fi în concordanță cu definițiile anterioare, în măsura în care progresele în domeniul științei și al cunoștințelor permit acest lucru. Mărimile fundamentale SI, sunt alese prin convenție, astfel încât niciuna să nu poată fi exprimată în funcție de celelalte. Ele sunt considerate ca fiind independente deoarece o mărime fundamentală nu poate fi exprimată ca un produs al puterilor altor mărimi fundamentale [9]. Unitățile fundamentale SI, sunt unități de măsură adoptate de asemenea prin convenție pentru mărimile fundamentale, fiecărei mărimi, fiindu-i atribuită doar o singură unitate fundamentală. Conceptul contemporan de redefinire a unităților SI, pe baza constantelor fizice fundamentale, este unul firesc însă în același timp destul de dificil în realizarea practică. Încă la începutul secolului XX, fizicianul german, M. Planck, a enunțat faptul că principalele unități ale Universului, pot fi realizate pe baza constantelor fizice cum ar fi: viteza luminii, c , constanta Planck, k , sau constanta gravitațională, γ . Pentru noile definiții ale unităților SI, caracteristica particulară de bază constă în aceea că valoarea concretă, utilizată pentru determinarea unității, trebuie să aibă un caracter natural, constant în timp și spațiu. Realizarea în practică a oricărei unități SI fundamentale, trebuie să fie posibilă în orice loc, în orice timp și cu aceeași precizie.

Unitatea de temperatură, până nu demult a fost realizată prin PTA, ceea ce rezulta că Kelvin este legat de proprietatea materiei, adică a compoziției izotopice a apei. A fost totuși rațional ca și această unitate SI să fie legată de o constantă fundamentală. Pentru *Kelvin* această constantă este constanta Boltzmann k . Dintre cele mai importante avantaje a introducerii noii definiții a kelvinului, CIPM consideră creșterea preciziei măsurărilor în domeniul termometriei, în intervalele temperaturii îndepărtate de PTA. În așa fel de exemplu ar fi posibilă utilizarea termometrelor prin radiație absolută, fără a se baza pe PTA. Noua definiție stabilește următoarele:

The kelvin, symbol K, is the SI unit of thermodynamic temperature. It is defined by taking the fixed numerical value of the Boltzmann constant k to be $1,380\ 649 \cdot 10^{-23}$ when expressed in the unit $J \cdot K^{-1}$, which is equal to $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$, where the kilogram, metre and second are defined in terms of h , c and $\Delta\nu_{Cs}$. Această definiție implică relația exactă pentru k . Inversând relația se poate obține expresia în funcție de constantele fundamentale k , h și $\Delta\nu_{Cs}$:

$$1K = \frac{1.380\,649 \cdot 10^{-23}}{6.626\,070\,15 \cdot 10^{-34} \cdot 9\,192\,631\,770} \cdot \frac{\Delta v_{Cs} \cdot h}{k} \approx 2.266\,6653 \cdot \frac{\Delta v_{Cs} \cdot h}{k} \quad (1.1)$$

Conform acestei definiții un Kelvin este egal cu schimbarea temperaturii termodinamice care are ca rezultat o modificare a energiei termice $k \cdot T$ cu $1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ J.

1.2 Evoluția Scărilor Internaționale de Temperatură

O scară de temperatură poate fi considerată internațională doar dacă este adoptată de Conferința Generală de Măsurări și Greutăți, rezoluția căreia îi conferă statut legal în statele membre ale Convenției Metrului [3]. Dificultățile experimentale legate de realizarea în practică a scării termodinamice au condus la adoptarea în 1927 a unei scări practice denumită *Scara Internațională de Temperatură din 1927* (SIT-27). SIT-27 a fost definită pe baza unui număr de PF, a căror poziție față de punctul gheții pe scara termodinamică, fusese determinată folosind termometrele cu gaz, și a unor mijloace de interpolare sau extrapolare etalonate la unul sau mai multe PF. În baza acestor etalonări au fost determinate constantele din relațiile de interpolare a temperaturii între PF.

După scara din 1927, alte scări au fost adoptate în anul 1948, 1968, 1976 și 1990. Ca și în cazul revizuirii din 1960 a SIT-48, SIPT-68 nu a introdus schimbări numerice, ci numai modificări ale textului menite să clarifice și să simplifice utilizarea scării. În plus, a fost adăugat PT al argonului (83,798 K) ca o alternativă la punctul de fierbere al oxigenului. Completarea dată a fost o consecință a recunoașterii că punctele triple reprezintă puncte fixe mai bune decât punctele de fierbere, în principal datorită faptului că nu implică măsurări de presiune.

1.3 Scara Internațională de Temperatură din 1990

Cu toate că valorile de temperatură, definite în SIT-90, sunt doar o aproximație a temperaturii termodinamice, acestea pot fi evaluate mai ușor decât cele termodinamice. SIT-90 a intrat în vigoare la 1 ianuarie 1990. Adoptarea sa a suplinat SIPT-68, ediția sa revizuită din 1975 și Scala provizorie de la 0,5 K la 30 K (SIPT-76). Valorile de temperatură, definite în SIT-90, au fost revizuite pentru a fi mai aproape cu valorile termodinamice. În SIT-90 se definește unitatea temperaturii termodinamice, *Kelvinul* și se precizează că SIT-90 folosește atât temperatura *Kelvin* (T_{90}) cât și temperatura *Celsius* (t_{90}). Relația dintre aceste două mărimi este identică cu cea dintre temperatura termodinamică T și temperatura Celsius t , și anume:

$$t_{90}/^{\circ}\text{C} = t_{90}/\text{K} - 273,15 \quad (1.2)$$

Temperatura Celsius a fost păstrată din considerente istorice și de deprindere. Unitatea mărimii fizice T_{90} este kelvinul, simbol K , iar a t_{90} este gradul Celsius, simbol $^{\circ}\text{C}$, fiind aceleași unități ca și pentru temperatura termodinamică T și temperatura Celsius t . Ca și scările precedente, SIT-90 a fost concepută astfel încât, pe întreg domeniul său și la orice temperatură, valorile numerice ale lui T_{90} să fie cât mai apropiate posibil de valorile numerice ale lui T . SIT-90 se referă la

temperaturile cuprinse între 0,65 K și cea mai ridicată temperatură ce poate fi măsurată pe baza legii de radiație a lui Planck [3]. Echipamentele disponibile pentru interpolarea între valorile punctelor fixe au condus la împărțirea SIT-90 în patru domenii, în care T_{90} poate fi definită folosind:

- ◆ relațiile dintre presiunea vaporilor saturați și temperatura ^3He și ^4He ;
- ◆ termometrul cu heliu gazos;
- ◆ termometrul cu rezistență din platină etalon;
- ◆ legea lui Planck.

Unul dintre principiile care a stat la baza SIT-90 a fost că trebuie să i se ofere utilizatorului cât mai multe opțiuni pentru realizarea scării, fără afectarea exactității și reproductibilității măsurărilor. De aceea la unele domenii de temperatură sunt două sau mai multe sub-domenii, în fiecare dintre ele existând o definiție a T_{90} . Mai multe dintre domeniile și sub-domeniile de temperatură se suprapun și, în intervalele de suprapunere, coexistă definiții distincte. Aceste definiții sunt echivalente și niciuna nu este preponderentă. Un SPRT poate fi etalonat pe tot intervalul de temperaturi cuprins între 13,8033 K și 273,16 K. În acest caz trebuie să se folosească toate cele opt puncte de etalonare. Pentru o etalonare într-un sub-domeniu de temperaturi joase, de exemplu între PT_{Ar} și PTA, sunt necesare doar cele trei puncte de etalonare din acest domeniu și anume, PT_{Ar} , PT_{Hg} și PTA. În mod similar, în domeniul temperaturilor mai sus de 0 °C, un termometru poate fi etalonat doar într-un sub-domeniu al acestuia.

Domeniul de măsurare, implementat și în cadrul etalonului descris în această lucrare, este cel cu SPRT, care are utilizare de la (13,8033 K) până la punctul de solidificare al argintului (961,78 °C). Conform SIT-90 acest domeniu este împărțit în două sub-domenii principale: 13,803 3 K ... 273,16 K și respectiv 0 °C ... 961,78 °C. SIT-90 utilizează raportul dintre rezistența SPRT la temperatura T_{90} și rezistența în PTA:

$$W(T_{90}) = \frac{R(T_{90})}{R_{PTA}} \quad (1.3)$$

Această definiție a raportului $W(T_{90})$ diferă de definițiile specificate în scările anterioare (în care $W(T)$ era exprimat în funcție de rezistența la temperatura de topire a gheții) și este reprezentată de două funcții polinomiale dependente de temperatură, $W_r(T_{90})$, numite *funcții de referință* [3]. Etalonarea SPRT impune utilizarea unor *funcții abatere*, care descriu diferența dintre comportarea lor și cea a termometrelor, exprimate prin funcția de referință. În mod evident, cu cât aceste diferențe sunt fi mai mici, cu atât probabilitatea producerii de ne-unicități și de neomogenități va fi mai redusă. Expresiile funcțiilor abatere sunt pur empirice și au fost stabilite prin aproximări succesive. Coeficienții lor se determină din abaterea $W(T_{90}) - W_r(T_{90})$, măsurată la punctele din sub-domeniul de temperatură în care se efectuează etalonarea. Cu cât sub-domeniul este mai mic, cu atât numărul PF necesare este

mai redus. Cerințele fizice pentru SPRT-urile care sunt utilizate la temperaturi înalte și la temperaturi joase sunt diferite, astfel că nu este posibil să se utilizeze un singur termometru pentru tot domeniul.

