

ІНСТИТУТ ІОНОСФЕРИ НАН І МОН УКРАЇНИ

Початок

У кінці 1940-х – початку 1950-х рр. стрімко почали розвиватися радіолокація, радіонавігація та інші галузі науки, пов'язані з радіофізикою, радіотехнікою та радіоелектронікою, що було викликано необхідністю зміцнення оборони країни, розвитком радіоелектронної промисловості та початком космічних досліджень. Цим було обумовлено відкриття в 1946 р. в Харківському електротехнічному інституті (із 1949 р. – ХПІ) радіотехнічного факультету з ініціативи академіка А. О. Слущкіна та професора С. Я. Брауде (згодом академік АН УРСР).

У зв'язку з цим також значно зросла необхідність у вивченні іоносфери як середовища, яке впливає на умови поширення радіохвиль, надійність радіозв'язку і управління космічними апаратами, точність визначення параметрів радіолокаційних цілей і радіонавігаційних координат тощо.

Із 1950 р. розгорнулися роботи, пов'язані з дослідженням іоносфери, зокрема, розробка іоносферної станції (під керівництвом С. Я. Брауде).



Рис. 1. Академік С. Я. Брауде

З 1954 р. почалося вивчення іоносфери над Харковом. У 50-х рр. під керівництвом Б. Л. Кашеева (згодом д-р техн. наук, проф.) проведено роботи з метеорної радіолокації. Це стало доленосним для виникнення і розвитку наукової школи метеорної радіолокації в СРСР.

1960-ті роки. Науково-дослідна лабораторія іоносфери

Під науковим керівництвом та за безпосередньої участі В. І. Тарана (в майбутньому доктора фіз.-мат. наук, професора) було обґрунтовано необхідність постановки, проведення еталонних досліджень іоносфери найбільш інформативним і точним методом некогерентного розсіяння (НР) радіохвиль для розв'язання наукових та військово-прикладних задач. Обґрунтовано основні параметри науково-дослідницького комплексу – радару НР.

У 1963 р на радіотехнічному факультеті ХПІ була створена науково-дослідна лабораторія іоносфери (НДЛІ), яку очолив В. І. Таран. Лабораторія почала займатися роботами, спрямованими на проведення досліджень новим багатообіцяючим методом – методом некогерентного розсіяння радіохвиль.

До того часу аналогічні роботи з дослідження іоносфери проводилися в США. З'явилися перші публікації з теорії та практики застосування методу НР.

Поблизу м. Змієва почала створюватися унікальна, єдина в Радянському Союзі обсерваторія з еталонними науковими інструментами – спеціалізованими радарми НР. У першу чергу були зведені будівлі, в яких встановлювалася апаратура, водонапірна вежа, проведені гідротехнічні споруди та потужні комунікації електропостачання. До цього важливого проекту залучалося багато організацій.



Рис. 2. Професор В. І. Таран

Науково-дослідній лабораторії іоносфери Міністерством оборони було передано радіотехнічне обладнання, яке стало основою радарів НР. Здебільшого, це були елементи радіопередавальних і радіоприймальних пристроїв радарів, знятих із озброєння. У демонтажі обладнання, перевезенні та монтажі на експериментальній базі в м. Змієві брали участь десятки співробітників. Специфічні для методу НР вузли радарів розроблялися і виготовлялися персоналом лабораторії.

Упродовж багатьох років десятками вчених, інженерів і техніків була проведена величезна робота з проектування, створення та розвитку високопотенційних радарів НР, спеціалізованих систем обробки інформації, ефективних методик зондування іоносфери, прийому НР сигналу та його обробки.

З початку створення унікальної експериментальної бази найбільш відповідальну роботу здійснювали провідні спеціалісти науково-дослідної лабораторії іоносфери І. М. Пресняков, В. І. Головін, Є. В. Рогожкін, В. І. Ліокумович, О. І. Григоренко, О. А. Соляник, С. Д. Андренко, А. С. Єфременко.

У 1968 р. було введено в експлуатацію автоматичну іоносферну станцію, яка в подальшому була модернізована В. І. Головіним і С. В. Черняєвим і експлуатувалася до 1980-х рр.

1970-ті роки

У 1971 р. у ХПІ за ініціативою В. І. Тарана було створено загальнотехнічну кафедру «Радіоелектроніка», яку він і очолив. Науково-дослідна лабораторія іоносфери перетворилася в науково-дослідну лабораторію кафедри «Радіоелектроніка» (НДЛ РЕ).

