

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-виміральної техніки

Лекція 7

Тема: ЕТАЛОНИ



Лекція 7

Тема: Еталони

1. Загальні поняття про еталони.
2. Класифікація еталонів.
3. Еталон одиниці довжини.
4. Еталон одиниці маси.
5. Еталон одиниці часу.

1. Загальні поняття про еталони

Для забезпечення єдності вимірювань необхідна тотожність одиниць, в яких проградуйовані всі засоби вимірювань однієї і тієї ж фізичної величини.

Єдність вимірювань досягається шляхом точного відтворення та зберігання встановлених одиниць фізичних величин і передачі їх розмірів застосовуваних засобів вимірювань.

Розміри одиниць відтворюються, зберігаються і передаються за допомогою еталонів і образних засобів вимірювань.

Вищою ланкою в метрологічній меті передачі розмірів одиниць вимірювань є *еталони*.

Еталон є засіб вимірювань (або комплекс засобів вимірювань), що забезпечує відтворення і зберігання одиниці фізичної величини (або одну з цих функцій) з метою передачі розміру одиниці зразковим, а від них робочим засобам вимірювань, затверджене як еталону в установленому порядку



Міжнародний стандарт метра, що використовувався з 1889 по 1960 рік.

Міжнародні еталони одиниці фізичних величин зберігаються в *Міжнародному бюро мір і ваг (МБМВ)*.

До міжнародних речовим стандартам-заходів відноситься *прототип кілограма – платино-іридієва гиря*, що зберігається в Міжнародному бюро мір і ваг.

Однак такі речові еталони можуть псуватися або змінюватися в часі. Тому метрологи завжди прагнули знайти способи відтворювати одиниці фізичних величин, використовуючи властивості чистих речовин або існуючих в природі тіл і явищ. Нещодавно, наприклад, замість відтворення метра у вигляді відстані між овжину хвилі однієї з спектральних ліній випромінювання ізотопу газу криптону – криптону-86.

Підвищення точності відтворення одиниць фізичних величини, як правило, пов'язане з ускладненням застосовуваних для цієї мети пристроїв.

Одиниця фізичної величини відтворюється шляхом складних операцій за допомогою еталонної установки відповідно до чітко визначеної специфікацією. В принципі такі еталонні установки і застосовуються чисті речовини можуть бути відтворені у будь-якому місці з одним тільки умовою, щоб вони задовольняли вимогам, передбаченим специфікацією. Однак відомо, що результати вимірів, вироблених в різних місцях з максимальною ретельністю, все ж мають деякі розбіжності. Це підтверджує і практика міжнародних звірень національних еталонів різних країн, еталонні роботи в яких проводяться на вищому науковому рівні.

Якщо еталон забезпечує відтворення одиниці з найвищою в країні точністю, він називається **первинним еталоном**.

Первинні еталони основних одиниць відтворюють одиницю відповідно до її визначенням.

Прикладом первинного еталона є комплекс засобів вимірювань для відтворення метра в довжинах світлових хвиль випромінювання криптону-86.

Первинний еталон, офіційно затверджений як вихідний для країни, називається **Державним еталоном**. Державні еталони затверджуються Державним комітетом стандартів і на кожен з них створюється державний стандарт.

Зберігання еталонів являє собою складний комплекс метрологічних робіт. З одного боку, необхідно забезпечити максимальне збереження еталона, з іншого, - значення одиниці від еталону має передаватися для використання в різних областях людської діяльності з необхідною точністю.

Державні еталони зберігаються в метрологічних інститутах країни.

Для проведення робіт з державними стандартами призначаються особливі відповідальні особи - *вчені зберігачі еталонів*.

Відтворення основних одиниць Міжнародної системи одиниць (СІ) має здійснюватися за допомогою державних еталонів, т. е. в централізованому порядку.

Відтворення додаткових, похідних, а в разі потреби і позасистемних одиниць здійснюється одним з двох способів, визначених, виходячи з міркувань техніко-економічної доцільності:

- 1) *централізовано* – за допомогою єдиного для всієї країни Державного еталону;
- 2) *децентралізовано* – за допомогою непрямих вимірювань, виконуваних в органах метрологічної служби за допомогою зразкових засобів вимірювань.

Спосіб централізованого відтворення застосовується для більшості найважливіших похідних одиниць СІ (н'ютона, джоуля, паскаля, ома, вольт, Генрі, Вебера та ін.).

