

# ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ ТЕПЛОВИХ ВЕЛИЧИН

УДК 536.5

## АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РЕПЕРНИХ ТОЧОК ТЕМПЕРАТУРИ

© Ігор Кунець, Ігор Микитин 2015

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірвальних технологій,  
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Здійснено аналітичний огляд реперних точок температури МТШ-90, що ґрунтуються на основних і вторинних реперних точках температури. Кількість реперних точок температури обмежена, це призводить до того, що виникають великі температурні проміжки між реперними точками температури. Розглянуто переваги та недоліки використання евтектичних сплавів як робочого матеріалу реперної точки температури, використання яких дасть змогу істотно зменшити температурні проміжки в МТШ-90.*

*Ключові слова: температура, реперна точка температури, евтектичні сплави, МТШ-90.*

*Проведен аналітичний обзор реперных точек температуры МТШ-90, базирующихся на основных и вторичных реперных точках температуры. Количество реперных точек температуры ограничено, это приводит к тому, что возникают большие температурные промежутки между реперными точками температуры. Рассмотрены преимущества и недостатки использования эвтектических сплавов как рабочего материала реперной точки температуры, использование которых позволит существенно уменьшить температурные промежутки в МТШ-90.*

*Ключевые слова: температура, реперная точка температуры, эвтектические сплавы, МТШ-90.*

*Standards of physical quantities are used for reproduction and storage of physical units as well as for transfer its size by appropriate measuring instrument. The temperature is an intense value and is determined only indirectly depending on certain physical quantities of temperature, for example, resistance, thermoelectric power and so on. This situation has led to the fact that there are several temperature scales, each of which has its unit of temperature measure.*

*Therefore, the international temperature scale was proposed for the international standardization of temperature measurement. The basis of international temperature scale is temperature defining points based on well-reproducible phase transitions corresponding to the triple point (the temperature equilibrium between solid, liquid and gaseous phases) or the melting point or crystallization (temperature equilibrium of liquid and solid phases), mainly of pure metals. The cleanness of metal should be 99,999 %. The international temperature scale was improved for several times. The interpolation methods and temperature reference points has changed, but the principle remains the same - the basis of the scale is a set of phase transitions of pure substances and interpolation means graded at these points.*

*Currently the world uses the international temperature scale ITS-90 which was adopted at the XVIII General Conference on Weights and Measures. The major changes in scale compared to the previous related to the expansion of the range scale changing the temperature defining points, introduction of new interpolation devices and new methods of constructing interpolation dependencies for platinum resistance thermometers. Temperature scale ITS-90 is based on 17 basic temperature defining points. This leads to the fact that the scale has sufficiently large temperature intervals between temperature defining points some of which exceed 240 K. To reduce the temperature intervals between the temperature defining points ITS-90, the secondary temperature defining points are used. The boiling point, melting point and crystallization point of pure substances, eutectic alloys and compounds are used with the implementation of secondary temperature defining points. Uncertainty of reproduction the temperature by secondary temperature reference points is less than 1 mK.*

*Taking into consideration the above we can conclude that the eutectic alloys are used as raw material of secondary defining points with prospects of using in ITS-90. Eutectic alloy consists of two or more substances the crystallization process of which occurs simultaneously. The temperature crystallization of eutectic alloy is lower than the temperature*

*crystallization of each of the materials used in the alloy. Its value depends on the percentage composition of components and on the uniformity of eutectic alloy.*

*The article presents the classification of eutectic alloys according to the composition of the substance. The composition of some existing eutectic alloys and their melting point is also presented.*

*The use of eutectic alloys as a working material of temperature defining point has several advantages: the emergence of new eutectic materials and their use in the future will significantly reduce the temperature intervals between temperature defining points ITS-90; eutectic temperature defining points can be used as a mobile, it allows you to calibrate the sensors directly on objects.*

*However, the eutectic temperature defining points have a number of disadvantages compared with the main temperature defining points ITS-90: uncertainty of reproduction of temperature phase transition by eutectic temperature defining points is more than by the basic temperature defining points; the working material of eutectic temperature defining points with eventually usage becomes heterogeneous that leads to changes in the shape and temperature plateau phase transition; the percentage of eutectic alloy which is used in temperatures defining points must be strictly followed.*