Перші результати методом НР були отримані в 1972 р. за допомогою радара з нерухомою параболічною антеною діаметром 30 м, промисловим радіолокаційним передавачем і радіоприймачем та спектроаналізатором, впровадженими співробітниками під керівництвом І. М. Преснякова.

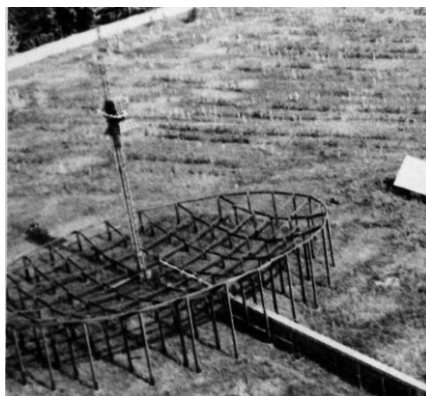


Рис. 3. Перша параболічна антена діаметром 30 м

Дослідним заводом ХПІ з залученням ряду проектно-конструкторських організацій Радянського Союзу була створена унікальна найбільша в Європі зенітна дводзеркальна параболічна антена діаметром 100 м, яка є основним інструментом дослідження іоносфери і сьогодні. Вона дозволяє випромінювати та приймати сигнали з круговою та лінійною поляризацією. Великий внесок у цю роботу зробили С. Д. Андренко й О. А. Соляник.

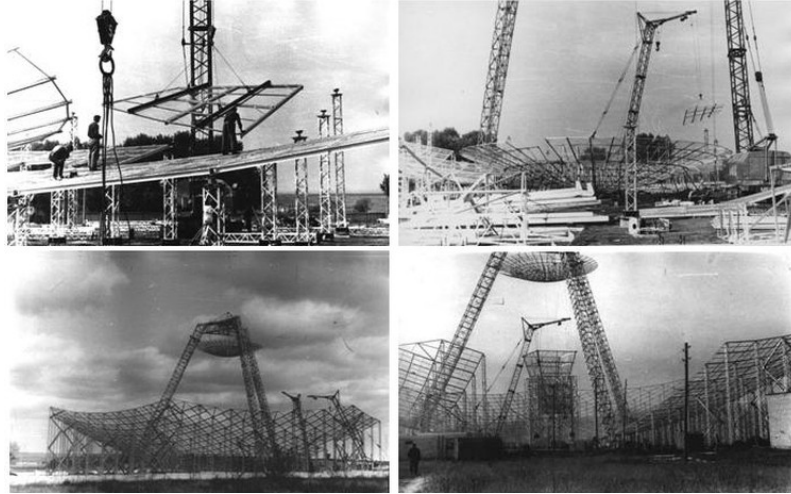


Рис. 4. Етапи будівництва параболічної антени діаметром 100 м

Є. В. Рогожкін (нині доктор фіз.-мат. наук, професор, зав. кафедри «Радіоелектроніка» НТУ «ХПІ») запропонував новий оригінальний спосіб обробки сигналу та цифровий корелометр для досліджень сигналів з відомою центральною частотою спектра, що дозволяє проводити кореляційну обробку сигналу при значному скороченні апаратних засобів і зниженні обсягу виконуваних операцій без істотних втрат інформації. Колективом співробітників під керівництвом Є. В. Рогожкіна було розроблено та впроваджено такий оригінальний за принципом дії корелометр. У його створенні активну участь брали: Ф. О. Маєнко, Л. Я. Ємельянов, А. Ф. Кононенко, М. М. Паун, М. М. Забірکو, Н. Ф. Шаталова, В. Ф. Склярова. Він виконував функції пристрою обробки та синхронізатора радара з 1975 р., коли почалися регулярні дослідження іоносфери за допомогою цього корелометра, до кінця 1980-х рр, коли з'явилися перші персональні комп'ютери.



Рис. 5. Професор Є. В. Рогожкін

Під керівництвом Ф. О. Маєнко було впроваджено новий більш надійний і чутливий радіоприймальний пристрій з шумовою температурою близько 100 К. Під керівництвом В. І. Головіна модернізовано радіопередавач з імпульсною потужністю 2 МВт. Створений на базі цих елементів радар НР метрового діапазону хвиль дав можливість досліджувати іоносферу на висотах 100–1500 км методом НР і проводити систематичні вимірювання основних параметрів іоносфери (електронної концентрації, температур електронів та іонів, швидкості руху іоносферної плазми, відносної концентрації молекулярних і атомарних іонів). Іншими методами дослідження іоносфери неможливо одночасно отримати такий набір даних.