1.4 Realizarea scării de temperatură SIT-90 în Republica Moldova

Etaloanele naționale a unității de temperatură trebuie să poată reproduce experimental valoarea temperaturii, care să fie comparabilă cu stabilitatea intrinsecă a traductorului de temperatură și a echipamentelor asociate acestuia. Totodată etalonul trebuie să poată fi realizat relativ simplu, în așa fel încât să poată fi ușor pus în funcțiune. Echipamentele care satisfac aceste condiții sunt PF care sunt ușor reproductibile în orice loc.

Realizarea unității de temperatură în Republica Moldova, prin intermediul etalonului creat, se efectuează în conformitate cu SIT-90. De aceea redefinirea kelvinului se răsfrânge și asupra etalonului descris în această lucrare. Luând în considerație conceptele puse la baza redefinirii unității, consecințele asupra realizării în practică a unității de temperatură cu etalonul creat, sunt totuși reduse. Acest lucru se explică prin următoarele aspecte:

- Intervalul de temperaturi de la (-40) °C până la 961 °C, va continua să fie realizat cu ajutorul SPRT, etalonate în PF de definiție a SIT-90;
- Valorile temperaturii punctelor fixe, în acest interval, rămân aceleași;
- Incertitudinea de măsurare va depinde de realizarea în practică a PF.

2 CONSTRUCȚIA ȘI PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE A ETN 02-12

În acest capitol este descrisă construcția etalonului precum și procedurile experimentale de realizare a temperaturii punctelor fixe ale mercurului, apei, galiului, indiului, staniului, zincului, aluminiului și argintului. Acest capitol detaliază caracteristicile tehnice și metrologice a echipamentelor utilizate precum și descrie tehnicile constructive ale componentelor punctelor fixe. La finalul capitolului este prezentat una dintre cercetările realizate asupra componentelor etalonului, și anume studiul de determinare a reproductibilității instalației de realizare a punctului de solidificare a aluminiului.

Crearea etalonului național ETN 02-12 (Figura 2.1) realizează unitatea de temperatură, conform SIT-90, în intervalul de temperaturi de la $(-38,8344)^\circ\text{C}$ până la $961,78^\circ\text{C}$.



Fig. 2.1. Vedere generală a instalațiilor PF din cadrul etalonului național

ETN 02-12 creat, este realizarea practică a Scării naționale de temperatură, fiind în conformitate cu SIT-90 (Figura 2.2).

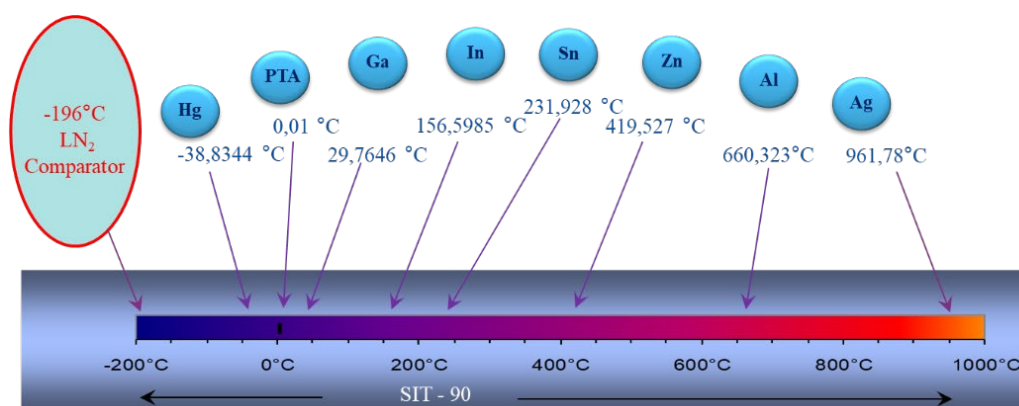


Fig. 2.2. Punctele fixe de definiție ale SIT-90 din componența etalonului

Pentru preluarea unității de măsură de la etaloanele naționale ale altor state, precum și pentru diseminarea ei pe teritoriul țării, ETN 02-12 este dotat cu un set de SPRT-uri ce permit preluarea, conservarea și transmiterea unității. Imersarea se face în instalații de PF și incinte termostatate ce au caracteristicile metrologice capabile să îndeplinească cerințele stabilite. PTA este realizată în incinta

model 7312, care are posibilitatea imersării concomitente a două celule PTA. Aceasta permite efectuarea inclusiv a comparațiilor între celulele ETN 02-12 și determinarea valorii de referință a temperaturii reproduse. Instalația pentru reproducerea temperaturii de topire a Ga, permite realizare atât în regim manual cât și în regim automatizat. Materializarea PS a metalelor este realizată în instalații cu trei zone (In, Sn, Zn și Al) și tip "heat pipe". Instalația PS_{Ag} este dotată și cu un cuptor încorporat, de aliniere a temperaturii și recoacere a SPRT, ceea ce permite mișcarea SPRT sau a TC la temperaturi apropiate punctului de solidificare.

Valorile unității de temperatură, reproduse cu ajutorul PF și măsurate cu SPRT, sunt citite prin intermediul termometrelor digitale și a punților în curent continuu (Figura 2.3), care sunt dotate cu aplicații specializate, pentru înregistrarea și prelucrarea datelor.



Fig. 2.3. Punte model microK 125

Schema electrică și principiul de funcționare a punții este prezentată în Figura 2.4.

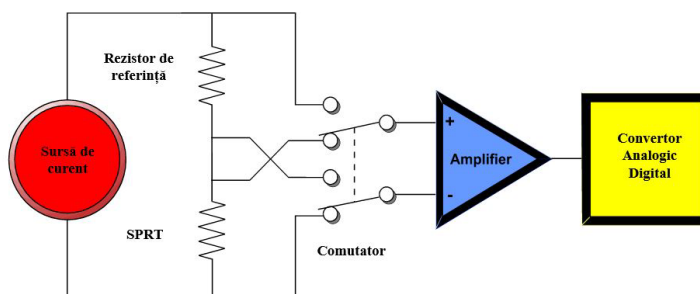


Fig. 2.4. Schema electrică principală a punții în c.c.

Realizarea temperaturii în PF, implică necesitatea atingerii stării de echilibru a fazelor unei substanțe pure aflată în echilibru termic, și apoi măsurarea proprietății sale termometrice. Prin observarea evoluției în timp, tranziția de fază este localizată iar temperatura corespunzătoare PF, este asociată cu rezistența electrică măsurată în timpul palierului de topire sau solidificare. Sistemul de măsurare, dezvoltat și utilizat este prezentat în Figura 2.5. SPRT se plasează vertical în instalațiile pentru materializarea PF. PM măsoară raportul dintre rezistența electrică a SPRT și rezistența

electrică a unui rezistor de referință (R_s), menținut într-un termostat cu temperatură constantă (de obicei 23 ± 1 °C). Valorile R_s sunt corectate în funcție de temperatura din termostat.

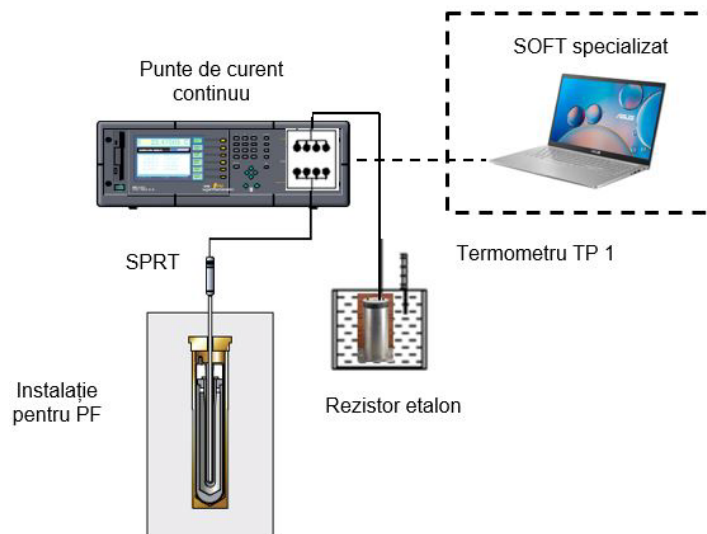


Fig. 2.5. Schema de măsurare a temperaturii cu ETN 02-12

2.1 Reproducerea temperaturii punctului triplu al apei

După cum am enunțat în primul capitol al acestei lucrări, PTA reprezintă temperatura unică la care fazele solidă, lichidă și gazoasă ale apei, coexistă în echilibru termic. El joacă un rol fundamental în termometrie fiind singura temperatură comună ambelor scări de temperatură (SIT-90 și Scara termodinamică). Dacă o celulă PTA asigură o adâncime de imersie adecvată, forma și dimensiunile sale nu sunt critice. Constructiv, celulele reprezintă un cilindru etanșat din cuarț, care la temperatura punctului triplu, conține gheață, apă și vapori. Un tub coaxial interior, în care se introduce termometrul ce urmează să fie etalonat, este sudat de corpul celulei.