Спосіб децентралізованого відтворення застосовується в похідних одиницях, розмір яких не може передаватися прямим порівнянням з еталоном, наприклад: для одиниці площі (квадратного метра) або коли повірки мір за допомогою непрямих вимірювань простіше, ніж їх порівняння з еталоном, або коли забезпечується необхідна точність, наприклад, для заходів місткості та обсягу (кубічний метр). При цьому, коли для відтворення одиниці потрібна наявність спеціально призначеного обладнання, створюються перевірочні установки вищої точності. Такий повірочної установкою, наприклад, є тахометрична установка, що порівнює частоту обертання з частотою зразкового генератора.

2.Класифікація еталонів

Державні еталони бувають двох видів: *первинні*, які відтворюють одиницю відповідно до її визначенням з найвищою в країні точністю, і *спеціальні*.

Спеціальний еталон – еталон, який забезпечує відтворення одиниці в особливих умовах і замінює для цих умов первинний еталон.

Прикладом спеціального еталона є еталон потужності електромагнітних хвиль при частотах 2.6-37,5 Гц в хвилеводних трактах.

У метрологічній практиці велике поширення мають *вторинні еталони*, значення яких встановлюється по первинним еталонам.

Вторинні еталони становлять важливу частину сукупності підлеглих засобів зберігання одиниць і передачі їх розміру. Вони створюються і затверджуються в тих випадках, коли це необхідно для організації повірочних робіт і забезпечення схоронності і найменшого зносу Державного стандарту.

Прикладом вторинного еталону служить еталон-копія одиниці маси кілограма у вигляді платино-іридієвої гирі № 26 і робочий еталон кілограма, виготовлений з нержавіючої сталі.

За своїм метрологічним призначенням вторинні еталони поділяються на:

- 1) еталони-копії;
- 2) еталони порівняння;
- 3) еталони-свідки;
- 4) робочі еталони.

Еталон-копія являє собою вторинний еталон, призначеної для зберігання одиниці та передачі її розміру робочим еталонам. Він не завжди може бути фізичною копією державного еталону.

Еталон порівняння – вторинний еталон, застосовуваний для звірення еталонів, які з тих чи інших причин не можуть безпосередньо звіряти один з одним. Прикладом еталону порівняння може служити група нормальних елементів, що застосовується для звірення Державного еталона вольтів СНД з еталоном вольтів Міжнародного бюро мір і ваг.

Еталон-свідок – вторинний еталон, який використовується для перевірки збереження державного еталона та для заміни його у разі псування або втрати. Еталон-свідок застосовується лише тоді, коли державний еталон не відтворюється.

Робочий еталон – вторинний еталон, застосовуваний для зберігання одиниці та передачі її розміру зразковим засобам вимірювань вищої точності і при необхідності найбільш точним робочим заходам і вимірювальних приладів.

Вторинні ж еталони можуть здійснюватися у вигляді:

- а) комплексу засобів вимірювань;
- б) одиночних еталонів;
- в) групових еталонів;
- г) еталонних наборів.

Державні еталони завжди здійснюються у вигляді *комплексу засобів вимірювань* та допоміжних пристроїв, що забезпечують відтворення одиниці і в необхідних випадках її зберігання, а також передачу розміру одиниці вторинним еталонам.

Одиночний еталон складається з однієї міри або одного вимірювального приладу, або однієї вимірювальної установки, що забезпечують відтворення або зберігання одиниці самостійно без участі інших засобів вимірювальної техніки того ж типу.

Прикладами одиночного еталона служать вторинні еталони одиниці маси - кілограма у вигляді платино-іридієвої і сталевих гир.

Груповий еталон складається із сукупності однотипних мір, вимірювальних приладів або інших засобів вимірювальної техніки, що застосовуються як одне ціле для підвищення надійності зберігання одиниці.

Прикладом групового еталона служить еталон-копія вольта, представляє собою групу з 20 нормальних елементів.

Розмір одиниці, що зберігається груповим еталоном, визначається як середнє арифметичне із значень, відтворюваних окремими заходами і вимірювальними приладами, які входять до складу групового еталона.

Окремі заходи і вимірювальні прилади, що входять в груповий еталон, застосовують в якості одиночних робочих еталонів, якщо це допустимо за умовами зберігання одиниці.

Групові еталони бувають постійного і змінного складів. У групові еталони змінного складу входять заходи та вимірювальні прилади, періодично замінюються новими.

