

ВОДНЕВІ ЗБЕРІГАЧІ ЧАСТОТИ, ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ВИКОРИСТАННЯ МАГНІТО- РАЗРЯДНИХ НАСОСІВ

В.В. Солдатов.¹

¹ННЦ “Інститут метрології”, вул. Мироносицька, 42, 61002, Харків, Україна
crayonsukr@gmail.com

Анотація

Розглянуто аспекти функціонування, Національного (державного первинного) еталону одиниць часу та частоти, далі **НДЕТУ TF-01-2021** в умовах військового стану та відсутності можливості запросити представників заводу виробника та підтримання метрологічних характеристик на належному рівні. З метою належного функціонування, Національного (державного первинного) еталону одиниць часу та частоти, далі **НДЕТУ TF-01-2021** підтримання метрологічних характеристик на належному рівні до складу еталону входять водневі зберігачі частоти, міра Ч1-80, підчас використання яких виникає потреба в складному обслуговуванні одного із ключових елементів водневого зберігача вакуумного магніторозрядного іонно-гетерного насосу та резонатора. Розглянуто практичні аспекти технічного догляду та обслуговування одного із ключових елементів водневого зберігача частоти, міри Ч1-80, магніторозрядного іонно-гетерного насосу. Приведено конструкцію і принцип роботи магніто розрядного іонно-гетерного насоса, конструкцію та принцип функціонування даного типу насосів в складі міри Ч1-80.

Проаналізовано стан устаткування, запропоновані та виконані заходи з відновлення метрологічних характеристик міри Ч1-80 та інших стандартів часу і частоти даного типу.

Наведено шляхи подальшого покращення метрологічних характеристик як Національного (державного первинного) еталону одиниць часу та частоти, **НДЕТУ TF-01-2021** так і міри часу і частоти Ч1-80.

Ключові слова: функціонування **НДЕТУ TF-01-2021**; міра Ч1-80; магніторозрядний іонно-гетерний насос.

Вступ

З метою належного функціонування, Національного (державного первинного) еталону одиниць часу та частоти, далі **НДЕТУ TF-01-2021** підтримання метрологічних характеристик на належному рівні до складу еталону входять водневі зберігачі частоти, міра Ч1-80, підчас використання яких виникає потреба в складному обслуговуванні одного із ключових елементів водневого зберігача, магніторозрядний іонно-гетерний насос рис 1 у якого в наслідок тривалого використання погіршуються характеристики, які погіршують метрологічні характеристики як і міри Ч1-80 так і взагалі НДЕТУ TF-01-2021 при використанні міри в складі групової мери еталону погіршуються вакуум та росте струм споживання, за яким можливо спостерігати та робити висновки про якість вакууму, чим гірше вакуум тим ширше спектральна лінія випромінювання водню, також у деяких чарунок струм споживання настільки великий що інструкція з використання забороняє використання цього стандарту та потребує відправлення на завод виробник. Рівень залишкового вакууму є одним із ключових факторів для досягнення високих метрологічних характеристик стандарту, оскільки він впливає як на відношення сигнал/шум, так і на розширення атомної лінії за рахунок зіткнених ефектів.

ВОДНЕВІ ЗБЕРІГАЧІ ЧАСТОТИ, ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ВИКОРИСТАННЯ МАГНІТОРАЗРЯДНИХ НАСОСІВ

Конструкція і принцип роботи магніт розрядного іонно-гетерного насоса

Магніторозрядні насоси відносяться до категорії безмасляних високовакуумних гетерних насосів. За принципом дії є два типи магніторозрядних насосів, діодні насоси та тріодні насоси, в складі міри Ч1-80 використовую-

ються діодні насоси Рис-1 з використанням яких може бути досягнуто Граничний тиск залишкових газів, до 1×10^{-9} - 1×10^{-10} Торр.

Магніторозрядними насоси добре підходять для високо вакуумних і сверж високо вакуумних застосувань.