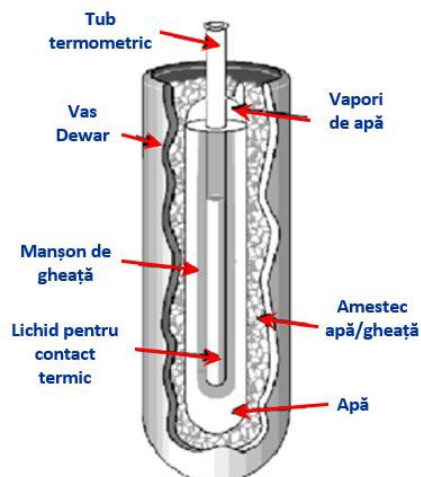


Fig. 2.6. Structura unei celule de punct triplu al apei

Forma cilindrică a celulelor, cu tubul central în care se plasează SPRT, este primul pas pentru ca temperatura măsurată să fie cât mai puțin perturbată de fluxurile termice parazite și de efectele impurităților reziduale. Realizarea unui contact termic cât mai bun între SPRT și PTA, este cel mai bine obținut prin formarea unui manșon de gheață, a cărei suprafață exterioară reprezintă prima

interfață gheață/apă, în jurul tubului central și prin topirea unui strat subțire de gheață în imediata vecinătate a acestuia, se creează a doua interfață apă/gheață, care este în contact termic cu SPRT.

2.2 Reproducerea la etalon a temperaturii punctelor fixe ale metalelor

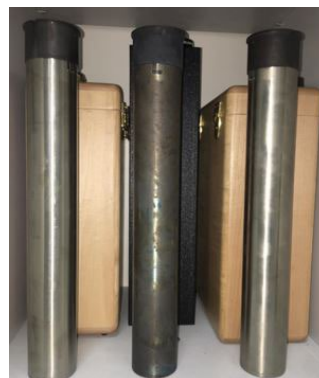
Punctele fixe ale metalelor sunt definite pentru a extinde domeniul de reproductibilitate a temperaturii pe scara SIT-90. Tranziția de fază lichid/solid a metalului este utilizată pentru a realiza și reproduce temperatura uniformă, care este măsurată direct de la punctele fixe. SPRT-urile sunt plasate în canalul termometric a celulelor de PF pentru a măsura și a realiza temperatura pentru toate punctele fixe. Realizarea PF este realizată în conformitate practicile stabilite în [3]. Din punct de vedere constructiv în celulele de solidificare și topire se utilizează metale foarte pure amplasate în celule etanșe (de tip închis) sau celule de tip deschis. Celulele de tip închis utilizate în cadrul etalonului (Figura 2.7), sunt etanșate în timpul fabricării și de aceea presiunea internă nu poate fi controlată sau măsurată în timpul utilizării. Pentru realizarea cu exactitate a punctelor de solidificare/topire, metalele folosite trebuie să fie de înaltă puritate ($\geq 99,9999\%$) [3]. Majoritatea impurităților coboară punctele de solidificare. Valoarea temperaturii punctului de solidificare este atribuită pentru presiunea normală $p_0 = 101\,325\text{ Pa}$, de aceea spațiul înconjurător metalului trebuie să poată fi controlat și menținut la această presiune.



a) Celule etanșe a PS_{Al}, PS_{Ag}



b) Celule etanșe a PT_{Hg}



c) Celule PS_{In}, PS_{Sn}, PS_{Zn}

Fig. 2.7. Celule ale punctelor fixe din componența etalonului

Celulele utilizate în ETN 02-12 sunt în formă de un cilindru din sticlă cuarț, etanșate. În procesul de realizare se induc două interfețe lichid/solid în celulă. O interfață acoperă sensorul SPRT în timpul etalonării. Este extrem de important să existe o mare uniformitate, stabilitate și control a temperaturii celulei.

Temperaturile de topire și solidificare pentru un metal ideal pur sunt identice. Cu toate acestea, odată cu introducerea impurităților în metal, echilibrul PS sunt de obicei ușor mai scăzute. Durata palierelor de solidificare este un indicator al calității realizării PF. Palierile lungi oferă suficient timp pentru ca între metal și SPRT să se stabilească echilibrul termic și astfel să se efectueze măsurări de echilibru pe întreaga durată a solidificării/topirii. O durată scurtă a palierelor de solidificare este un indicator al existenței unor probleme cu anumite caracteristici termice ale mediului înconjurător

celulei, cum ar fi o diferență importantă între temperatura PF și cea a cuptorului, sau prezența unor gradienti de temperatură excesiv de mari. Pentru a se asigura formarea corectă a interfeței solid/lichid, gradientii de temperatură trebuie să fie cât mai mici, pe toată lungimea metalului din celulă. De aceea pentru a crește calitatea PF realizate, etalonul a fost dotat cu cuptoare de înaltă performanță. Realizarea optimă a PF, necesită ca durata palierelelor de solidificare/topire să fie de minim a 8 ore.

2.3 Cercetarea reproductibilității punctelor fixe din componența etalonului

Pe parcursul dezvoltării și modernizării etalonului, am realizat cercetări asupra tuturor părților componente. Dat fiind faptul că cercetările sunt destul de complexe, în acest capitol voi prezenta doar o parte din cercetarea instalației de reproducere a PS_{Al} . Odată cu dezvoltarea ETN 02-12, care să satisfacă atât cerințele economiei naționale cât și să corespundă criteriilor internaționale, un lucru important și indispensabil îl reprezintă cercetarea continuă a etalonului precum și a părților componente ale lui. Măsurările sau efectuat prin compararea rezistențelor relative W_{PF} , primate cu ajutorul SPRT în celula PF, la diferite paliere, realizate în diferite perioade de timp, și cu diferite termometre. Rezultatele obținute la studiu sunt prezentate în Figura 2.8.

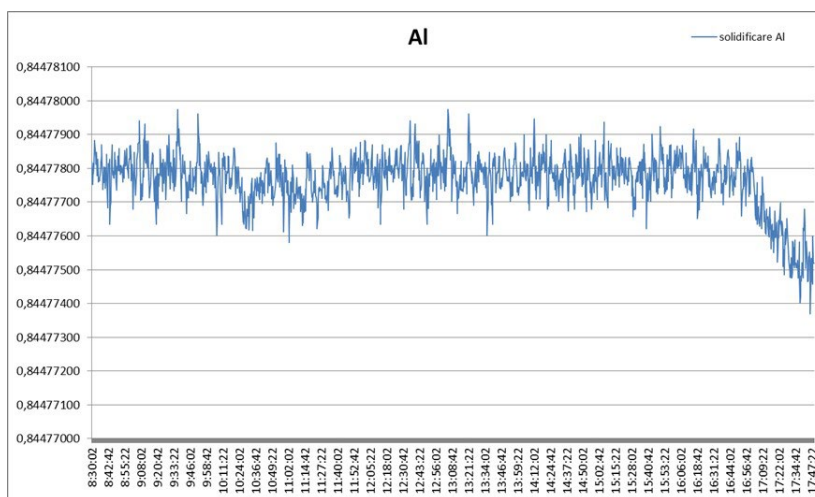


Fig. 2.8. Durata procesului de solidificare a celulei PS_{Al}

Este necesar de specificat faptul că în urma cercetării și comparării ulterioare, s-a putut demonstra funcționalitatea instalației de reproducere a temperaturii de solidificare a Al (660,323 °C).

3 DISEMINAREA UNITĂȚII DE TEMPERATURĂ DE LA ETALON

Preluarea unității de măsură a temperaturii, de la alte etaloane, reproducerea ei cu ajutorul etalonului național descris în această lucrare, precum și diseminarea unității către beneficiari, este posibilă doar prin efectuarea de măsurări. Aceste măsurări sunt realizate prin intermediul etalonării fie a SPRT și TC, în PF ale SIT-90, fie etalonării nemijlocit a celulelor de PF. În acest capitol mă voi referi mai detaliat la SPRT, care sunt cele mai stabile echipamente utilizate la conservarea unității de temperatură și sunt folosite pentru a aproxima temperatura în SIT-90. Constrângerile mecanice, electrice și termice fac ca nici un SPRT să nu poată fi utilizat pe tot intervalul de temperaturi. Astfel putem deosebi trei tipuri distincte de SPRT:

- ◆ **SPRT pentru temperaturi joase** - numite și *Capsule-type*.
- ◆ **SPRT pentru temperaturi medii** - denumite *Long-stem* (cu tijă lungă).

Ambele tipuri au de obicei o rezistență de aproximativ 25Ω la PTA, ceea ce dă o sensibilitate nominală de circa $0,1 \Omega/K$. La un curent de 1 mA , efectul de auto-încălzire este $(0,2 \div 4) \text{ mK}$.

- ◆ **SPRT pentru temperaturi înalte** - denumite *High-temperature*, reprezintă SPRT cu tijă lungă care sunt utilizate la temperaturi de până la $962 \text{ }^\circ\text{C}$.

