



ЗАХАРЕНКО

Вячеслав Володимирович —
член-кореспондент НАН
України, директор
Радіоастрономічного інституту
НАН України

ВВЕДЕННЯ В ДІЮ РАДІОТЕЛЕСКОПА РТ-32 — НОВІ МОЖЛИВОСТІ ВІТЧИЗНЯНОЇ РАДІОАСТРОНОМІЇ ТА КОСМІЧНОЇ НАВИГАЦІЇ

**Стенограма наукової доповіді на засіданні
Президії НАН України 27 листопада 2020 року**

У листопаді 2020 р. завершено основні роботи з введення в дію радіотелескопа сантиметрового діапазону РТ-32, оснащеного високочутливим приймальним обладнанням, яке дозволяє проводити одночасно спостереження в діапазонах 6; 3 і 1,35 см. Це відкриває широкі можливості для міжнародної наукової співпраці в галузі радіоастрономії та повернення України до найбільшої у світі радіоінтерферометричної мережі з наддовгими базами — European VLBI Network.

Шановний Анатолію Глібовичу!

Шановні колеги!

Україна є добре званою у світі радіоастрономічною державою. І це пов'язано з тим, що наприкінці 1960-х років академік Семен Якович Брауде за підтримки тодішнього президента НАН України академіка Бориса Євгеновича Патона створив найбільший у світі (він залишається найбільшим і дотепер) Т-подібний декаметровий радіотелескоп УТР-2. Крім того, починаючи з 1990-х років Україна активно використовувала як радіоастрономічний інструмент одну з найбільших у світі антен — 70-метрову антену Національного центру управління та випробувань космічних засобів (НЦУВКЗ) Державного космічного агентства України, розташовану поблизу Євпаторії.

На РТ-70 проводили як експерименти з пасивного спостереження власного випромінювання небесних тіл, так і активні космічні експерименти, пов'язані з випромінюванням у бік досліджуваних об'єктів потужних електромагнітних потоків з подальшим аналізом прийнятих сигналів. Програма наукових досліджень, очолювана академіком НАН України Олександром Олександровичем Коноваленком, охоплювала спостереження мазерів, пульсарів, корони Сонця, космічного сміття, а також використання РТ-70 як елемента інтерферометра з наддовги-

ми базами як наземного, так і наземно-космічного базування разом з космічним апаратом «Радіоастрон».

Після анексії Автономної Республіки Крим Російською Федерацією у 2014 р. РТ-70 залишився на тимчасово окупованій території, і Україна була позбавлена можливості користуватися цим важливим для радіоастрономії сантиметрового діапазону інструментом. Отже, перед українською науковою спільнотою гостро постала проблема створення радіотелескопа на заміну втраченому РТ-70.

Дуже приємно, що до пошуку можливих рішень одразу долучилися Національна академія наук України, Національний центр управління та випробувань космічних засобів та інші зацікавлені організації. На початку 2018 р. було ухвалено рішення про створення радіотелескопа РТ-32 на базі 32-метрової антени MARK-4В, яка належить Центру космічних досліджень і зв'язку (підрозділ, що входить до структури НЦУВКЗ) і розташована поблизу м. Золочів Львівської області. Для виконання цього завдання свої зусилля об'єднали різні організації космічної галузі України, НАН України, Міністерства освіти і науки України, представники приватного сектору, а саме:

- Національний центр управління та випробувань космічних засобів ДКА України — здійснював фінансове та організаційне керівництво, забезпечення системи зв'язку, живлення тощо, загальний менеджмент проекту;

- Радіоастрономічний інститут НАН України — наукове керівництво проектом, забезпечення реєструвальним обладнанням з високою роздільною здатністю, синтезаторами частот тощо;

- ПрАТ «НВП «Сатурн» — розроблення та виробництво приймальної апаратури, оснащення нею радіотелескопа, технічне керівництво проектом;

- Інститут радіофізики і електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України — розроблення пристрою селекції частот і поляризації;

- Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя — створення і впровадження системи наведення радіотелескопа;

- приватна компанія «Вірком» — частотно-часова прив'язка, без якої неможливе входження до Європейської мережі радіоінтерферометрів з наддовгими базами (EVN);

- спільна українсько-канадська компанія «ІнтерСис» — інсталяція сучасних алгоритмів наведення телескопа.