*The use of existing eutectic alloys allow in some cases to reduce the temperature intervals between temperature reference points more than 4 times. The emergence of new eutectic alloys will allow filling the temperature intervals by eutectic temperature reference points.*

*Therefore, further research is planned to investigate the dependence of change shape and temperature plateau phase transition of eutectic alloy from cyclical heating and cooling of temperature defining point, as well as development of methods and means of homogenizing the eutectic material of temperature defining point.*

*Key words: temperature, temperature defining point, eutectic alloys, ITS-90.*

**Вступ.** Для відтворення і зберігання одиниці фізичної величини, а також передавання її розміру відповідним засобам вимірювальної техніки використовуються еталони фізичних величин. Температура є інтенсивною величиною та визначається лише опосередковано за залежністю певної фізичної величини від температури, наприклад, опору, термо-ЕРС тощо [1]. Це призвело до того, що існує декілька температурних шкал, кожна з яких має свою одиницю розміру температури.

Тому для стандартизації вимірювань температури у міжнародному масштабі запропоновано використовувати міжнародну температурну шкалу (МТШ). Основою МТШ є реперні точки температури (РТТ), які ґрунтуються на добре відтворюваних фазових переходах, що відповідають або потрібній точці (температура рівноваги між твердою, рідкою і газоподібною фазами), або температурі плавлення чи кристалізації (температура рівноваги рідкої та твердої фаз), переважно чистих металів. Чистота металу повинна бути на рівні 99,999 % [2]. Міжнародна температурна шкала декілька разів вдосконалювалась. Змінювались методи інтерполяції, РТТ, але принцип залишився той самий – основою шкали є набір фазових переходів чистих речовин та інтерполяційні засоби, градуйовані в цих точках [3].

**Метою дослідження** є проведення аналітичного огляду реперних точок температури МТШ-90.

**Реперні точки температури МТШ-90.** Сьогодні в світі використовується міжнародна температурна шкала МТШ-90, прийнята на XVIII Генеральній конференції з мір та ваг. Основні зміни в шкалі, порівняно з попередніми, пов'язані із розширенням діапазону шкали, зміною РТТ, введенням нових інтерполяційних приладів і нових методик побудови інтерполяційних залежностей для платинових термометрів опору [4].

Температурна шкала МТШ-90 ґрунтується на 17 основних РТТ [5]. Це призводить до того, що в шкалі є доволі великі температурні проміжки між РТТ, деякі з яких перевищують 240 К (рис. 1).

Для зменшення температурних проміжків між реперними точками МТШ-90 використовуються вторинні РТТ. Під час реалізації вторинних РТТ застосовують точку кипіння, точку плавлення і точку кристалізації чистих речовин, евтектичних стопів і сполук. Непевність відтворення температури вторинними РТТ не перевищує 1 мК [6].

Враховуючи вищесказане, можна зробити висновок, що евтектичні стопи вже використовуються як робочий матеріал вторинних реперних точок [7] і мають перспективи застосування в МТШ-90.