Еталонний набір являє собою еталон у вигляді набору мір або набору вимірювальних приладів, що дозволяє зберігати одиницю або вимірювати величину між певними межами, в яких окремі міри або вимірювальні прилади набору призначені для різних значень або різних областей значень вимірюваної величини.

Прикладом еталонного набору є робочий еталон одиниці густини рідин у вигляді набору денсиметрів, що використовується для визначення щільності рідин в різних ділянках діапазону.

Подібно груповим стандартам еталонні набори можуть бути постійного і змінного складу.

3. Еталон одиниці довжини

У 1889 році метр був прийнятий рівним відстані між двома штрихами, нанесеними на металевому стрижні X-образного поперечного перерізу (рис.7.1).

При періодичних - порівняннях еталонів метра різних країн з міжнародним - прототипом можна виявити малих змін їх довжини так як всі зразки виготовлені з одного і того ж сплаву і, отже, зазнають однакові зміни. Похибки звірення між собою платино-іридієвих штрихових метрів знаходяться в межах $\pm 1.1 \cdot 10^{-7}$ м ($\pm 0,11$ мкм), а так як штрихи мають значну ширину, істотно підвищити точність цього звірення не можна.

У 1895 р. II Генеральна конференція з мір та ваг визнала, що природним свідком розміру метра є довжина світлової хвилі монохроматичного світла. Після вивчення спектральних ліній ряду елементів було знайдено, що найбільшу точність відтворення одиниці довжини забезпечує помаранчева лінія ізотопу кріптон-86. XI Генеральна конференція з мір та ваг (1960 г.) прийняла вираз розміру метра в довжинах цих хвиль як найбільш точне його значення. На основі цього рішення затверджено наступне визначення: «Метр - довжина, рівна 1650763,73 довжини хвилі в вакуумі випромінювання, відповідного переходу між рівнями $2p_{10}$ і $5d_5$ атома кріптон-86».

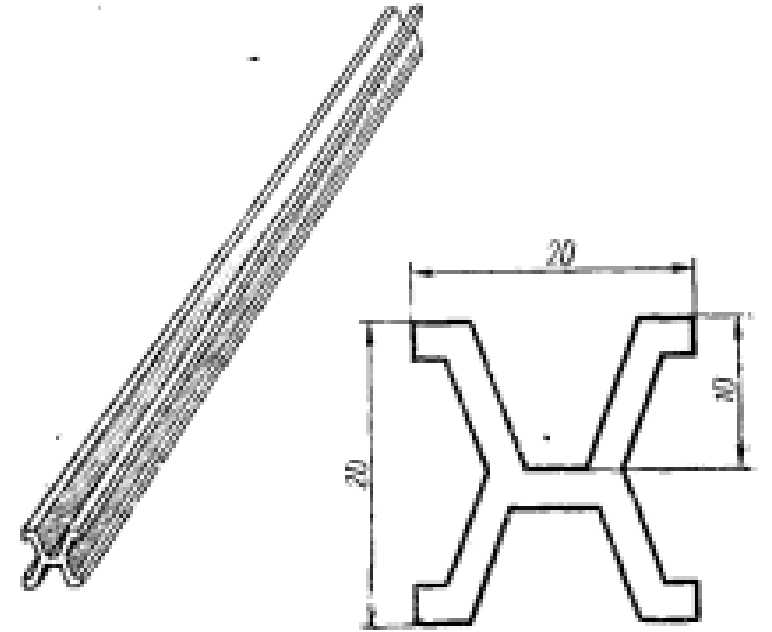


Рис.7.1. Платино-іридієвий еталон метра

Метр в довжинах світлових хвиль відтворюється інтерференційних методом на спеціальній установці за допомогою лампи, заповненої ізотопом кріптон-86. З метою отримання необхідних умов для випромінювання лінії кріптон укладають в капіляр і охолоджують рідким азотом до 58-60 К. Збудження атомів кріптон виробляють шляхом пропускання через нього електричного струму. Схема лампи з кріптоном-86 наведена на рис. 7.2.

Здійснення цього нового методу відтворення метра дало можливість знизити похибку відтворення метра приблизно до 10^{-8} м, що дозволяє висловити результат вимірювань (в найсприятливішому випадку) вже числом з восьми цифр.