Звісно, діаметр антени 32 м для радіотелескопа не є чимось унікальним. Таких антен, як MARK-4В (до речі, це антена виробництва японської фірми NEC, створена наприкінці 1980-х років), у світі всього налічується шість, і частину з них уже перетворено на радіотелескопи. Загалом радіотелескопів з подібними антенами у світі є кілька десятків. А отже, нам потрібна була науково-технічна «родзинка», яка вирізняла б український радіотелескоп на тлі всіх інших.

Антену MARK-4В, поверхня якої виконана дуже якісно, має дві особливості. По-перше, ця антена має променевід (рис. 1) і багатомодовий гофрований опромінювач — гофрований рупор (рис. 2). У променеводі сигнали всіх діапазонів поширюються вздовж однієї осі, що дає можливість розмістити всю приймальну апаратуру для різних діапазонів частот безпосередньо в залі під антеною, де можна встановити набагато більше апаратури, ніж у звичайній рухомій кабіні радіотелескопа. По-друге, гофрований рупор має властивість зменшувати втрати сигналу на одних частотах (виділених модах) і збільшувати їх на інших.

Саме ці особливості антени й було використано при розробленні концепції радіотелескопа як багатоканального та багатодіапазонного, що дасть можливість вирішувати низку нових наукових завдань. Так, частотно-селективний пристрій спрямовує сигнали діапазону 6 та 1,35 см кожен на свій приймач, і хоча при цьому виникають додаткові втрати сигналу, порівняно з тими, що вже існують у променеводі, вони не значні. А запропоноване Володимиром Мусяковичем Чмілем, директором НВП «Сатурн», подвоєння приймальних каналів відкриває ще більші можливості для радіоастрономічних досліджень. Крім того, нова версія частотно-селективного пристрою дасть змогу

проводити одночасні спостереження в трьох діапазонах: 6, 3 та 1,35 см.

Завдяки зазначеним вище технічним рішенням на телескопі одночасно можна проводити спостереження в різних частотних смугах, спостерігати кілька мазерних ліній, досліджувати одночасні зміни в спектрах, тобто цей інструмент має такі можливості, яких немає у жодного іншого телескопа у світі.

Отже, коло наукових завдань, незважаючи на помірну чутливість РТ-32, є досить широким. Це дослідження активних ядер галактик, місць зореутворення, мерехтінь, сонячного випромінювання, пульсарів, а також швидких радіосплесків, післясвітіння гамма-сплесків та явищ типу GW170817, коли породжуються одночасно гравітаційні та електромагнітні хвилі дуже широкого спектра. Дуже важливо, що ми здійснили частотно-часову прив'язку реєстрального обладнання телескопа до цезієвого стандарту частоти, що відкриває шлях для входу РТ-32 до мережі EVN.

Таким чином, за трохи більш як два роки було проведено такі роботи:

- розроблено та встановлено частотно-селективну, приймальну та реєстральну апаратуру;
- створено систему наведення радіотелескопа;
- встановлено цезієвий, так званий первинний, стандарт частоти і часу та систему частотно-часової синхронізації;
- здійснено повну перебудову приміщень та проведено заміну комунікацій;
- встановлено сервер для збереження, обробки та передавання даних до мережі EVN або інших наукових установ як України, так і світу.

Від початку цього року на новому радіотелескопі фахівці здійснювали спостереження за програмою уточнення матриці похибок при наведенні антени. З серпня проводяться дослідження космічних мазерів, а з вересня — одночасні спостереження змінності активних ядер галактик спільно з латвійським 32-метровим радіотелескопом (Вентспілс, Латвія). Тижень тому отримано перший міжнародний грант на дослідження.