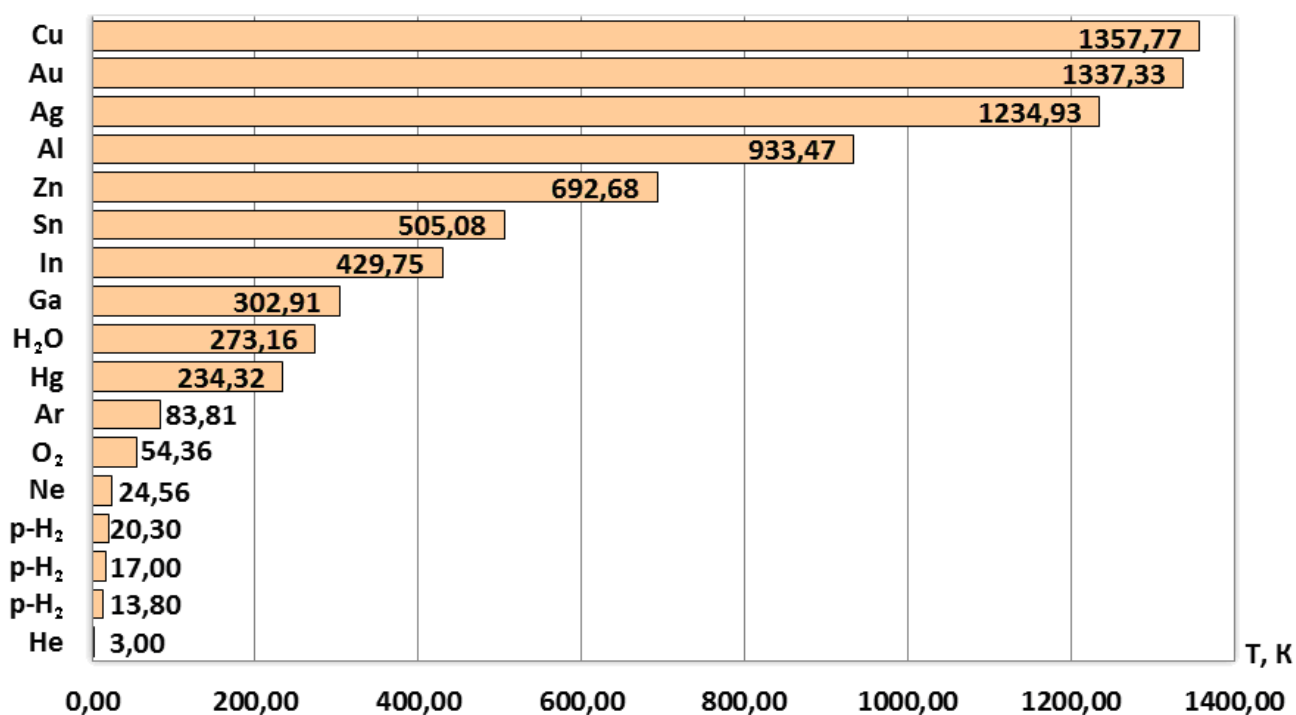


Рис. 1. Основні РТТ МПШ-90

Fig. 1. The basic temperature defining points ITS-90

**Евтектичні стопи.** Евтектичним стопом є сплав двох і більше речовин, процес кристалізації яких відбувається одночасно. Температура кристалізації евтектичного стопу є нижчою від температури кристалізації кожного з матеріалів, які використовуються у стопі [8]. Її значення залежить від відсоткового складу компонентів, а також від однорідності евтектичного стопу.

На рис. 2 наведено класифікацію евтектичних стопів за складом речовини.



Рис. 2. Класифікація евтектичних стопів за складом речовини

Fig. 2. The classification of eutectic alloys according to the composition of the substance

У табл. 1 подано склад деяких з відомих евтектичних стопів та їх температуру плавлення.

**Евтектичні стопи**  
**Eutectic alloys**

Евтектичний матеріал	T <sub>Плав.</sub> , К	Непевність, К
1	2	3
Ga / 20,5% In,	288,8	0.001
Ga / 8% Sn	293,626	0.002
Bi / 19,1% In / 8,3% Sn / 5,3% Cd / 22,6% Pb	320,35	-
Bi / In 65,3%	345,15	-
Bi / 32% Pb / 16% Sn	369,15	-
Bi / 43,5% Pb	398,15	-
Bi / 40% Cd	417,15	-
Cd / 68% Sn	450,15	-
Sb / 87% Pb	519,15	-
Cu / 71,9% Ag	1052,78	0.05
ZrO <sub>2</sub> / 6,23% FeO	1605	-

Проведений аналітичний огляд (див. таблицю) показав, що, використовуючи евтектичні стопи, між реперними точками, наприклад, Ga і In температурний проміжок можна заповнити п'ятьма евтектичними РТТ (рис. 3).