Termometrele tip tijă (LSPRT) se folosesc între $(-189,3442)$ și $660,323 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 3.1).

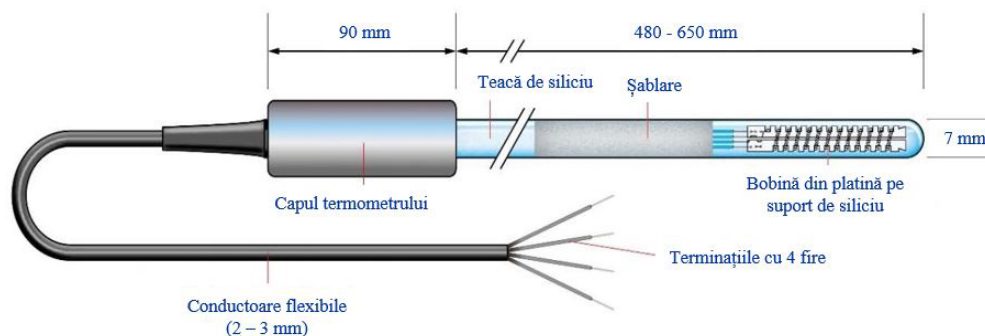


Fig. 3.1. LSPRT de 25Ω [7]

3.1 Descrierea metodei pentru diseminarea unității de temperatură de la etalon

Diseminarea unității de măsură se efectuează prin metoda comparării rezultatelor primite cu ajutorul SPRT, în celula de PF din componența ETN 02-12, cu rezultatele măsurate în celula etalonată. În rezultat pentru celula etalonată se determină deviația temperaturii de la ETN 02-12.

- Determinarea deviațiilor datorate substanței punctului fix

Compoziția izotopică a apei din celulele utilizate în ETN 02-12, este suficient de apropiată de cea de referință, de aceea efectul izotopilor asupra temperaturii PTA poate fi exprimat prin următoarea relație>

$$\Delta T_{ISO} = -A_D \cdot \delta D - A_{17O} \cdot \delta^{17}O - A_{18O} \cdot \delta^{18}O \quad (3.1)$$

unde: A_D, A_{17O}, A_{18O} - sunt constante izotopice;

$\delta^{17}O, \delta D$ și $\delta^{18}O$ - reprezintă diferențe în compoziția izotopică de la V-SMOW.

Efectele datorate impurităților din metalele PF sunt cele mai semnificative surse de incertitudine.

$$\Delta T_{imp} = T_{ref} - T_{m\acute{a}s} = C_{11} / A, K \quad (3.2)$$

unde: C_{11} – suma concentrațiilor (cantitatea molară) a tuturor impurităților, ppm;

A – constanta crioscopică a metalului respectiv, $1/K$.

- Determinarea deviațiilor datorate efectelor presiunii din celule

În orice măsurare cu înaltă exactitate a temperaturii de echilibru a fazelor, trebuie să se i-a în considerare ambele efecte datorate presiunii:

- ◆ presiunea gazului din celulă;

La celulele utilizate în cadrul etalonului național, fiind celule de tip etanș, presiunea internă nu poate fi controlată sau măsurată în timpul etalonării și se i-a ca presiune de referință valoarea $P_0 = 101325$ Pa. În realitate presiunea din celulă este de obicei mai mică, de aceea se introduce corecția conform relației:

$$\Delta T_p = - \frac{dT}{dP} \cdot (P_{mas} - P_0) \quad (3.3)$$

unde: P_0 – presiunea atmosferică normală; P_{mas} – presiunea măsurată la etanșarea celulei;

dT/dP – coeficientul de variație a temperaturii cu presiunea.

- ◆ presiunea hidrostatică a coloanei de substanță în faza lichidă.

Spre deosebire de PS, pentru punctele triple, efectul presiunii este o consecință numai a presiunii hidrostatice a lichidului din celulă, care reprezintă presiunea la o adâncime de h metri sub suprafața apei sau a metalului lichid. Temperatura de echilibru t_{90} , la interfața solid/lichid este:

$$\Delta t_{90} = A + \frac{dT}{dh} \cdot h \quad (3.4)$$

unde: A – valoarea temperaturii PF respectiv; dT/dh – coeficientul de variație a temperaturii cu adâncimea de imersie h .

Pentru determinarea presiunii hidrostatice, măsurările se efectuează de jos în sus cu pasul de 1 cm până la nivelul de 10 cm mai jos de suprafața metalului sau apei din celulă.

- Determinarea efectului de auto-încălzire

Măsurarea rezistenței electrice se efectuează cu doi curenți, I și, respectiv, $\sqrt{2} \cdot I$. Pe baza proporționalității efectului de încălzire cu I^2 , variația de temperatură observată reprezintă efectul de încălzire produs de curentul I . După măsurarea cu curentul $\sqrt{2} \cdot I$, se face o nouă măsurare cu

curentul I , pentru verificarea repetabilității. Pentru eliminarea efectului de auto-încălzire, măsurările se efectuează la doi curenți diferiți, iar rezultatele se extrapolează la curent zero (3.5).

$$R_0 = R_1 - \Delta R_{sh} = 2 \cdot R_1 - R_2 = R_1 - \frac{I_1^2}{I_2^2 - I_1^2} \cdot (R_2 - R_1) \quad (3.5)$$

unde: R_0 – reprezintă valoarea rezistenței electrice extrapolate la curent zero;

R_1 și R_2 – rezistențele electrice măsurate folosind curenții I_1 și, respectiv, I_2 ;

I_1 și I_2 – intensitatea curentului electric;

ΔR_{sh} – diferența dintre rezistențele electrice măsurate la curenții I_1 și, respectiv, I_2 .

3.2 Etalonarea celulelor PTA

Înainte de efectuarea măsurărilor propriu zise, celulele PTA etalonată și cea de referință (din componența ETN 02-12), după realizarea manșonului de gheață, se mențin cel puțin de 24 ore în termostat sau vasul Dewar. Măsurările se efectuează imersând SPRT în PTA de referință și apoi în PTA etalonată. Metoda dezvoltată și implementată la etalonul național, prevede efectuarea a minim trei serii de măsurări (câte o serie pe zi).

3.3 Etalonarea celulelor de solidificare și topire

Nemijlocit după finalizarea măsurărilor în PF, se efectuează măsurarea rezistențelor în PTA la doi curenți de măsurare. Se determină valorile rezistenței relative, W_t , primite din raportul valorilor rezistențelor măsurate în PF și PTA, primite după introducerea corecțiilor datorate efectului de încălzire și presiunii hidrostatice. Rezultatele obținute la etalonarea celulei de PF se prelucrează similar ca la PTA, cu următoarele modificări.

- După obținerea rezistenței SPRT și introducerea cu corecțiilor, datorate efectului hidrostatic și efectului de autoîncălzire, introduse la curent zero, se introduce corecția datorată impurităților metalului PF.
- Pe baza rezultatelor în PF și PTA, se calculează valoarea rezistenței relative, W_{PFi} , dintre rezistența SPRT măsurată în PF, R_{PFi} , și rezistența R_{PTAi} , măsurată în PTA, imediat după efectuarea măsurărilor în PF:

$$W_{PFi} = \frac{R_{PFi}}{R_{PTAi}} \quad (3.6)$$

Unde: W_{PFi} - rezistența relativă a SPRT în seria i de măsurare;

R_{PFi} - rezultatul i a măsurării în PF, corectată la efectul hidrostatic, la curent zero, Ω ;

R_{PTAi} - rezultatul în PTA, efectuată după măsurarea în PF în ciclul i de măsurare, Ω .

- Media aritmetică a rezistenței relative a SPRT în fiecare PF se determină conform relației:

$$W_{PF} = \frac{\sum W_{PFi}}{n} \quad (3.7)$$

- Diferența dintre valorile W_{PF} pentru fiecare SPRT (în cazul utilizării a două termometre), în celulele etalon și cea etalonată se determină conform relațiilor:

$$\Delta W_{1i} = W_{1ref} - W_{1mas} \quad (3.8)$$

$$\Delta W_{2i} = W_{2ref} - W_{2mas} \quad (3.9)$$

unde: W_{1ref} și W_{2ref} - valorile calculate pe baza măsurării cu SPRT 1 și 2 în PF referință;

W_{1mas} și W_{2mas} - valorile, calculate pe baza măsurării cu SPRT 1 și 2 în PF etalonată.

i - identificarea seriei, în care au fost efectuate măsurările.

- Pe baza rezultatelor primite în toate seriile de măsurări, se determină media aritmetică:

$$\Delta W_{med} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta W_i \quad (3.10)$$

- Valoarea corecției atribuită temperaturii, realizate cu ajutorul celulei PF etalonată, în echivalent termic se determină cu ajutorul relației:

$$\Delta T_{mas} = \Delta W_{med} \cdot \frac{dT}{dW} + \Delta T_{ref} \quad (3.11)$$

unde: ΔT_{ref} - corecția PF de referință dată în certificatul de etalonare.