Переваги та недоліки магніторозрядних вакуумних насосів



недоліки:

Рис-1 магніторозрядний іонно-гетерний насос міри часу і частоти Ч1-80

- висока селективність відкачування по типу газу: магніторозрядними насоси погано відкачують інертні гази, це впливає на склад залишкової атмосфери у вакуумній камері;
- нездатні витримувати високе газове навантаження;
- складно прогрівати насос для знегажування через наявність постійних магнітів;

- висока напруга живлення (5-7 кВ);
- довгий старт після напуску в насос атмосфери;
- чутливість до забруднень, в тому числі вуглеводнів (масел)

переваги:

- немає рухомих деталей - немає зношуються частин в камері насоса
- відсутність шумів і вібрацій при роботі;
- струм розряду приблизно пропорційний тиску в обсязі камери - фактично магніторозрядний насос є магніторозрядним датчиком з холодним катодом і по току розряда можлива оцінка тиску у вакуумній системі;
- надійність, великий ресурс, при правильній експлуатації практично не вимагає обслуговування

Конструкція магніторозрядного насоса

Магніторозрядний насос рис 2 складається з корпусу, в якому розміщені електродні блоки. Кількість блоків в міри Ч1-80 дорівнює 7. Електродний блок діодного магніторозрядного насоса складається з паралельно розташованих анода і двох катодів, виготовлених з титану. Анод має чарункову структуру, кожна чарунка є трубка які набрані в пакет якій виконує роль аноду. Катод являє собою монолітну титанову пластину. Між катодом і анодом прикладається висока (5-7 кВ) напругу, яка підводиться в порожнину насоса через високовольтний гермоввод. Із зовнішнього боку корпусу магніторозрядного насоса розміщені постійні магніти таким чином, щоб магнітне поле було перпендикулярно площині анода (катодів). Принцип роботи діодного магніторозрядного насоса полягає в наступному.

У вакуумі в порожнині насоса завжди присутні електрони. В електричному і магнітному полі електрони рухаються по спіральному траєкторіях в напрямку від катода до анода до тих пір, поки не відбудеться зіткнення (зіткнення) електрона з атомами газового середовища. В результаті таких зіткнень відбувається іонізація нейтрального атома. Перш ніж електрон потрапляє на анод відбувається кілька таких іонізуючих зіткнень (тим більше, чим вище тиск). Утворилися в результаті таких зіткнень іони рухаються до катодам, бе-

ручи участь в утворенні струму через розрядні проміжки анод-катод. Рухаючись від анода до катода іони прискорюються під впливом електричного поля. До моменту зіткнення з катодом іони набувають енергії, достатньої для вибивання атомів титану з поверхні катода - поверхня катодів постійно розпорошується при роботі насоса. Атоми (молекули) відкачуваного газу можуть зв'язуватися на поверхнях матеріалів внаслідок наступних процесів (титан є активним геттером):

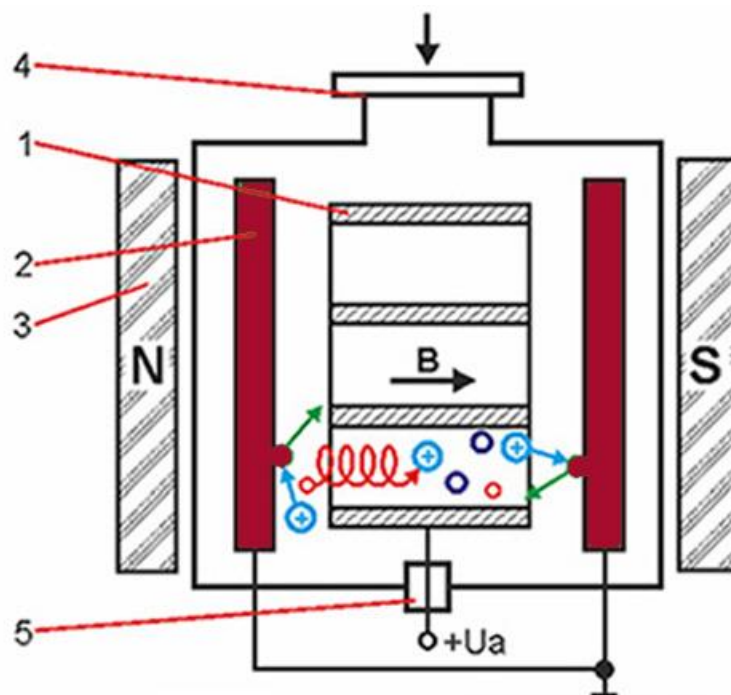


Рис-2 магніторозрядний іонно-гетерний насос 1 - анод; 2 - катод; 3 - магнити; 4 - вхідний порт; 5 - ізолятор