Рис. 6. Радар НР з параболічною антеною діаметром 100 м

Завдяки модернізації радара НР були введені і в подальшому використовувалися наступні основні режими його роботи:

- зондування іоносфери радіоімпульсами тривалістю 800 мкс (для вимірювання параметрів іоносфери на висотах поблизу та вище максимуму іонізації);
- зондування циклічною послідовністю одиночних і здвоєних радіоімпульсів (тривалістю 150 мкс) зі змінною від періоду до періоду затримкою між імпульсами (для вимірювання параметрів іоносфери на висотах 100–550 км);
- зондування радіоімпульсами тривалістю 150 мкс із високою частотою повторення (200 Гц) (для дослідження швидких процесів в іоносфері);
- зондування сигналом тривалістю 150 мкс із лінійною поляризацією, на відміну від попередніх режимів, що використовують кругову поляризацію (для визначення концентрації електронів із використанням ефекту Фарадея).

У 1977 р. під керівництвом канд. техн. наук М. П. Маглеванного було проведено перші експерименти з кодованими сигналами, що дозволило вивчати тонку структуру нижньої іоносфери.

1980-ті роки

З кінця 1970-х рр. почали проводитися роботи з вивчення ефектів в іоносфері, які пов'язані з потужними вибухами та запусками космічних апаратів. Дослідження цієї тематики проводив Ю. І. Под'ячий (нині проф. кафедри «Радіоелектроніка»). Іоносферні збурення, викликані цими антропогенними факторами, спостерігалися на відстанях до декількох тисяч кілометрів від джерела енергії. Ця тематика визвала великий інтерес у всіх установ, які розробляли системи швидкого визначення цілей, та вивчали аномальні атмосферні явища. Постійними замовниками проведення досліджень, пов'язаних з іоносферними аномаліями, що з'являються після стартів балістичних ракет були Ленінградські установи НВО «Вектор» та Державний оптичний інститут.

Із 1980 р. під керівництвом Є. В. Рогожкіна створювався харківський обчислювальний центр на базі комп'ютерів СМ-4, який почав регулярно функціонувати наступного року. Центр надав можливість кожному досліднику проводити обробку даних радара НР, розробляти теоретичні моделі, вирішувати прямі та зворотні задачі зондування іоносфери.

У 1983 р. науково-дослідна лабораторія кафедри «Радіоелектроніка» отримала статус Окремого конструкторського бюро радіофізичних досліджень іоносфері (ОКБ РФДІ).

Того ж року ОКБ РФДІ на своїй базі провело Всесоюзну науково-технічну конференцію «Теорія і практика застосування методу некогерентного розсіяння радіохвиль». Великий інтерес відомих вчених Радянського Союзу до можливостей унікального харківського радара й експериментальних результатів, отриманих за допомогою нього, привів до активної співпраці між ОКБ РФДІ й іншими науковими установами.

У 1985 р. за участю Л. Я. Ємельянова, В. П. Курисько та О. І. Стаховської було введено в експлуатацію нову автоматичну іоносферну станцію (іонозонд) «Базис» та виконано цикл робіт з забезпечення її надійної роботи. Цей іонозонд дозволив значно

поліпшити точність і надійність одержуваних даних. Він використовувався для калібрування даних радару НР і дослідження іоносфери методом вертикального зондування до 2017 р.



Рис. 7. Іонозонд «Базис»

У першій половині 80-х рр. проводилось будівництво фазованої антенної решітки розмірами 300×300 м² і впровадження апаратури нагрівного стенду декаметрового діапазону хвиль. У 1985 р. були проведені перші експерименти зі збурення іоносферної плазми потужним височастотним випромінюванням. У цих роботах брали основну участь А. М. Смірнов, В. К. Боговський, Л. Я. Ємельянов, А. П. Богдан, В. В. Дивавін, О. І. Поліваний, Л. П. Гончаренко та В. М. Лисенко.



Рис. 8. Елементи антени нагрівного стенду

Упродовж 1986–1989 рр. групою співробітників під керівництвом Є. В. Рогожкіна було введено в експлуатацію багатофункціональний корелометр «СКІФ». Він був виконаний на базі розроблених спеціалізованих цифрових пристроїв і персональних комп'ютерів, які з'явилися на той час. Значну участь у створенні цього корелометра приймали О. М. Хлебніков, В. О. Пуляєв (нині д-р техн. наук, проф.) та В. А. Філоненко.

В той же час групою під керівництвом Л. Я. Ємельянова (нині завідувач відділом радіофізичних досліджень іоносфери, канд. фіз.-мат. наук) було розроблено та впроваджено багатофункціональну багатоканальну радіоприймальну систему та синтезатор зондуючого сигналу, що значно розширило можливості радару НР і сумісно з корелометром «СКІФ» дозволило використовувати складові сигнали з частотною і фазовою маніпуляцією. В цій роботі активну участь брали інженери В. П. Курисько та М. М. Паун.