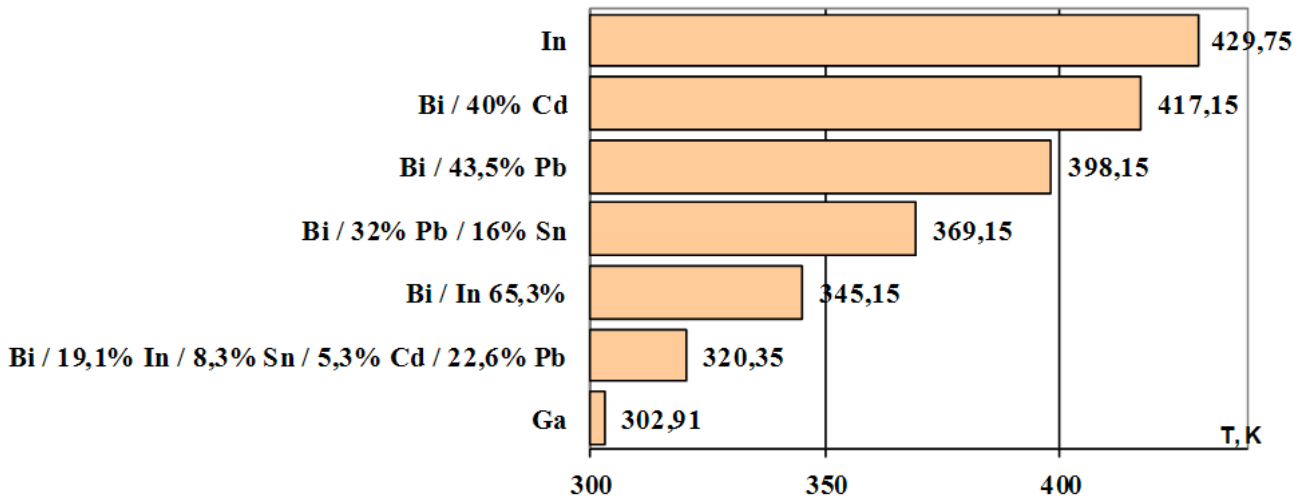


Рис. 3. Використання евтектичних сплавів для зменшення температурного проміжку між РТТ Ga і In  
 Fig. 3. The use of eutectic alloys for reducing the temperature intervals between the temperature defining points Ga and In

Температурний проміжок між РТТ Ga (302,91 К) та РТТ In (429,75 К) становить 126,84 К. Використовуючи евтектичні РТТ, можна зменшити температурний проміжок у цьому діапазоні до 29 К (між евтектичними РТТ Bi / 32 % Pb / 16 % Sn та Bi / 43,5 % Pb). Фактично температурний проміжок зменшився у 4,3 разу.

Застосування евтектичних сплавів як робочого матеріалу РТТ має певні переваги:

- поява нових евтектичних матеріалів і їх застосування надалі дасть можливість істотно зменшити температурні проміжки між РТТ МТШ-90;
- евтектичні РТТ можна використовувати як мобільні, це дає змогу проводити калібрування сенсорів безпосередньо на об'єктах [9].

Проте евтектичні РТТ мають низку недоліків порівняно з основними РТТ МТШ-90:

- вторинні РТТ мають непевність відтворення температури фазового переходу  $\geq 1$  мК [6]. Для деяких евтектичних сплавів, наприклад, точки плавлення Cu / 71,9 % Ag непевність відтворення температури фазового переходу становить 0,05 К, а потрійна точка води, що є основною РТТ МТШ-90, має непевність відтворення температури  $\leq 0,0001$  К [10]. Отже, порівняно з основними РТТ, непевність відтворення температури фазового переходу евтектичними РТТ на порядок більша;

- робочий матеріал евтектичних РТТ з часом використання стає гетерогенним [11], що призводить

до зміни форми та значення температури плато фазового переходу;

- відсотковий склад евтектичного сплаву, який використовується в РТТ, повинен бути чітко дотриманим.

**Висновок.** Як показав проведений аналітичний огляд, між реперними точками температури в МТШ-90 є температурні проміжки, значення яких перевищують 240 К. Використання евтектичних сплавів дає змогу, в деяких випадках, зменшити температурні проміжки між реперними точками температури більше ніж в чотири рази. Поява нових евтектичних сплавів дозволить ще щільніше заповнити температурні проміжки евтектичними реперними точками.