Рис. 1. Променевід антени MARK-4B спрямовує сигнали всіх частот в одну точку в апаратному приміщенні

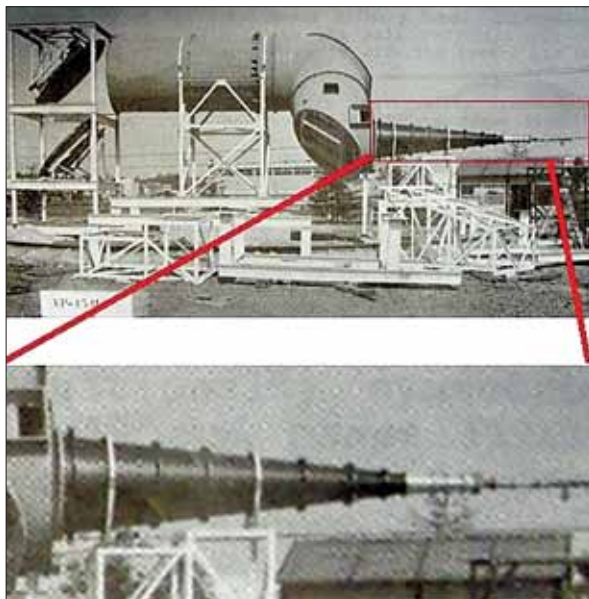


Рис. 2. Гофрований рупор антени MARK-4B забезпечує мінімальні втрати сигналу в робочих діапазонах частот

У найближчому майбутньому паралельно з автономними спостереженнями на РТ-32 ми плануємо доукомплектувати та встановити апаратуру для приймання трьох діапазонів радіохвиль, провести адаптацію реєструвального обладнання і програмного забезпечення до форматів мережі EVN, а також виконати тестові радіоінтерферометричні спостереження в повному форматі EVN.

Висока роздільна здатність реєструвального обладнання, розробленого в Радіоастрономічному інституті НАН України, дає змогу вивчати випромінювання як космічних об'єктів, так і космічних апаратів та доплерівські зсуви частот, що випромінюються чи відбиваються ними. Завдяки тому, що її встановлено в апаратному залі, апаратура характеризується дуже високою температурною стабільністю та високим співвідношенням сигнал/шум при накопиченні.

У наших подальших планах — розроблення і встановлення паралельної приймальної системи в діапазоні 18 см та кількох секцій радіотелескопа ГУРТ, що дасть змогу побудувати синтезований радіотелескоп нового типу. Це дозволить розширити на два порядки діапазон частот, на яких одночасно проводяться спостереження астрофізичних об'єктів будь-якого типу.

Однак на сьогодні найважливішим завданням ми вважаємо відновлення роботи українського радіотелескопа в європейській радіоінтерферометричній мережі з наддовгими базами — European VLBI Network, або EVN.

У своїй доповіді я лише коротко розповів про наукову складову і основні особливості українського РТ-32. Більш детально про організаційні, технічні та інші питання розкажуть начальник НЦУВКЗ Володимир Ілліч Присяжний та генеральний конструктор РТ-32 Володимир Мусійович Чміль.

Отже, рівень апаратного забезпечення створеного радіотелескопа РТ-32 дозволяє вирішувати широке коло завдань: від радіоастрономічних спостережень до вивчення близького космосу. РТ-32 може працювати як автономно, так і як елемент інтерферометричних мереж та

систем космічного зондування. Є можливість працювати одночасно в кількох частотних діапазонах (до чотирьох), а разом з кластером ГУРТ телескоп може стати унікальним надширококутовим інструментом.

Усі ці здобутки були б неможливі без спільної злагодженої співпраці фахівців з НЦУВКЗ, НАН України, МОН України, приватного сектору, а також без постійної дружньої підтримки наших європейських колег.

Дякую за увагу!



**Виступ начальника
Національного центру
управління та випробувань
космічних засобів
ДКА України
Володимира Ілліча
Присяжного**

Вельмишановний Анатолію Глібовичу!
Вельмишановні колеги!

Розвиток наземних космічних засобів — одне з пріоритетних завдань Національного центру управління та випробувань космічних засобів (НЦУВКЗ), оскільки ми впевнені, що Україна є і залишатиметься надалі космічною державою.

Упродовж багатьох років, до анексії Криму та втрати нами частини наземної космічної інфраструктури, Національний центр тісно співпрацював з Радіоастрономічним інститутом НАН України в напрямі проведення радіоастрономічних досліджень з використанням радіотелескопа РТ-70, розташованого у с. Молочне поблизу Євпаторії. У березні 2014 р. радіотелескоп РТ-70 перейшов до сфери управління Міністерства оборони РФ і відтоді в наукових цілях не використовується.