У 1988–1989 рр. групою під керівництвом А. М. Смірнова було введено радіопередавальний пристрій нового покоління, що дозволило підвищити потенціал радару НР і надійність його роботи. Монтаж радіопередавача, його налагодження і подальшу експлуатацію здійснювали майбутні керівники групи М. О. Смагло і О. Д. Коваль, а також інженери О. І. Поліваний, В. А. Лазарев і В. І. Волошин.

У цей же період групою під керівництвом канд. техн. наук М. П. Маглеванного було модернізовано апаратуру кодованих сигналів і проведено ряд експериментів з вивчення області Е іоносфери. В цих роботах брали участь О. Є. Андреев, І. Б. Склярів та В. П. Лук'яненко.

У 1989 р. під керівництвом Я. М. Чепурного (нині головний інженер Інституту іоносфери) було введено в експлуатацію повноповоротну антену діаметром 25 м. Завдяки їй було отримано перші унікальні результати з просторового дослідження іоносфери методом НР.



Рис. 9. Повноповоротна антена діаметром 25 м

У кінці 80-х рр. групою під керівництвом С. В. Черняєва було впроваджено радар НР дециметрового діапазону хвиль і проводилися дослідження тонкої структури нижньої іоносфери за допомогою цього радара. У цих роботах значну участь брали В. М. Лисенко, В. М. Білоус, О. О. Загорін, В. І. Євченко, В. М. Авдеев.

Під керівництвом В. М. Лисенка (згодом заступник директора Інституту іоносфери, канд. фіз.-мат. наук) було розроблено для радарів дециметрового та метрового діапазонів хвиль і впроваджено спеціалізовані системи обробки нового (на той час) покоління, а також програмне забезпечення для первинної (в реальному часі) обробки НР сигналу та визначення параметрів іоносфери. Активну участь у створенні систем обробки брали А. Ф. Кононенко та М. І. Палій.

Упродовж 1970–1980-х рр. безперервно розвивалася база цифрової обробки даних, отриманих за допомогою радара НР. На кожному етапі розвитку застосовувалися сучасні для відповідного періоду ЕОМ: «Мир», «Мир-2», «Дніпро», «5Е73», «СМ-4», «ЕС-1045» і, нарешті, персональні комп'ютери. Ці комп'ютери використовувалися для первинної обробки експериментальних даних на радарі НР в м. Змієві. Основні розрахунки та теоретичне моделювання іоносфери, а також впровадження нових програм обробки, проводилось у комп'ютерному центрі на основі ЕОМ «СМ-4» в Харкові. Значний вклад у розвиток бази цифрової обробки даних в обсерваторії в м. Змієві внесли керівники обчислювального центру Л. А. Петров і А. Ф. Кононенко, інженери-програмісти В. П. Лук'яненко і В. І. Ващенко. Керівником харківського обчислювального центру був В. Г. Замковий, провідними спеціалістами були програміст С. Р. Третьяков та інженер-електронік з обслуговування ЕОМ К. Г. Висоцький.

Наприкінці 1980-х рр. науковець О. І. Григоренко вперше розробила емпіричну модель області F іоносфери над Харковом для різних сезонів і активності Сонця на базі великого статистичного матеріалу експериментальних даних, отриманих методом НР. В цій роботі брали участь наукові співробітники Д. А. Дзюбанов (нині проф. каф. «Радіоелектроніка», канд. фіз.-мат. наук) і С. В. Грінченко.



Рис. 10. О. І. Григоренко зі співробітниками О. М. Хлебніковим та О. М. Літовченко обробляють перші іоносферні дані

Під керівництвом відомого фахівця з розповсюдження радіохвиль проф. Ф. Б. Чорного аспірантом Т. Г. Живолупом (нині канд. фіз.-мат. наук) був розроблений новий метод розрахунку висотного профілю електронної концентрації, який використовував дані іонограм вертикального зондування. Цей метод розробником був програмно реалізований та впроваджений в НДІ дальнього розповсюдження радіохвиль. Він був застосований при розробці нового радіолокатора для виявлення об'єктів, що рухаються на малій висоті.



Рис. 11. Член-кореспондент АН СРСР В. В. Мигулін з вченими Окремого конструкторського бюро радіофізичних досліджень іоносфери (нині – Інститут іоносфери) на конференції з поширення радіохвиль (Алма-Ата, 1987 р.)