3.4 Etalonarea termometrelor cu rezistență din platină etalon în PF

Etalonarea SPRT în PF, este metoda de bază utilizată în intervalul de la (-38,8344) °C până la 961,78 °C. Pentru obținerea unei scări continue, SIT-90 definește SPRT și o serie de ecuații care permit interpolarea între diferite PF. Deoarece SPRT sunt realizate din platină de înaltă puritate și au caracteristici asemănătoare, este suficient să se determine abaterea raportului $W(T_{90})$ de la o valoare de referință. Caracteristica de gradare a SPRT se determină ca funcția abaterii $\Delta W(T)$ de la funcția standard a SIT-90, $W_r(T_{90})$:

$$\Delta W(T_{90}) = W(T_{90}) - W_r(T_{90}) \quad (3.12)$$

unde: $W(T_{90})$ - este raportul dintre rezistențele SPRT la temperatura T_{90} și, respectiv PTA;

$W_r(T_{90})$ - este o funcție polinomială.

SIT-90 cuprinde intervale și sub-intervale de temperatură, în fiecare dintre acestea existând o definiție a temperaturii T_{90} . Se folosesc două funcții de referință, $W_r(T_{90})$, descrise cu relațiile. Funcțiile de referință au fost stabilite din datele experimentale și deoarece platina are o comportare bine reproducibilă, suficient de pură și fără tensiuni mecanice, cele două funcții aproximează comportarea tuturor SPRT. SIT-90 permite ca etalonările SPRT să fie efectuate în sub-intervale de temperatură

limitate de oricare dintre punctele fixe. Ordinea de măsurare în dependență de intervalul de temperaturi este indicată în Tabelul 3.1.

Tabelul 3.1. Punctele fixe de definiție ale SIT-90 [3], [13]

Intervalul de temperaturi, °C	Ordinea de realizare a pruncelor fixe	Funcția abatere, $\Delta W(T_{90})$
-38,8344 ÷ 29,7646	Hg, PTA, Ga, PTA	$a[\Delta W-1] + b[\Delta W-1]^2$
0,01 ÷ 29,7646	Ga, PTA	$a[\Delta W-1]$
0,01 ÷ 156,5985	PTA, In, PTA	$a[\Delta W-1]$
0,01 ÷ 231,928	In, PTA, Sn, PTA	$a[\Delta W-1] + b[\Delta W-1]^2$
0,01 ÷ 419,527	Zn, PTA, Sn, PTA	$a[\Delta W-1] + b[\Delta W-1]^2$
0,01 ÷ 660,323	Al, PTA, Zn, PTA, Sn, PTA	$a[\Delta W-1] + b[\Delta W-1]^2 + c[\Delta W-1]^3$
0,01 ÷ 961,78	Ag, PTA, Al, PTA, Zn, PTA	$a[\Delta W-1] + b[\Delta W-1]^2 + c[\Delta W-1]^3 + d[W-W_{Al}]^2$

Pentru a obține curba de etalonare a unui SPRT, trebuie de determinat abaterile raportului său (W_t) față de raportul de referință (W_r) la orice temperatură din domeniul de utilizare. Pentru aceasta se utilizează funcțiile abatere, $\Delta W(T_{90})$, care este o funcție cu o formă generală, dar valorile coeficienților săi sunt specifici SPRT supus etalonării și sunt determinați din măsurările la PF. Temperature care este reprodusă de etalonul național, prin metoda PF, cuprinde 7 sub-domenii. În fiecare sub-domeniu există o funcție abatere și o serie de puncte fixe. Unele dintre aceste sub-domenii se suprapun și, în intervalele de suprapunere, coexistă definiții distincte. Aceste definiții sunt echivalente și niciuna nu este preponderentă.

4 DEMONSTRAREA ECHIVALENȚEI UNITĂȚII DE TEMPERATURĂ

În acest capitol, sunt prezentate etapele parcurse în demonstrarea echivalenței etalonului creat, precum și rezultatele obținute, care în final au dus la recunoașterea la nivel internațional a etalonului și a măsurărilor realizate cu el. În capitolul dat vom discuta de asemenea despre conceptele de etalonare trasabilitate metrologică, despre tipurile de incertitudine de măsurare. Sunt prezentate detaliat contribuțiile de incertitudine și estimarea lor la reproducerea temperaturii, precum și la etalonarea mijloacelor de măsurare a temperaturii.

4.1 Conceptului de incertitudine și modelarea măsurării

Atunci când se raportează rezultatul măsurării unei mărimi, este important de a fi prezentată o indicație cantitativă asupra calității rezultatului, pentru ca cei ce îl vor utiliza să poată evalua credibilitatea acestor măsurări. Fără aceasta, rezultatele nu pot fi comparate nici între ele, nici cu valorile de referință. În acest proces este necesar să existe o metodă ce poate fi ușor aplicată pentru caracterizarea calității rezultatului acestei măsurări. Până la apariția conceptului de incertitudinii de măsurare, la etalonare se utiliza în majoritatea cazurilor, calcularea abaterii standard experimentale a mediei. Amplele procese de creare și dezvoltare a etaloanelor naționale, a condus la abordări moderne în problema incertitudinii, aflate într-un proces constant de îmbunătățire.

- Evaluarea incertitudinii de măsurare în PTA

În cazul etalonării unei celule de PTA, mărimea care ne interesează, este abaterea temperaturii reproduse de celula etalonată, ΔT_{mas} , de la valoarea celulei PTA de referință, T_{ref} , măsurată cu unul sau două SPRT. Modelul matematic este descris prin următoarea relație:

$$\Delta T_{mas} = \Delta R_{med} + \delta T_{ce} + \delta T_{drift} + \delta T_{rep} + \delta T_{iso} + \delta R_{hid} + \delta R_{sh} + \delta T_f + \delta T_{sis} \quad (4.1)$$

unde: ΔR_{med} - valoarea medie a corecțiilor obținute în toate seriile de măsurări;

δT_{ce} - contribuția datorată etalonării celulei de referință;

δT_{drift} - deriva în timp a celulei de referință;

δT_{rep} - contribuția datorată reproductibilității celulei de referință;

δT_{iso} - contribuția datorată compoziției izotopice a apei;

δT_{sh} - contribuția datorată efectului de auto-încălzire;

δT_{hid} - contribuția datorată presiunii hidrostatice;

δT_f - contribuția datorată fluxurilor de căldură parazite;

δT_{sis} - contribuția datorată efectelor sistematice a punții de măsurare.

Pentru fiecare corecție determinată se evaluează și incertitudinea asociată ei. Incertitudinea standard compusă, $u_c(\Delta T_{m\acute{a}s})$, se determină ca rădăcina pătrată pozitivă a estimațiilor incertitudinilor obținute la măsurarea în PTA_{ref} și în PTA etalonată, cu ajutorul relației:

$$u_c^2(\Delta T_{mas}) = \left(\frac{\partial R}{\partial T}\right)^2 \cdot u^2(\Delta R_{med}) + u^2(\delta T_{ce}) + u^2(\delta T_{drift}) + u^2(\delta T_{rep}) + \quad (4.2)$$

$$+ u^2(\delta T_{iso}) + u^2(\delta T_{hid}) + u^2(\delta T_{sh}) + u^2(\delta T_f) + 2 \cdot \left(\frac{\partial X}{\partial T}\right)^2$$

$$\cdot [u^2(\delta X_{ce}) + u^2(\delta X_{drift}) + u^2(\delta X_{rez}) + u^2(\delta R_S)]$$

După determinarea $u_c(\Delta T_{m\acute{a}s})$, se calculează incertitudinea extinsă, $U(\Delta T_{m\acute{a}s})$, ca incertitudinea standard compusă multiplicată la factorul de extindere k :

$$U(\Delta T_{mas}) = k \cdot u_c(\Delta T_{mas}) \quad (4.3)$$

În modelul matematic utilizat la estimarea incertitudinii de măsurare, toate mărimile de intrare sunt considerate ca fiind necorelate. Deși între unele contribuții există corelații, și ar trebui estimată, totuși valorile având o contribuție nesemnificativă și pot fi neglijate.

- Evaluarea incertitudinii în punctele fixe ale metalelor

Estimarea incertitudinii de măsurare se efectuează pentru fiecare punct măsurat. Mărimea care interesează la etalonarea celulei PF, este de asemenea abaterea temperaturii, $\Delta T_{m\acute{a}s}$, de la temperatura celulei PF de referință, T_{ref} , măsurată cu ajutorul SPRT. Abaterea temperaturii, $\Delta T_{m\acute{a}s}$, de la T_{ref} , este determinată cu ajutorul relației:

$$\Delta T_{mas} = \Delta R_{med} + \delta T_{ce} + \delta T_{drift} + \delta T_{rep} + \delta T_{iso} + \delta R_{hid} + \delta R_{sh} + \delta T_f + \delta T_{sis} \quad (4.4)$$

unde:

ΔR_{med} - valoarea medie a corecțiilor obținute în toate seriile de măsurări;

δT_{ce} - contribuția datorată etalonării celulei PF de referință;

δT_{drift} - deriva în timp a celulei PF de referință;

δT_{rep} - contribuția datorată reproductibilității PF de referință;

δT_{imp} - contribuția datorată impurităților din PF de referință și cel etalonat;

δT_{sh} - contribuția datorată efectului de autoîncălzire;

δT_{hid} - contribuția datorată presiunii hidrostatice, în ambele celule;

δT_f - contribuția datorată fluxurilor de căldură parazite, în ambele celule;

δT_{sis} - contribuția datorată efectelor sistematice.