- при попаданні атома (молекули) газу на поверхню катода можуть відбуватися адсорбція, розчинення з утворенням хімічних сполук;
- може відбуватися впровадження на катод іонів, в деяких випадках можлива дифузія іонів в матеріал катодів

- атоми титану, вибиті з поверхні катодів осідають на аноді і корпусі насоса; формуються таким способом плівки здатні поглинати атоми (молекули) газового середовища Реалізація того чи іншого механізму залежить від типу газу. Інші активні гази поглинаються за участю всіх зазначених механізмів, проте основним є хемосорбція газів титанової плівкою, безперервно осідають на аноді. Для водню значна частка другого з перерахованих вище механізмів, тому що він легко дифундує в обсяг титанових пластин з утворенням різних сполук і твердих розчинів.

Відновлення та продовження терміну використання магніторозрядних насосів

Підчас використання міри часу і частоти Ч1-80 та проведення технічного обслуговування було проведено обслуговування, магніторозрядного іон-но-гетерного насосу рис 1 у якого в наслідок тривалого використання погіршилися характеристики, у літератури добре описана конструкція та принцип функціонування даного типу насосів, хоч таке обслуговування не входить до переліку робіт які виконуються під час технічного обслуговування, з метою збереження устаткування в належному стані було прийняте рішення провести розвакуування міри часу і частоти Ч1-80 та провести дефектування чарунок під час якого були виявлені наступні недоліки.

Велика кількість порошку титану рис 3.

Виробка матеріалу, катода рис 4.

Погіршення деоелектричних властивостей ізоляторів

Підчас обслуговування та дефектування, чарунки та внутрішні порожнини були очищені від залишків титану, Катоді були перевернуті на іншу сторону яка не має дефектів, анод був промитий та відчищений від залишків наплення титану.

Погіршення деоелектричних властивостей ізоляторів виявилось найскладнішим чинником, конструктивно чарунка віконна так щоб ізолятор був

захищений від випаровування титану. Якщо ж це все ж такі трапляться то пориста структура ізолятора добре вкривається титаном та стає провідником та перестає виконувати своє призначення, спроби відчистити були марні титан добре пручається як механічній так і хімічній обробці, єдиний вихід це заміна поганого ізолятора при даному обслуговуванні були використані наявні ізолятори з запасів.

Після проведення дефектування, відчистки та інших необхідних заходів, була проведена дегазація чарунок та вакуумування стандарту до так званого стартового тиску магніторозрядного насоса. Залежно від моделі стартового тиску може становити $(5-10) \times 10^{-4}$ Торр. З тиску 1×10^{-3} Торр магніторозрядний насос стартує вкрай неохоче, звичайно потрібно кілька спроб. Попередню відкачування вкрай бажано проводити безмасляними форвакуумними насосами: плівка масла на електродних блоках магніторозрядними насоса призводить до істотного погіршення його ефективності.



Рис-3 Порошок титану



Рис 4 Виробка матеріалу, катода

У момент старту магніторозрядними насос споживає досить велику потужність і, як наслідок, сильно нагрівається. Тому наступну спробу старту треба починати після того як насос охолоне. При роботі на тисках до $\sim 1 \times 10^{-3}$ Торр насос також нагрівається. Після проведення техобслуговування на протязі місяця були перевіренні метрологічні характеристики стандарту Ч1-80 досліджувались метрологічні характеристики стандарту, після техобслуговування з короткочасної та довгострокової нестабільності. В першу, чергу експериментально були досліджені характеристики короткочасної нестабільності. При цьому були проведені вимірювання вихідної частоти стандарту Ч1-80

– 5МГц відносно вихідної частоти 5 МГц стандарту (міра 1), що входить до складу групи і формує робочу шкалу еталона. Структурну схему проведення досліджень наведено на рис. 5