У 1989 р. група вчених була удостоєна премії Ради Міністрів СРСР за прогрес у наукових дослідженнях іоносфери за допомогою метода НР (В. І. Таран, Є. В. Рогожкін, О. І. Григоренко, А. М. Грідін, А. М. Смірнов).

У 1989 р. кафедра «Радіоелектроніка» ХПІ змінила статус загальнотехнічної на профілюючу та приступила до набору, підготовки та випуску інженерів-радіофізиків. Велику роль в перебудові учбового процесу зіграв створений учбово-науковий комплекс «Іоносфера», який тісно зв'язав учбовий процес з науково-дослідною роботою. Залучення в учбовий процес наукових кадрів Інституту іоносфери, підвищення кваліфікації викладачів шляхом їх стажування тут, використання його унікального науково-дослідного комплексу в м. Змієві для студентських практикумів, розробки завдань дипломних проектів студентів з наукової тематики ОКБ РФДІ, а згодом Інституту іоносфери дозволили суттєво підвищити рівень підготовки випускників кафедри, перший випуск яких відбувся в 1994 р.



Рис. 12. Співробітники кафедри «Радіоелектроніка»

У 1970-і і 1980-і роки постійно проводилися дослідження ефектів стартів ракет як з космодрому Байконур, так і з мису Канаверел (США) методами некогерентного розсіяння і вертикального зондування. Були встановлені як швидкості розповсюдження збурень при стартах радянських і американських ракет, так і характерні висоти поширення збурень. Було виявлено відміну характерних висот розповсюдження збурень, викликаних рідинними двигунами і твердопаливними двигунами ракет. У 1990 р. Окреме конструкторське бюро радіофізичних досліджень іоносфери було перетворено в Особливе конструкторське бюро радіофізичних досліджень іоносфери.

Інститут іоносфери

17 квітня 1991 р. постановою Ради Міністрів УРСР на базі Особливого конструкторського бюро радіофізичних досліджень іоносфери було створено Інститут іоносфери НАН і МОН України, який очолив проф. В. І. Таран.



Рис. 13. Обсерваторія Інституту іоносфери

Великою заслугою директора Інституту іоносфери проф. В. І. Тарана було те, що у важкі 90-і роки, коли навіть великі промислові підприємства “згасали” і почався відтік вчених за кордон, було в основному збережено наукову базу інституту і його основний склад фахівців. Більш того, дослідження іоносфери в іоносферній обсерваторії інституту не припинялися. З моменту створення Інституту іоносфери продовжувався розвиток експериментальної бази, зокрема, радіопередавальних, радіоприймальних і обробних систем, удосконалювалися методи обробки інформації. В цілому, отримано і оброблено великий обсяг експериментальних даних протягом трьох циклів сонячної активності. Впродовж багатьох років, до і після утворення Інституту іоносфери, надзвичайно важливу та необхідну роботу з планування, встановлення зв'язків із замовниками, укладення договорів і координації взаємодії з зовнішніми науковими, військовими, будівельно-монтажними та іншими організаціями здійснював заступник директора А. М. Грідін. Великою мірою завдяки йому інститут був забезпечений сучасними радіолокаційними засобами і вимірвальними приладами, успішно виконувалися науково-дослідні роботи.



Рис. 14. Координатор наукових робіт А. М. Грідін

У 1990-ті рр. було створено нові програми обробки інформації, які враховували сучасні тенденції в методі НР. Основними розробниками цих програм були В. М. Лисенко та В. О. Пуляєв. Із 1991 р. почалося регулярне співробітництво з вченими США з обсерваторії Хейстек Массачусетського технологічного інституту. У 1992 р. делегація американських вчених на чолі з д-ром Дж. Фостером відвідала Інститут іоносфери та його обсерваторію. Співробітники Інституту іоносфери були запрошені в США для спільних досліджень. У 1993 р. обсерваторію Хейстек відвідав В. М. Лисенко. Там же, а також на радіотелескопі Корнелльського університету в Аресібо (Пуерто-Ріко, США), в 1994–1995 рр. працювали проф. В. І. Таран, Є. В. Рогожкін та Л. П. Гончаренко (В даний час Л. П. Гончаренко працює в Массачусетському технологічному інституті і є однією з провідних вчених у галузі дослідження іоносфери).



Рис. 15. Проф. В. І. Таран и проф. Є. В. Рогожкін в Обсерваторії Хейстек Массачусетського технологічного інституту

У 1993 р. науковий співробітник Інституту іоносфери Т. Г. Живолуп представив емпіричну модель висоти максимуму шару Е, створену за даними радара НР.