Incertitudinea standard compusă, la etalonarea PS se determină cu ajutorul relației:

$$u_c^2(\Delta T_{mas}) = \left(\frac{\partial R}{\partial T}\right)^2 \cdot u^2(\Delta R_{med}) + u^2(\delta T_{ce}) + u^2(\delta T_{drift}) + u^2(\delta T_{rep}) + \quad (4.5)$$

$$+u^2(\delta T_{iso}) + u^2(\delta T_{hid}) + u^2(\delta T_{sh}) + u^2(\delta T_f) + 2 \cdot \left(\frac{\partial X}{\partial T}\right)^2 \cdot [u^2(\delta X_{ce}) + u^2(\delta X_{drift}) + u^2(\delta X_{rez}) + u^2(\delta R_S)]$$

Incertitudinea extinsă, $U(\Delta T_{m\acute{a}s})$, se calculează conform relației 4.3. Toate mărimile de intrare sunt considerate ca fiind necorelate.

4.2 Implicarea etalonului ETN 02-12 în comparații internaționale

Odată cu crearea etalonului național ETN 02-12, pe lângă asigurarea uniformității și trasabilității metrologice a unității de temperatură, unul dintre eforturile principale a constat și demonstrarea capabilităților de măsurare și recunoașterea la nivel internațional a măsurărilor efectuate în țară. Cea mai corectă cale în acest sens este îndeplinirea condițiilor stipulate în CIPM MRA [12], care prevede condițiile de recunoaștere reciprocă a măsurilor și a certificatelor de etalonare emise de institutele de metrologie. Prin semnarea CIPM MRA a Convenției Metrului au fost deci conturate opțiunile strategice de dezvoltare a metrologiei în Republica Moldova, vizând printre altele, alinierea exactității măsurărilor realizate în țară, cu măsurările efectuate la nivel internațional și recunoașterea deci a valabilității rezultatelor acestor măsurări de către toți semnatarii. Reieșind din aceste priorități, începând cu anul 2007, am participat la mai multe proiecte regionale, în cadrul COOMET (din 2017 și în cadrul EURAMET) cât și bilaterale cu alte institute. Contribuția mea personală, la crearea și dezvoltarea etalonului național, a constat inclusiv în participarea la următoarele proiecte de comparații internaționale.

- ◆ **COOMET.T-K7:** Key comparison of water triple point cells;
- ◆ **COOMET.T-K3.3:** Realizations of the ITS-90 from 273.16 K to 933.473 K.
- Participarea la compararea COOMET.T-K7 în punctul triplu al apei

Compararea cheie COOMET.T-K3.3 *Key comparison of water triple point cells* [14] este o comparare cheie COOMET, ce a fost realizată similar comparării cheie K7 a CCT. În cadrul comparării date (Figura 4.1) au participat șapte institute naționale de metrologie.

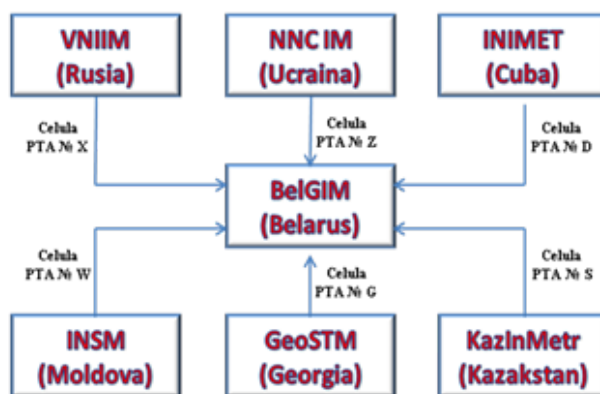


Fig. 4.1. Schema comparației cheie în PTA [14]

- Participarea la compararea COOMET.T-K3.3 în punctele fixe ale metalelor

În urma colaborării eficiente în cadrul COOMET, a fost posibilă participarea la mai multe proiecte comune, în special ce ține de demonstrarea echivalenței unității, reprodusă de etalonul național ETN 02 - 12. Drept rezultat au fost publicate capabilitățile de măsurare în intervalul de la 0,01 °C până la 660 °C, realizate în puncte fixe. În această comparare drept institut ce a asigurat relația de echivalență a comparării COOMET cu comparațiile cheie BIPM, a fost VNIIM. În cadrul comparării COOMET.T-K3.3, au participat mai multe următoarele institute (Figura 4.2) [15].

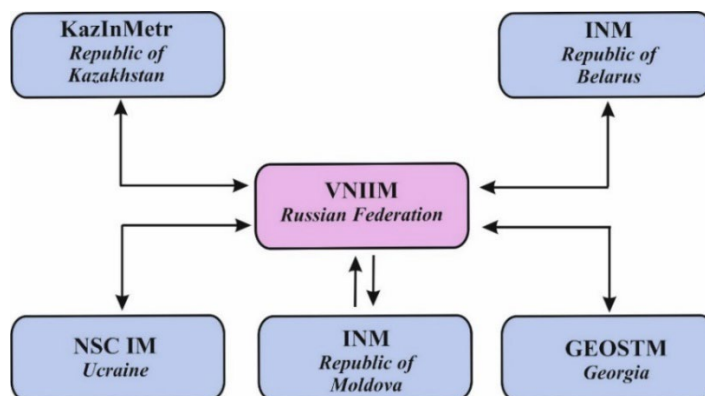


Fig. 4.2. Schema comparării COOMET.T-K3.3 [15]

4.3 Determinarea gradelor de echivalență a etalonului național

Rezultatele comparațiilor COOMET au fost estimate în concordanță cu recomandările COOMET, care permit realizarea trasabilității rezultatelor comparațiilor regionale COOMET cu cele cheie ale CIPM (de exemplu în cazul PTA cu rezultatele comparației CCT-K3). Respectiv rezultatele comparației cheie K3 din protocolul WG8 "Inter-RMO CMC review committee 3-26-03", sunt prezentate ca diferențe $[T_{NMI} - ARV(K3)]$ cu evaluările incertitudinilor lor pentru fiecare punct de referință și fiecare institut. Gradul de echivalență a INM a fost calculat cu relația:

$$d_{INM} = (T_{INM} - T_{VNIIM}) + (T_{VNIIM} - ARV_{K3}) \quad (4.6)$$

Incertitudinea asociată a gradului de echivalență a fost determinată cu ajutorul relației:

$$U^2(d) = U^2(T_{INM} - T_{VNIIM}) + U^2(T_{VNIIM} - ARV_{K3}) \quad (4.7)$$

Drept rezultat a fost posibilă efectuarea legăturii dintre rezultatele măsurărilor obținute la comparare de către etalonul cercetat și cele din CCT-K3. În Tabelul 4.6 sunt prezentate rezultatele finale ale comparației, în baza cărora au fost publicate capabilitățile de măsurare a INM.

Tabelul 3.2. Rezultatele gradelor de echivalență obținute de etalonul național

Punctul fix	$T_{INM} - ARV$	$U(T_{INM} - T_{VNIIM})$	$U(T_{INM} - ARV)$
	mK	mK	mK
Ga	0.30	0.39	0.46
In	0.22	0.77	1.38
Sn	-0.51	0.89	1.33
Zn	0.66	1.78	2.57
Al	-0.04	2.90	3.44

Reprezentarea grafică a rezultatelor obținute este dată în Figura 4.3.

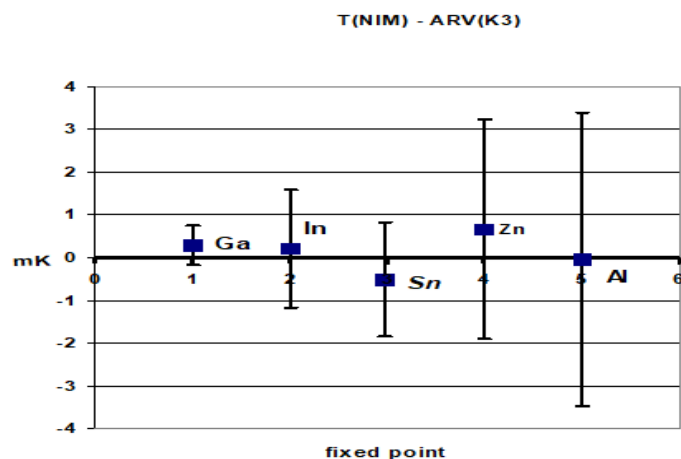


Fig. 4.3. Diferența obținută [$T_{INM} - ARV(K3)$] pentru fiecare PF [15]

Scopul comparațiilor a fost determinarea gradului de echivalență a unității de temperatură, reprodusă de etalonul național construit, ETN 02-12. Rezultatele finale au fost publicate în Baza de date a BIPM în mai multe etape. Aceste rezultate au demonstrat calitatea instalațiilor de reproducere a PF îmbunătățite și cercetate de mine. De asemenea a demonstrat competența de a efectua etalonări cu cea mai înaltă exactitate.

Ca urmare a rezultatelor obținute în urma comparațiilor etalonului, a fost posibilă publicarea capabilităților de măsurare, precum demonstrarea capacității și funcționalității etalonului. Capabilitățile de măsurare pot fi vizualizate în baza de date KCDB a BIPM.