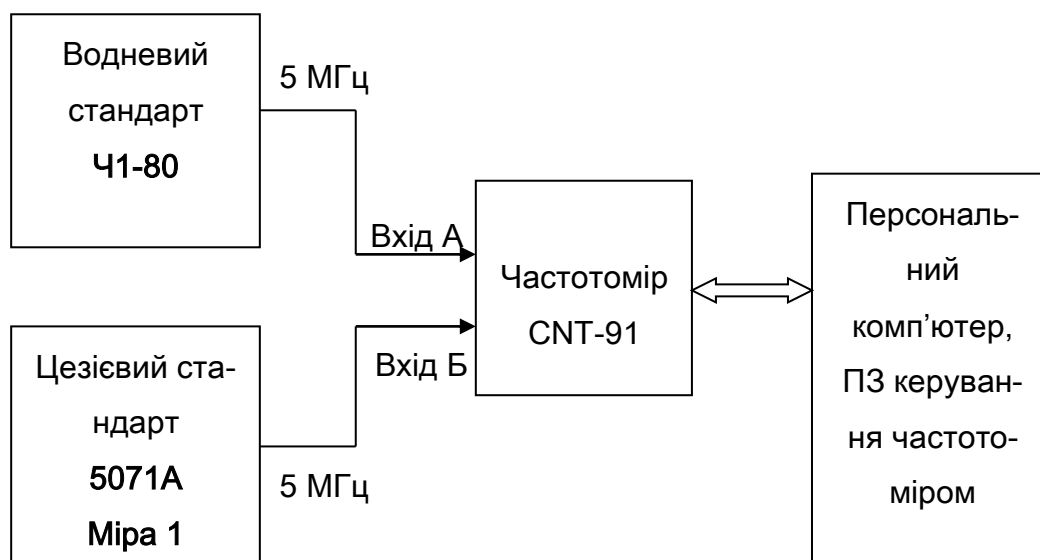


Рисунок 5 – Структурна схема для проведення досліджень з короткочасової нестабільності .

Дослідження короткочасової нестабільності стандарту проводились фазо-часовим методом, запис результатів вимірювань вівся протягом 3-х діб з темпом запису 1 секунда. На базі результатів вимірювань було обчислено відносні різниці частот водневого генератора Ч1-80 відносно цезієвого стандарту (міра1).

Основним параметром, який використовується для оцінки короткочасової нестабільності частоти є девіація Алана. Тому, використовуючи результати часового рядка досліджень, було обчислено значення девіації Алана для часу усереднення 1с, 10 с, 100 с, 1000 с, 10000 с та 100000 с. Результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Залежність девіації Алана від часу усереднення, що отримана експериментально

τ, с	1	10	100	1000	10000	100000
	$6,9 \cdot 10^{-12}$	$5,3 \cdot 10^{-12}$	$1,0 \cdot 10^{-12}$	$2,1 \cdot 10^{-13}$	$9,3 \cdot 10^{-14}$	$2,6 \cdot 10^{-14}$

Аналіз даних дослідження свідчить про досить високу збіжність реальних та паспортних даних після проведення техобслуговування .

Висновки

Результати, отримані під час виконання обслуговування дають можливість значно продовжити термін використання міри часу і частоти Ч1-80 з збереженням метрологічних показників що в свою чергу сприяє раціональному використанню та збереженою державних коштів, відносно придбання нового устаткування або проведенні даного обслуговувані на виробництві яке знаходиться за кордоном, також цей тип устаткування на даній час вже не виготовляється та терміни обслуговування вже сплинули при цьому вакуумна частина має великий потенціал для використання та покращення метрологічних характеристик стандарту при заміни електронного начиння, розрахункові оцінювання цього типу удосконалення при проведені удосконалення дозволять покращити метрологічні характеристики міри часу і частоти Ч1-80 на один порядок що буде відповідати характеристикам нового та сучасного устаткування даного типу стандартів часу і частоти.