Із 1994 р. почалася співпраця інституту з Національним космічним агентством України. У зв'язку з високим міжнародним авторитетом Інституту іоносфери 14–18 серпня 1995 року в Інституті була проведена робоча група Міжнародного радіосоюзу URSI з некогерентного розсіяння, в роботі якої брали участь провідні вчені: д.ф.-м.н. А. В. Михайлов, к.ф.-м.н. А. В. Тащилін, провідні вчені США з дослідження іоносфери методом НР д-р Д. Фостер, д-р Д. Келлі і д-р С. Гонзалес і вчені Інституту іоносфери.

З 1996 р. Інститут іоносфери почав проводити дослідження варіацій легких іонів гелію та водню в рамках Гранта, виділеного Національним науковим фондом США. Спеціально для проведення цих досліджень Л. Я. Ємельяновим та М. М. Пауном було розроблено і введено в дію нову високочутливу прецизійну радіоприймальну систему з підвищеною стабільністю і завадозахищеністю для розширення діапазону досліджуваних висот, а В. М. Лисенко і В. О. Пуляєвим модернізовано програмне забезпечення. Значний внесок в інтерпретацію результатів досліджень іонного складу верхньої іоносфери було зроблено завідувачкою сектору О. І. Григоренко. Спільні дослідження іоносфери з обсерваторіями Хейстек і Аресібо, що проводилися з 1996 р., дозволили виявити довготні та широтні варіації концентрації іонів водню. Результати цих досліджень отримали високу оцінку вчених зарубіжних країн.

Інститут іоносфери в 2000–2010-х рр.

Упродовж 2000–2010-х рр. продовжилося оновлення систем обробки та програмного забезпечення, що дозволило значно підвищити точність визначення параметрів іоносфери та швидкість обчислень. Введено режим двочастотного зондування іоносфери довгими і короткими радіоімпульсами для одночасного вимірювання параметрів іоносфери у великому діапазоні висот із достатньою роздільною здатністю для висот нижньої і верхньої іоносфери.

Із початку 2000-х рр. в Інституті іоносфери проводилися дослідження впливу на іоносферу геокосмічних бур, сонячних затемнень і ефектів, пов'язаних зі стартами балістичних ракет; велися роботи зі створення регіональної іоносферної моделі. Інтерпретацію результатів більшості з цих робіт проводили проф. Л. Ф. Черногор і О. І. Григоренко.

У 2001 р. Іоносферна обсерваторія інституту, що іменується «Іоносферний зонд», була визнана об'єктом Національного надбання України.



Рис. 16. Проф. В. І. Таран і провідні співробітники Інституту іоносфери (2003 р.)

У 2006 р. спільно з вченими Львівського центру Інституту космічних досліджень НАНУ та НКАУ за допомогою радара НР Інституту іоносфери проведено роботи з дослідження впливу на іоносферу потужного акустичного випромінювання.

З 2009 р. Інститут іоносфери очолив доктор техн. наук, професор І. Ф. Домнін. Він провів комплекс робіт із вдосконалення науково-експериментальної бази інституту, розвитку співпраці з вітчизняними та зарубіжними вченими та науковими організаціями.

Інститут іоносфери має наукове співробітництво з такими організаціями України, як Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, Радіоастрономічний інститут НАН України, Інститут космічних досліджень НАНУ та НКАУ (Київ та Львів), Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, Національне космічне агентство України, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харківський університет повітряних сил імені Івана Кожедуба Міністерства оборони України, Національний технічний університет «ХПІ» тощо.



Рис. 17. Професор І. Ф. Домнін



Рис. 18. Провідні вчені України в галузі дослідження далекого і ближнього космосу і співробітники Інституту іоносфери біля антени радара некогерентного розсіяння

Велику увагу директор приділяє молодим вченим, аспірантам і, зокрема, підготовці магістрів і спеціалістів за спеціальністю «Радіофізика і електроніка», очолюючи з 2008 р. (куруючи в даний час) кафедру «Радіоелектроніка» НТУ «ХП». Інститут іоносфери поповнюють найбільш перспективні випускники цієї кафедри, а також радіофізичного факультету Харківського національного університету (ХНУ) імені В. Н. Каразіна.

За ініціативою проф. І. Ф. Домніна та під його безпосереднім керівництвом наукові співробітники О. В. Богомаз (нині завідувач відділу засобів зондування іоносфери, канд. техн. наук) і А. Є. Мірошников створили базу даних Інституту іоносфери, що забезпечило наочність подання інформації про іоносферу над Харковом, значно спростило обмін інформацією з українськими та зарубіжними вченими і підвищило надійність зберігання інформації, яка є цінною через унікальність кожного експерименту.