5 CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Ca urmare a creării etalonului național al unității de temperatură ETN 02-12, Republica Moldova a devenit una dintre primele state din CSI care a creat un etalon de la zero. Cercetarea lui continuă, a permis modernizarea și îmbunătățirea unor caracteristici importante a subansamblurilor componente. Acest lucru a dus în final la mărirea preciziei de reproducere și transmitere a unității de la etalon, precum și la micșorarea incertitudinii de măsurare. Rezultatele obținute, în urma comparărilor la nivel internațional, au confirmat atât valoarea unității reproduse, cât valorile incertitudinii. Prin finalizarea comparărilor în cadrul COOMET și prin recunoașterea sistemului de management al calității, am îndeplinit cele două criterii fundamentale pentru recunoașterea, de către celelalte INM-uri semnatare ale CIPM MRA:

- etalonului național, ETN 02-12, în intervalul cuprins între $0\text{ }^{\circ}\text{C} \div 660\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- certificatelor de etalonare, emise în intervalul de temperaturi $(-80)\text{ }^{\circ}\text{C} \div 660\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Până în 2020, am perfectat **69 de table CMC (capabilități de etalonare)**. Toate cele 69 de CMC-uri au fost aprobate și publicate în baza de date a KCDB și accesibilă publicului prin web.

◆ Recomandări pentru cercetări viitoare

În cadrul acestei teze au fost realizate lucrări experimentale, iar rezultatele comparărilor au demonstrat echivalența unității de temperatură reprodusă de etalonul creat. Cu toate acestea, există încă unele întrebări conexe care ar trebui să fie investigate pentru viitor. Drept recomandări generale sunt următoarele:

- Pentru a asigura în totalitate necesitățile țării în măsurări trasabile a unității de temperatură, este recomandabil ca intervalul de măsurare să fie lărgit prioritar în temperaturi joase.
- Aplicațiile soft dezvoltate, vor necesita, modificări după implementarea noii definiții a unității de temperatură. Totuși în viitorul apropiat (de minim 5 ani), modificarea SIT-90 încă nu se prevede, respectiv se poate spune că ETN 02-12 va putea să fie utilizat fără dificultăți.

◆ Rezumat al contribuțiilor

Cele mai importante contribuții aduse la crearea și dezvoltarea etalonului național al unității de temperatură, descrise în această teză sunt prezentate în următoarea listă:

- Realizarea studiului privind necesitățile de precizie a realizării temperaturii pe teritoriul țării precum și a intervalului cel mai solicitat, pentru care trebuie construit etalonul.
- Realizarea sarcinii tehnice precum și participarea la toate etape de dotare a etalonului cu echipamente și dispozitive necesare.
- Crearea documentației necesare, în conformitate cu RGML 09 [10].
- Elaborarea și validarea procedurilor de etalonare, prin intermediul cărora se diseminează unitatea de temperatură realizată la etalon.

- Realizarea cercetării tuturor părților componente a etalonului, fiind aduse îmbunătățiri caracteristicilor metrologice a lor.
- Ca urmare a cercetărilor au fost elaborate proceduri de evaluare și estimare a incertitudinilor de măsurare, în care au fost luate în considerație rezultatele cercetărilor, fiind posibile micșorarea incertitudinilor asociate rezultatelor.
- Participarea activă în cadrul organizațiilor regionale de metrologie (COOMET și EURAMET) și participarea la comparări internaționale și bilaterale în aceste organizații. Comparările au fost efectuate în cadrul COOMET.
- Demonstrarea echivalenței unității de temperatură reprodusă de etalon și publicarea capabilităților de măsurare.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **BORDIANU C.** ș.a. *Stadiul actual al metrologiei în Republica Moldova*. București: Revista „Metrologie”, 1/2011, ISSN 1220-546X
- [2] MANGUM B. ș.a. *The Kelvin and Temperature Measurements*, SUA: Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, 2001, vol. 106. 45 p.
- [3] PRESTON-THOMAS, H. *The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)*, BIPM: Metrologia, vol. 27, 1990 (<https://doi.org/10.1088/0026-1394/27/1/002>)
- [4] Hotărârea Guvernului Nr. 1169 *cu privire la aprobarea Programului de dezvoltare a Sistemului National de Etaloane pe anii 2003-2008* din 29.09.2003
- [5] Legea metrologiei Nr. 19. În *Monitorul Oficial al Republicii Moldova*: nr. 100-105 din 15.04.2016.
- [6] SM EN ISO/IEC 17025:2018 *Cerințe generale pentru competența laboratoarelor de încercări și etalonări*. Chișinău: ISM, 2018. 43 p.
- [7] Guide to the Realization of the ITS-90. *Platinum Resistance Thermometry*. BIPM, 56 p.
- [8] The International System of Units (SI). Sèvres: BIPM, 2022, ediția 9, ver 2.01. 220 p.
- [9] SM SR Ghid ISO/CEI 99:2012 *Vocabular internațional de metrologie. Concepte fundamentale și generale și termeni asociați (VIM)*.
- [10] RGML 09:2015 Sistemul National de Metrologie. Elaborarea, aprobarea, conservarea, utilizarea, compararea, perfecționarea etaloanelor naționale ale unităților de măsură, precum și înregistrarea/radierea acestora din Registrul de stat al etaloanelor unităților de măsură. În *Monitorul Oficial al Republicii Moldova*: nr. 499-503/1787 din 21.12.2018, 12 p.
- [11] SM SR Ghid ISO/CEI 98-3:2011 *Incertitudine de măsurare. Partea 3: Ghid pentru exprimarea incertitudinii de măsurare (GUM:1995)*. INSM, 2011. 137 p.
- [12] Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes, Sèvres: BIPM, 1999. 48 p.
- [13] PE 3.4/08 *Etalonarea termometrelor cu rezistență din platină etalon prin metoda punctelor fixe*. Chișinău: Institutul Național de Metrologie, 2018.
- [14] DIKUN T. și KOZLOV P. *Final Report of COOMET.T-K7: Regional key comparison of water triple point cells*. Minsk, 2012. 35 p.
- [15] POKHODUN A., **BORDIANU C.** ș.a. *Realizations of the ITS-90 from 273.16 K to 933.473 K (COOMET.T-K3.3)*. Sèvres: BIPM, 2019, revista Metrologia, vol. 56, 03001, Disponibil: DOI 10.1088/0026-1394/56/1A/03001.

6 Lista publicațiilor

2. Articole în reviste științifice

2.2. în reviste din străinătate recunoscute

1. **BORDIANU C.** ș.a. Stadiul actual al metrologiei în Republica Moldova. București: Revista „Metrologie”, 1/2011, 9 p. ISSN 1220-546X.
2. **BORDIANU C.** ș.a. *Calibration of industrial platinum resistance thermometers in thermostats (-40 °C to 420 °C)*. Sèvres: BIPM, 2019, revista Metrologia, vol. 56, 03003, Disponibil: DOI: 10.1088/0026-1394/56/1A/03003.
3. **BORDIANU C.** ș.a. *Calibration of industrial platinum resistance thermometers in thermostats (-40 °C to 420 °C)*. Sèvres: BIPM, 2019, revista Metrologia, vol. 56, 03003, Disponibil: DOI: 10.1088/0026-1394/56/1A/03003.
4. **POKHODUN A., BORDIANU C.** ș.a. *Realizations of the ITS-90 from 273.16 K to 933.473 K (COOMET.T-K3.3)*. Sèvres: BIPM, 2019, revista Metrologia, vol. 56, 03001, Disponibil: DOI 10.1088/0026-1394/56/1A/03001.
5. **LANZA, L., MERLONE A., BORDIANU C.** ș.a. *Calibration of non-catching precipitation measurement instruments: A review*. Meteorological Applications, vol. 28(3), e2002, 2021, 21 p., Disponibil: <https://doi.org/10.1002/met.2002>.

2.3. în reviste din Registrul National al revistelor de profil, cu indicarea categoriei

6. **BORDIANU C.** *Comparări cheie COOMET în punctul triplu al apei a etaloanelor naționale a unității de temperatură*. Chișinău: 2012, Revista Metrologie, vol. Nr. 2(4), pp. 5-12.
7. **BORDIANU C.** *Rezultatele colaborării internaționale in domeniul temperaturii*. Chișinău: INM, 2013, Revista Metrologie, Nr. 3(9), pp. 17-19, ISSN: 2345-1289.
8. **BORDIANU C.** *Contribuția și rolul temperaturii în realizarea etaloanelor primare ale unităților de măsură SI*. Chișinău: Revista Metrologie, Nr. 4 (14), 2014. pp. 8-15, ISSN: 2345-1289.
9. **BORDIANU C., BUZUC G.** *Cercetarea higrometrului cu punct de rouă cu oglindă răcită MBW 373H*. Revista Metrologie, Nr. 1(15), 2015, pp. 8-12, Institutul Național de Metrologie, Chișinău; ISSN: 2345-1289.
10. **BORDIANU C.** *Воспроизведение единицы температуры в Республике Молдова и подтверждение её эквивалентности на международном уровне*. Revista Metrologie, Nr. 2(16), 2015, pp. 17-22, Institutul Național de Metrologie, Chișinău; ISSN: 2345-1289.