ВОДОРОДНЫЕ ХРАНИТЕЛИ ЧАСТОТЫ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТО-РАЗРЯДНЫХ НАСОСОВ

В.В. Солдатов.¹

1. *ННЦ "Институт метрологии", ул. Мироносицкая, 42, 61002, Харьков, Украина. crayonsukr@gmail.com*

Аннотация

Рассмотрены аспекты функционирования, Национального (государственного первичного) эталона единиц времени и частоты, далее НИЭТА TF-01-2021 и поддержание метрологических характеристик на должном уровне. С целью надлежащего функционирования, Национального (государственного первичного) эталона единиц времени и частоты, далее НДЕ-ТУ TF-01-2021 поддержание метрологических характеристик на должном

уровне в состав эталона входят водородные хранители частоты, мера Ч1-80, при использовании которых возникает потребность в сложном обслуживании одного из ключевых элементов водородного хранителя. Рассмотрены практические аспекты технического ухода и обслуживания одного из ключевых элементов водородного хранителя частоты, меры Ч1-80, магниторазрядного ионно-гетерного насоса. Приведены конструкция и принцип работы магниторазрядного ионно-гетерного насоса, конструкция и принцип функционирования данного типа насосов в составе меры Ч1-80.

Проанализировано состояние оборудования, предложены и выполнены мероприятия по восстановлению метрологических характеристик меры Ч1-80 и других стандартов времени и частоты данного типа.

Приведены пути дальнейшего улучшения метрологических характеристик как Национального (государственного первичного) эталона единиц времени и частоты, НИЭТА TF-01-2021 и степени времени и частоты Ч1-80.

Ключевые слова: функционирование **НДЕТУ TF-01-2021**; мера Ч1-80; магниторазрядный ионно-гетерный насос.

HYDROGEN FREQUENCY STORAGE, RESTORATION AND EXTENDING THE LIFE OF THE MAGNETIC DISCHARGE PUMP

V.V. Soldatov. ¹

1. NSC "Institute of Metrology", st. Mironositskaya, 42, 61002, Kharkov, Ukraine. crayonsukr@gmail.com

Annotation

Aspects of functioning, National (state primary) standard of units of time and frequency, further NDETU TF-01-2021 and maintenance of metrological characteristics at the appropriate level are considered. For the purpose of proper functioning, the National (state primary) standard of units of time and frequency, further NDETU TF-01-2021 maintaining metrological characteristics at the appropriate level, the standard includes hydrogen frequency keepers, measure Ch1-80, during the use of which there is a need for complex maintenance one of

the key elements of the hydrogen reservoir. Practical aspects of technical maintenance and service of one of the key elements of the hydrogen frequency storage device, measure Ch1-80, magnetic discharge ion-heterogeneous pump are considered. The design and principle of operation of the magnetic discharge ion-heterogeneous pump, the design and the principle of operation of this type of pumps as part of the measure Ch1-80 are given.

The condition of the equipment is analyzed, the measures on restoration of metrological characteristics of measure Ч1-80 and other standards of time and frequency of this type are offered and executed.

Ways to further improve the metrological characteristics of both the National (state primary) standard of units of time and frequency, NDETU TF-01-2021 and measures of time and frequency Ch1-80

Key words: functioning of NETU TF-01-2021; measure Ch1-80; magnetic discharge ion-hetero pump.

Список літератури

1. Стандарты частоты и времени на основе квантовых генераторов и дискриминаторов. Под редакцией Б.П.Фатеева
2. Стандарты частоты. Принципы и приложения Фриц Риле ISBN: 978-5-9221-1096-9
3. Judah Levine, “The history of time and frequency from antiquity to the present day” Eur. Phys. J. H, EDP Sciences, Springer-Verlag 2016, 67 p./DOI: 10.1140/epjh/e2016-70004-3.
4. NIST. (2017) “NIST Time and Frequency from A to Z, Frequency offset,” Retrived 20 May 2017, at <https://www.nist.gov/time-and-frequency-services/f>.

References

1. Frequency and time standards based on quantum generators and discriminators. Edited by BP Fateev
2. Frequency standards. Principles and Applications of Fritz Riele ISBN: 978-5-9221-1096-9
3. Judah Levine, “The history of time and frequency from antiquity to the present day” Eur. Phys. J. H, EDP Sciences, Springer-Verlag 2016, 67 p./DOI: 10.1140 / epjh / e2016-70004-3.
4. NIST. (2017) “NIST Time and Frequency from A to Z, Frequency offset,” Retrived 20 May 2017, at <https://www.nist.gov/time-and-frequency-services/f>.