Науковими співробітниками О. В. Богомазом, Д. О. Іскрою та А. Ф. Кононенко впроваджено нову повністю програмовану багатоканальну систему обробки на базі модуля АЦП Е-2010 та персонального комп'ютера, розроблено програмне забезпечення для обробки іоносферних даних (О. В. Богомаз, Д. В. Котов).

Одним з важливих напрямів досліджень, що проводяться в Інституті іоносфери, є виявлення та оцінка параметрів хвильових процесів, а саме: рухомих іоносферних збурень. Дослідження таких збурень є однією з найактуальніших фундаментальних проблем фізики атмосфери і геокосмосу, що визначається цілою низкою причин. По-перше, в геокосмічному середовищі постійно присутні збурення, у тому числі і хвильової природи. По-друге, хвильові збурення відіграють одну з головних ролей в переносі енергії й імпульсу з нижньої атмосфери в середню і верхню атмосферу, тобто відповідають за взаємодію оболонок Землі (літосфери,

атмосфери, іоносфери та магнітосфери). Далі, хвильові збурення генеруються під час дії високоенергійних природних і антропогенних джерел, до яких належать викиди корональної маси, геокосмічні бурі, землетруси, виверження вулканів, циклони, старту та польоти ракет, потужне випромінювання тощо. Крім того, ці збурення є результатом і індикатором варіацій як атмосферної, так і космічної погоди. Нарешті, хвильові збурення суттєво впливають на чутливість і точнісні характеристики систем телекомунікації, радіонавігації та радіолокації, які встановлені, в тому числі, на космічних апаратах і супутниках, а також на рух космічних об'єктів.

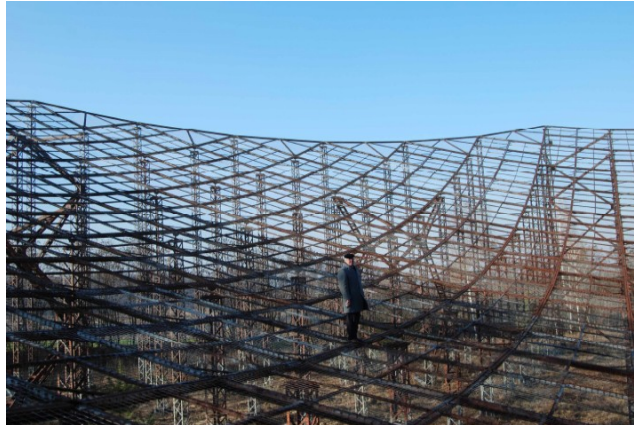


Рис. 19. Зайшовши на полотно антени, можна відчути всю міць цієї унікальної споруди



Рис. 20. Провідні інженери О. І. Поліваний і М. І. Палій за пультом радіопередавального пристрою

Постійно діюча двочастотна GNSS (Global Navigation Satellite System) базова станція, що встановлена в обсерваторії Інституту іоносфери, приймає сигнали супутників GPS та ГЛОНАСС. Аналізуючи затримки цих сигналів, що обумовлені проходженням їх через іоносферу, можна отримувати оцінки повного вмісту електронів (Total Electron Content, TEC). Станція побудована на базі плати приймача сигналів GNSS, розробленої NovAtel Inc. (м. Калгарі, Канада), що є одним із світових лідерів з розробки, виробництва та впровадження компонентів та комплексів, пов'язаних з GNSS.

Якість іонозондових досліджень іоносфери в обсерваторії Інституту іоносфери постійно покращується завдяки впровадженню нового апаратного та програмного забезпечення методу вертикального зондування. У даний час проводяться роботи з модернізації та введення в режим безперервних вимірювань сучасного іонозонду VISRC2, який побудовано за технологією Software-Defined Radio (SDR) із використанням системи Universal Software Radio Peripheral (USRP), розробленої Ettus Research (National Instruments, м. Остін, Техас, США).

Впроваджуються нові режими роботи радарів НР. Так, запропоновано і реалізовано методику вимірювання параметрів НР сигналу для дослідження нижньої іоносфери, яка

передбачає одночасне використання двох антен, спрямованих в zenit, одна з яких нерухома, діаметром 100 м працює на передачу потужного зондуєчого сигналу і прийом слабкого НР сигналу, а інша (повноповоротна, діаметром 25 м) – лише на прийом НР сигналу. При цьому усувається вплив антенного комутатора з газонаповненими розрядниками на вимірювані параметри НР сигналу та іоносфери.