Тому в 2014 р. перед космічним співтовариством України та науковцями постала необхідність відновити можливість спостережень, які раніше ми здійснювали за допомогою РТ-70.

Як один зі шляхів вирішення цього питання Національна академія наук України запропонувала створити радіотелескоп на базі назем-

них станцій космічного зв'язку, розташованих поблизу м. Золочів Львівської області, з діаметром антен 25 м (КТНА-200) і 32 м (MARK-4B), які на той момент уже не використовувалися. Уряд підтримав цю ідею, і у вересні 2015 р. прем'єр-міністр України дав доручення Державному космічному агентству України підготувати відповідні узгоджені пропозиції з цього питання.

Подальша співпраця ДКА України, НЦУВКЗ та Концерну радіомовлення, радіозв'язку та телебачення, якому тоді належали станції, а також дієва підтримка НАН України (лист президента Академії Бориса Євгеновича Патона від 12.10.2015 р.) сприяли тому, що наприкінці 2017 р. зазначені наземні станції космічного зв'язку було передано зі сфери управління адміністрації Держспецзв'язку до сфери управління ДКА України з подальшим введенням їх до складу НЦУВКЗ.

Інститут космічних досліджень НАН України разом з Інститутом радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України та Національним центром розробили концепцію застосування засобів Центру космічного зв'язку в інтересах дослідження та використання космічного простору. Проведені експертні оцінки засвідчили, що найбільш доцільною на першому етапі перетворення телекомунікаційних антен на радіотелескоп є модернізація 32-метрової антенної системи MARK-4B (рис. 3).

Фахівці цих організацій разом зі співробітниками ПрАТ «НВП «Сатурн» провели детальний огляд наявних на станціях технічних засобів і підготували пропозиції щодо їх використання в наукових космічних програмах ДКА України та НАН України. Для подальших робіт щодо модернізації цих станцій з метою проведення в Україні наукових космічних досліджень та інтеграції до міжнародних мереж у складі Національного центру в м. Золочів Львівської області було створено Центр космічних досліджень і зв'язку.

Розуміючи, які значні обсяги робіт потрібно виконати, Національний центр з 2017 р. розпочав цілеспрямовану кампанію в комітетах Верховної Ради України та Міністерстві фінансів



Рис. 3. Антенна система MARK-4B (32 м)

України з інформування урядовців і депутатів про те, наскільки важливою для держави є наявність у її науковому арсеналі подібних комплексів. Ця ініціатива принесла свої плоди — було доповнено статтею розвитку бюджетну програму 6381050 (управління та випробування космічних засобів) та виділено кошти на модернізацію. У 2018 р. почалася активна фаза модернізації антени MARK-4B і створення на її базі радіотелескопа РТ-32. Робота, яку протягом двох років виконувала кооперація розробників за участю персоналу Національного центру, дала позитивні результати і підтвердила правильність прийнятих рішень щодо створення радіотелескопа.

Так, проведено роботи зі створення базового радіотелескопа для роботи в С- і К-діапазонах, тривають роботи зі встановлення обладнання для роботи в Х-діапазоні, надалі передбачено подальше вдосконалення РТ-32 для роботи в L-діапазоні. Повністю завершити виконання проекту зі створення радіотелескопа планується у 2023 р. При цьому участь зацікавлених сторін у подальшій модернізації антени MARK-4B, звісно, прискорить завершення робіт.

Радіотелескоп РТ-32 буде сумісним із засобами радіоінтерферометричних мереж з наддовгими базами США (VLBA) та Європи (EVN) і може увійти до числа провідних європей-

ських радіоастрономічних інструментів. Наявність такого телескопа в Україні дасть новий поштовх для розвитку фундаментальної науки і забезпечить участь України в міжнародних проєктах з дослідження та використання космічного простору.

Дякую за увагу!



**Виступ голови правління
ПрАТ «НВП «Сатурн»
Володимира Мусійовича
Чміля**

Шановні члени Президії НАН України!
Шановні присутні!

На додаток до виступів попередніх доповідачів можу лише сказати, що виконані нами роботи зі створення радіотелескопа РТ-32 мають дві «родзинки». Про першу з них — можливість працювати одночасно у двох (трьох) частотних діапазонах уже докладно розповів Вячеслав Володимирович Захаренко.