11. **BORDIANU C.** *Validation of measurement method for the calibration of dew-point hygrometers.* Revista Metrologie, Nr. 2(16), 2015, pp. 35-46, Institutul Național de Metrologie, Chișinău; ISSN: 2345-1289.
12. **BORDIANU C.** ș.a. *Asigurarea trasabilității metrologice în umiditate.* Revista Metrologie, Nr. 1(19), 2016, pp. 9-14, Ed.: Institutul Național de Metrologie, Chișinău; ISSN: 2345-1289.
13. **BORDIANU C.,** ș.a. *New definition of temperature unit within the context of SI units redefinition.* Revista Metrologie, Nr. 8(28), 2018, pp. 13-19, Institutul Național de Metrologie, Chișinău; ISSN: 2345-1289.
14. **BORDIANU C.** *Determination of error of reproduction of the temperature at point of solidification of aluminium.* Revista Metrologie, Nr. 1(35), 2020, pp. 14-21, Institutul Național de Metrologie, Chișinău; ISSN: 2345-1289.
15. **BORDIANU C.** *COOMET key comparison of national measurement standards of temperature unit at the triple point of water to the solidification point of aluminum.* Chișinău, 2020, Revista Metrologie, Nr. 2(36), pp. 4-11, ISSN: 2345-1289.

3. Articole în culegeri științifice

3.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

16. COOMET 787/UZ/19. *Pilot comparisons of measurements in the field of calibration of platinum thermometers.* 2019. 9 p.
17. COOMET 826/MD/21 *Supplementary comparisons of standards for the relative humidity unit.* 2022. 4 p.
18. COOMET 771/MD-a/18. *Pilot comparisons in the area of platinum resistance thermometers calibration in fixed points from triple point of mercury (-38.8344 °C) to melting point of gallium (29.7646 °C).* 2021. 4 p.

3.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

19. **BORDIANU C.** *Comparări cheie COOMET în punctul triplu al apei a etaloanelor naționale a unității de temperatură.* Lucrările Conferinței Internaționale SIELMEN 2013, Chișinău, 6 p., ISBN 9975-9638-6-2.

ADNOTARE

BORDIANU Constantin, „Contribuții la realizarea etalonului național al temperaturii”, Teză de doctor pentru conferirea titlului de doctor în științe inginerești, la specialitatea 273.01 - Metrologie, standardizare și conformitate. Chișinău, 2024

Structura tezei: Lucrarea conține introducerea, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 95 titluri, 15 anexe, 168 pagini, 55 figuri și 21 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 13 lucrări științifice.

Cuvinte cheie: etalon național, unitate de măsură, unități SI, trasabilitate, puncte fixe, scară de temperatură, incertitudine, comparații internaționale, schemă de trasabilitate.

Scopul lucrării: Dezvoltarea bazei teoretice pentru construirea etalonului național de temperatură, prin intermediul căruia să fie posibilă asigurarea uniformității măsurărilor în Republicii Moldova.

Obiectivele lucrării: Elaborarea specificației tehnice pentru dotarea etalonului cu echipamente de reproducere, de menținere și de transmitere a unității de temperatură, elaborarea procedurilor de măsurare și de estimare a incertitudinii de măsurare, analiza caracteristicilor tehnice și metrologice, demonstrarea la nivel internațional a echivalenței unității reproduse.

Noutatea și originalitatea științifică a lucrării: constă în dezvoltarea și cercetarea bazei de reproducere a unității de temperatură, care să satisfacă cerințele internaționale și să corespundă necesităților țării. Sa urmărit astfel rezolvarea conceptuală a principalelor probleme legate de crearea etalonului și transmiterea unității, inclusiv al performanțelor metrologice necesare. În teză se propune o tratare principial nouă a problemelor legate de capabilitățile de reproducere a unității prin PF, utilizarea ei, asigurarea trasabilității și demonstrarea echivalenței internaționale.

Rezultatul/rezultatele obținute care contribuie la soluționarea unei probleme științifice importante: se demonstrează prin crearea etalonului, diseminarea unității de la el și recunoașterea la nivel internațional prin publicarea capabilităților (CMC) de măsurare în baza de date a BIPM.

Importanța teoretică a lucrării: relevă din contribuția la dezvoltarea bazei naționale de etaloane a țării, asigurând o bază pentru cercetările ulterioare în domeniu.

Valoarea aplicativă a lucrării rezultă din faptul că etalonul a fost realizat în practică. Pentru toate părțile componente au fost determinate caracteristicile metrologice și incertitudinile de măsurare.

Implementarea rezultatelor științifice: Rezultatele cercetărilor efectuate au fost prezentate și expuse la seminare, comitete tehnice specializate, conferințe științifice, naționale și internaționale. Etalonul este cercetat și utilizat pe larg în cadrul INM, pentru etalonarea MM.

АННОТАЦИЯ

**БОРДИАНУ Константин, “Вклад в реализацию национального эталона температуры”,
Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
273.01 - Метрология, стандартизация и соответствие,
Кишинев, 2024.**

Структура диссертации: работа содержит введение, четыре главы, общие выводы и рекомендации, библиографию из 95 наименований, 15 приложения, 168 страниц, 55 рисунков и 21 таблиц. Результаты работы опубликованы в 13 научных статьях.

Ключевые слова: национальный эталон, единица измерения, единицы СИ, прослеживаемость, реперные точки, температурная шкала, неопределенность, международные сличения, схема прослеживаемости.

Цель работы: Разработка теоретических основ построения национального эталона температуры, с помощью которого можно обеспечить единство измерений в Молдова.

Задачи работы: Разработка технического задания для оснащения эталона оборудованием для воспроизведения, поддержания и передачи единицы, разработка методик измерений и оценка неопределенности, анализ технических и метрологических характеристик, признание эквивалентности воспроизводимой единицы на международном уровне.

Новизна и научная оригинальность работы: заключается в разработке и исследовании основ воспроизведения единицы температуры, отвечающей международным требованиям и соответствующей потребностям страны. Таким образом, работа направлена на концептуальное решение основных проблем, связанных с созданием эталона.

Полученный результат/результаты, способствующие решению значимой научной проблемы: доказывается созданием эталона, распространением единицы измерения на его основе и международным признанием путем публикации СМС в базе данных ВІРМ.

Теоретическая значимость работы: обусловлена ее вкладом в развитие национальной эталонной базы, обеспечивающей основу для дальнейших исследований в данной области.

Прикладное значение работы: обусловлено тем, что эталон реализован на практике. Для всех составных частей определены метрологические характеристики и неопределенности.

Применение научных результатов: Результаты проведенных исследований представлялись на семинарах, специализированных технических комитетах, национальных и международных научных конференциях. Эталон широко используется в ІNМ для калибровки СИ.

ANNOTATION

BORDIANU Constantin, “Contributions to the realization of the national temperature standard”, Thesis for the award of the title of Doctor of Engineering Sciences in the specialty 273.01 - Metrology, standardization, and conformity. Chisinau, 2024.

The thesis structure: The work contains introduction, four chapters, general conclusions and recommendations, bibliography of 95 titles, 15 annexes, 168 pages, 55 figures and 21 tables. The results are published in 13 scientific papers.

Keywords: national standard, unit of measurement, SI units, traceability, fixed points, temperature scale, uncertainty, international comparisons, traceability.

Aim of the thesis: To develop the theoretical for the construction of the national standard, through which it is possible to ensure the uniformity of measurement in the Republic of Moldova.

Thesis objectives: To develop the technical specification for equipping the standard with equipment for reproducing, maintaining, and transmitting the temperature unit, to develop calibration and estimate measurement uncertainties procedures, to analyze technical and metrological characteristics, to demonstrate the equivalence of the reproduced unit level.

The novelty and scientific originality of the thesis lies in the development and research of the basis of reproduction of the temperature unit, which meets international requirements and corresponds to the needs of the country. It was thus aimed at conceptually solving the main problems related to the creation of the standard and transmission of the unit, including the necessary metrological performance. The thesis proposes a principally new treatment of the problems related to the capabilities of reproducing the unit by FP, its use in the national economy, ensuring traceability and demonstrating international equivalence.

Result/results obtained that contribute to the solution of an important scientific problem: demonstrated by the creation of the standard, dissemination of the unit and international recognition through publication of the measurement capabilities (CMC) in the BIPM database.

The theoretical importance of the thesis reveals from its contribution to the development of the country's national base of standards, providing a basis for further research in the field.

The applied value of the thesis results from the fact that the standard has been realized in practice. Metrological characteristics and measurement uncertainties were determined for all components.

Implementation of scientific results: The results of the research carried out were presented at seminars, specialized technical committees, scientific conferences. The standard used in the INM.

BORDIANU CONSTANTIN

**CONTRIBUȚII LA REALIZAREA ETALONULUI NAȚIONAL
AL TEMPERATURII**

273.01 - METROLOGIE, STANDARDIZARE ȘI CONFORMITATE

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

Aprobat spre tipar: *31.05.2024*

Hârtie ofset. Tipar ofset.

Coli de tipar.: **35**

Formatul hârtiei 60x84 1/16

Tiraj **...** ex **40**

Comanda nr. **....**

Denumirea și adresa instituției unde a fost tipărit rezumatul