Використання евтектичних реперних точок температури зумовлює певні проблеми: непевність відтворення температури евтектичними реперними точками на порядок більша, ніж непевність відтворення температури основними реперними точками; робочий матеріал евтектичних реперних точок з часом використання стає гетерогенним, що призводить до зміни форми та значення температури плато фазового переходу; відсотковий склад евтектичного сплаву повинен бути чітко дотриманим.

Надалі планується проведення досліджень залежності зміни форми та значення температури плато фазового переходу евтектичного сплаву від

циклічного нагрівання та охолодження евтектичної реперної точки температури, а також розроблення методів та засобів гомогенізації евтектичного матеріалу реперної точки температури.

1. Кубо Р. Термодинаміка 1970. – 304 с.  
 2. Енциклопедія термометрії / Я. Т. Луцик, Л. К. Буняк, Ю. К. Рудавський, Б. І. Стадник, Львів, 2003. – С. 373–376, 402–403.  
 3. Куинн Т. Температура / перевод с англ. – М.: Мир, 1985. – 447 с.  
 4. Чистофорова Н. В., Колмогоров А. Г. Технические измерения и приборы. Часть 1. Измерение теплоэнергетических параметров. – Ангарск, АГТА, 2008. – С. 38–39.  
 5. International Temperature Scale 1990 (ITS-90)/Document of BIMP. – Paris. – 1989.  
 6. Recommended values of temperature on the ITS-90 for a selected set of secondary reference points / R. E. Bedford, G. Bonnier,

H. Maas, F. Pavese // Metrologia. – 1996. – № 33. – С. 133–154.  
 7. [http://temperatures.ru/pages/repertnye\\_tochki\\_mtsh\\_90](http://temperatures.ru/pages/repertnye_tochki_mtsh_90).  
 8. Гуляев А. П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1986. – 554 с.  
 9. Прохоренко С., Панас А., Стадник Б. Вивчення можливості використання евтектичного сплаву In-In<sub>2</sub>Bi як робочої речовини температурного репера // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2005. – № 65. – С. 59–62.  
 10. Метрологія, стандартизація та управління якістю / Л. П. Клименко, Л. В. Пізінцалі, Н. І. Александровська, В. Д. Євдокимов. – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011. – 243 с.  
 11. Курц В., Зам П. Направленная кристаллизация эвтектических материалов. Получение, свойства естественных композитов / пер. с нем. под ред. Ю. Н. Тарана. – М.: Металлургия, 1980. – 272 с.

УДК 621.317

## ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ МЕТОДІВ ВІМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В РІДИНАХ

© Петровська Ірина, Івах Роман, Сопрунюк Анастасія, 2015

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,  
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Досліджено можливість вимірювань температури у воді із застосуванням двох акустичних методів: ехо-пульс і часоімпульсного. Для проведення вимірювань використано потоковий канал, через який пропускали воду, температура якої змінювалась і вимірювалась з використанням ультразвукових сенсорів. Встановлено залежність температури води від параметрів ультразвукового сигналу. Проведені дослідження показали, як саме змінюється швидкість звуку у воді зі зміною температури у ній. Наведено графік отриманого сигналу зі зміною температури від 10 °С до 60 °С.*

*Исследована возможность измерений температуры в воде с использованием двух акустических методов: эхо-пульс и время-импульсного. Для проведения измерений использовано потоковый канал, через который пропускали воду, температура которой изменялась и измерялась с использованием ультразвуковых сенсоров. Выявлено зависимость между амплитудой и временем ультразвукового сигнала. Проведенные испытания показали, как именно изменяется скорость звука в воде с изменением температуры в ней. Представлено график полученного сигнала с изменением температуры от 10 °С до 60 °С.*

*In this work the subject of the research is the average temperature of liquids by using two acoustic methods: echo-pulse method and time-pulse method. For conducting the measurements the flow channel is used, through which water was passed, the temperature of which has changed and which must be measured. For the temperature measurements ultrasonic sensors are used, which are fixed on both sides of the current channel.*