Чи означає це, що еталон - стрижень - втратив своє значення або змінив свій розмір? Ні, його розмір не змінився і точність вимірювань він забезпечує ту ж, але втратив свою першість. Тепер первинним еталоном стала довжина хвилі помаранчевої лінії спектра кріптон, точніше довжина 1650763,73 цих хвиль. Крім підвищення точності вимірювання (там, де це необхідно), новий первинний еталон одиниці довжини дає можливість стежити за сталістю платино-іридієвого еталона, що став тепер вторинним еталоном.

В даний час ведуться роботи по найсильнішому підвищенню точності відтворення метра. Досліджується шляху користування для цієї мети лазерів.

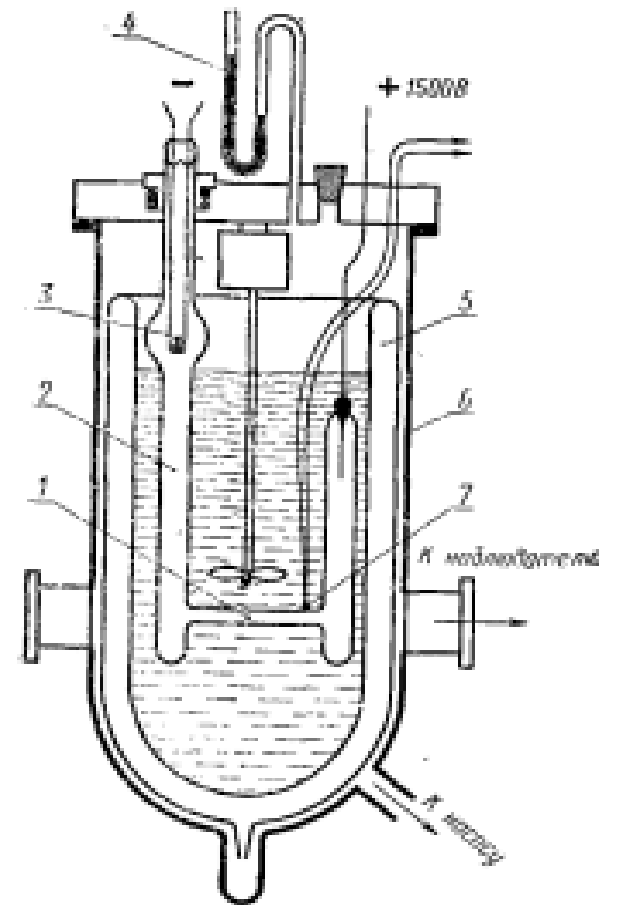


Рис. 2. Схема лампи з кріптоном-86; 1 — світлячий капіляр трубки; 2 — газозарядна трубка з кріптоном; 3 — нагрітий катод; 4 — манометр; 5 — вихід Дюпара; 6 — герметична захисна камера; 7 — термопара

4. Еталон одиниці маси

Спочатку було заплановано за одиницю маси прийняти масу одного кубічного дециметра води при температурі 4°C (при найбільшій щільності води). Однак великі труднощі відтворення одиниці маси зазначеним шляхом привели до закріплення результату вимірювань у формі гирі зі сплаву платини та іридію.

Створений одночасно з платино-іридієвим прототипом метра, прототип кілограма з аналогічними йому копіями до теперішнього часу є носієм і втіленням одиниці маси - кілограма.

«Кілограм - одиниця маси - дорівнює масі міжнародного прототипу кілограма».

Похибка відтворення одиниці маси еталоном кілограма $2 \cdot 10^{-9}$. Таким чином, еталон кілограма дозволяє записувати результат вимірювання маси в кращому випадку числом з дев'яти цифр.



Рис.7.3. Міжнародний прототип кілограма, що зберігається в МБМВ

5. Еталон одиниці часу

Одиниця часу - секунда - є наочним прикладом того, що було сказано вище про співвідношення між одиницею величини і її еталоном.

В історії розвитку одиниці часу можна відзначити кілька етапів збільшення точності визначення або відтворення розміру цієї одиниці.

Одиницю часу визначали, виходячи з сонячної доби. Так як тривалість сонячної доби протягом року змінюється, то визначили середні сонячні добу. За одиницю часу брали секунду, що дорівнює $1/86400$ середніх сонячних діб. Це визначення одиниці часу було пов'язано з обертанням Землі навколо своєї осі. Пізніше виявили, що це обертання Землі відбувається нерівномірно.