Друга «родзинка» — це можливість проводити спостереження дистанційно. Структура радіотелескопа і програмне забезпечення дозволяють користувачу з будь-якої точки світу надіслати електронною поштою план-завдання на проведення сеансу спостережень на РТ-32, відпрацювати деталі відповідно до плану-завдання і отримати результати спостережень на вказану адресу.

Слід зазначити, що РТ-32 апаратно побудовано за модульним принципом, який дозволяє вдосконалювати будь-яку з його систем, модернізувати будь-який блок без зміни вже досягнутих параметрів.

На сьогодні Центр космічних досліджень і зв'язку можна розглядати як багатофункціональний. Крім основного завдання — спостереження і вивчення далекого космосу, радіотелескоп може виконувати функції приймання телеметрії при проведенні далеких космічних

місій, що забезпечить реальну, а не символічну участь України в місячних програмах, місіях на Марс та інших великих міжнародних проєктах з вивчення Сонячної системи.

Хоча зараз радіотелескоп передбачає роботу в Х-діапазоні на частотах 9–12,5 ГГц, його легко налаштувати на роботу в діапазонах від 7 до 20 ГГц, що досягається всього лише заміною частини антено-фідерного тракту і додатковим оснащенням, відповідно до поставлених завдань, підсилювально-перетворювальною апаратурою.

Дуже коротко зупинюся на параметрах РТ-32. Його чутливість по входу в С-діапазоні — ≤ 15 К; у К-діапазоні — ≤ 35 К; в Х-діапазоні — ≤ 90 К. У С- і К-діапазонах використовується приймальна апаратура з криогенним охолодженням. В Х-діапазоні — приймальні пристрої теплі з термоелектронним підохолодженням до -35 °С. Стабілізація частоти і часу забезпечується цезієвим стандартом фірми Microsemi (США). Охолодження до 15 К здійснюється мікрокриогенною головкою Sumitomo (Японія).

Отже, при створенні систем РТ-32 було використано найкращі світові технічні досягнення, а всю апаратуру розроблено власними силами завдяки співпраці академічної (Радіоастрономічний інститут НАН України, Інститут радіофізики і електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України), університетської (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя) і відомчої (на жаль, забутий сьогодні термін) науки (ПрАТ «НВП «Сатурн»), а також підприємств ТОВ «Вірком», СП «ІнтерСис» та ін.

Створення радіотелескопа РТ-32 — це приклад унікального приладобудування, про яке ми в нашій країні останнім часом уже почали потроху забувати. Пригадую, як на радіоастрономічній конференції, яка проходила в 2019 р. в м. Золочів, представник Італії, один з керівників будівництва 64-метрового радіотелескопа на Сардинії, скептично поставився до наших ідей, зауваживши: «Воно у вас працювати не буде». Дуже прикро, що через епідемію COVID-19 ми не змогли зустрітися з ним цьо-

го року, щоб показати телескоп і сказати про антену: «А все ж таки вона крутиться».

На завершення хочу додати, що цей проєкт вдалося реалізувати великою мірою завдяки активній позиції фахівців Національного центру управління та випробувань космічних за-

собів ДКА України, які брали участь як в організації робіт, так і безпосередньо в розробленні і впровадженні обладнання.

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик

Vyacheslav V. Zakharenko

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9977-824X>

Institute of Radio Astronomy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

COMMISSIONING OF THE RT-32 RADIO TELESCOPE:
NEW OPPORTUNITIES FOR DOMESTIC RADIO ASTRONOMY
AND SPACE NAVIGATION

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine,
November 27, 2020

In November 2020, the main work on the commissioning of the centimeter range radio telescope RT-32, equipped with highly sensitive receiving equipment, which allows simultaneous observation in the range of 6; 3 and 1.35 cm, was completed. This opens wide opportunities for international scientific cooperation in the field of radio astronomy and the return of Ukraine to the world's largest radio interferometric network with ultra-long bases, the European VLBI Network.

Keywords: centimeter range radio telescope, multi-channel radio telescope, multi-band radio telescope, European VLBI Network.