Тоді в основу визначення середини часу поклали період обертання землі навколо сонця тропічний рік. Розмір секунди був визначений як $1/1556925,9747$ частина тропічного року. Але оскільки тропічний рік теж змінюється, правда, всього лише на 5 сек. за 1000 років, за основу був узятий тропічний рік, віднесений до певного моменту часу: 12 ч ефемеридного часу * 0 січня 1900р., що відповідає 12 год 31 грудня 1899 р. Це визначення секунди було зафіксовано в Міжнародній Системі одиниць в 1960 році як найбільш точне на той час.

В 1967 р XIII Генеральна конференція з мір та ваг прийняла нове визначення секунди, засноване на фізичному явищі, яке дозволяє більш точно і більш стабільно відтворювати її розмір.

Секунда - $9192\ 631\ 770$ періодів випромінювання, відповідного переходу між двома надтонкими рівнями основного цезію -133 ». Коливання, отримані при збудженні цезію-133 виявилися найбільш надійними зберігачами одиниці часу.

1 січня 1972 р здійснений перехід на систему всесвітнього координованного часу. Ця система заснована на тому, що зразкові несучі частоти і секундні інтервали часу підтримуються постійними і відповідають новому визначенню секунди в системі СІ.



Відповідно до визначення одиниці часу відтворення її здійснюється атомно-променевим годинником, блок сема якого показана на рис.7. 4.

Електро-магнітні коливання кварцового генератора множаться до частоти спектральної лінії цезія, прийнятої за робочу. В резонаторі атомно-променевої трубки * енергія високочастотних коливань поглинається атомами цезію. При відключенні частоти кварцового генератора від номінального значення інтенсивність переходів атомів і, виходячи з цього, щільність атомного пучка на виході трубки різко скорочується.

Блок автопідстроювання, зв'язаний з трубкою, виробляє сигнал помилки, що повертає частоти кварцового генератора до номінального значення. Стабільність частоти атомно-променевого годинника становить 10-11. Атомні генератори частоти, засновані на використанні атомарного водню, дозволяють ще значно підвищити точність відтворення одиниці частоти і часу.

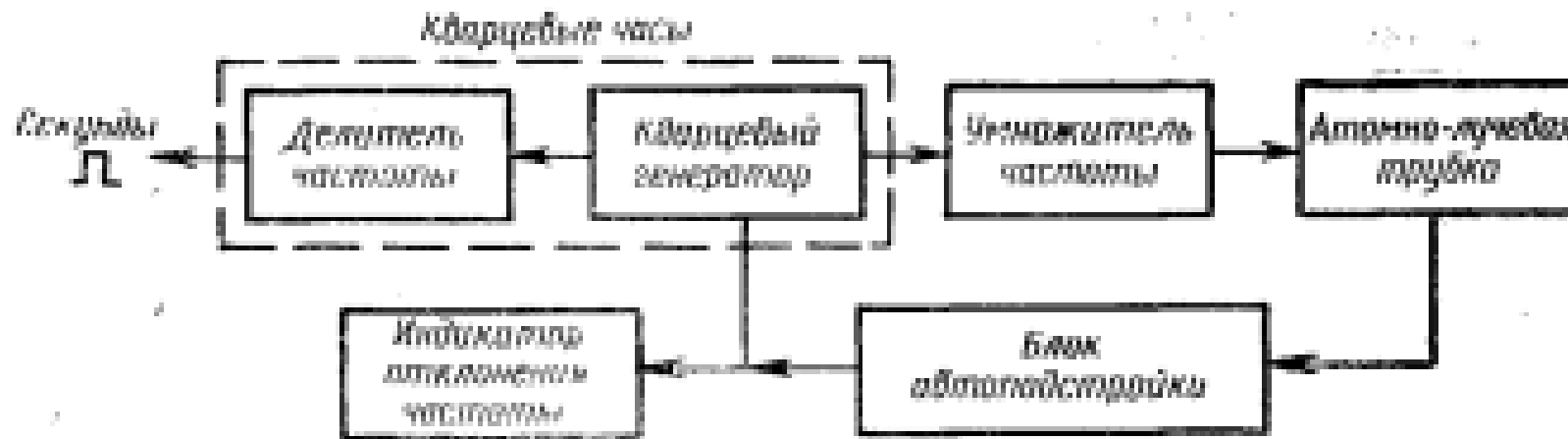


Рис.7.4.Блок-схема кварцовых годинников, що стабілізовані за допомогою атомно-променевої трубки