З метою підвищення точності вимірювання параметрів іоносфери розроблено та впроваджено підсистему прийому, запису й обробки сигналу на проміжній частоті, яка реалізує запропонований спосіб кореляційної обробки НР сигналу і дозволяє позбутися недоліків, властивих системам з фіксованим алгоритмом обробки, виключити вплив низки апаратних факторів на точність вимірювання, розширити можливості радара НР, апробувати і використовувати різні алгоритми обробки, що найбільш прийнятні для конкретних умов вимірювань.



Рис. 21. Співробітники Інституту іоносфери в Іоносферній обсерваторії (2017 р.)

Наукові співробітники Інституту іоносфери та аспіранти спільно з вченими Радіоастрономічного інституту НАН України та Національним антарктичним науковим центром України проводять глобальні дослідження геокосмосу. Такі ж дослідження за допомогою самих різних радіофізичних методів і засобів, включаючи методи некогерентного розсіяння, вертикального зондування і просвічування іоносфери, проводяться спільно з японськими, американськими і європейськими вченими. Освоюються методики і алгоритми обробки інформації, отриманої за допомогою світових обсерваторій і розробляється відповідне програмне забезпечення.

Нижче наведено перелік ряду основних робіт, що відображають досягнення інституту. Загальне керівництво здійснювали проф. В. І. Таран (до березня 2009 р.) і проф. І. Ф. Домнін (з квітня 2009 р.).

– В цілому, отримано велику кількість експериментальних даних упродовж більш ніж трьох циклів сонячної активності. Виявлена залежність параметрів іоносфери над Харковом від висоти, часу дня, сезону, сонячної та геомагнітної активностей. Вперше отримано систематичні дані про середньоширотну іоносферу центральноєвропейського регіону. На базі даних харківського радара НР за період 1986–2018 рр. розроблено напівемпіричну модель середньоширотної іоносфери (CERIM ION).

– Вперше було виявлено іоносферні ефекти, які свідчать про збурення в іоносфері, що викликаються потужними наземними вибухами, стартами потужних ракет і високочастотним нагрівом іоносфери на глобальних відстанях. Виявлено також швидкі варіації параметрів області F іоносфери, які впливають на точнісні характеристики загоризонтних радіолокаційних станцій.

– Зареєстровано зміни параметрів іоносфери під впливом потужного короткохвильового випромінювання та дрейф штучно збуреної області іоносфери.

– Виявлено ефекти відмінності в поведінці іонів водню (як і інших параметрів) в іоносфері над Україною й американським континентом; геліофізичні ефекти впливу магнітосполученої області (для Харкова – поблизу о. Мадагаскар) на параметри іоносфери над Україною; ефекти динамічних процесів в іоносферній плазмі; ефекти впливу сонячного термінатора. Виявлено, що в умовах низької сонячної активності для всіх сезонів концентрація термосферного водню до 2–3 разів більша за прогнози міжнародної моделі атмосфери NRLMSISE-00.

– Вперше знайдено, що концентрація атомарного водню у термосфері Землі є щонайменше вдвічі більшою за загально визнані оцінки, зроблені у середині 1970-х рр. на базі спостережень за допомогою американських супутників Atmospheric Explorer. На підставі цього відкриття запропоновано тлумачення низки доти нерозв'язаних проблем дослідження навколосферного плазмового середовища (зокрема, проблеми відновлення плазмосфери після потужних геокосмічних бур та феномену нічного збільшення концентрації електронів в умовах низької сонячної активності).

– Виявлено особливості висотно-часових варіацій іоносферних параметрів під час сонячних затемнень за різним станом космічної погоди.

– Проаналізовано вплив геомагнітних бур різної потужності на іоносферні параметри, динамічні та теплові процеси в іоносфері. Вперше встановлено, що слабкі геокосмічні бурі здатні істотно змінювати взаємодію між іоносферою та плазмосферою. Досліджено механізми та прояви цих змін в середніх широтах.

– Науково-технічними досягненнями є розробка, впровадження та модернізація унікальних високопотужних і прецизійних радіотехнічних систем радарів НР, нагрівного стенду, спеціалізованих пристроїв обробки інформації, введення в роботу сучасного цифрового іонозонду, двочастотної GNSS (Global Navigation Satellite System) базової станції з метою вимірювання параметрів іоносфери методом просвічування з використанням супутникових GPS і ГЛОНАСС сигналів, розробка алгоритмів і програм обробки НР сигналу та інтерпретація вимірюваних параметрів іоносфери.

Значний науковий внесок в ці роботи зробили професори, доктори наук: В. І. Таран, І. Ф. Домнін, Є. В. Рогожкін, Л. Ф. Черногор, В. О. Пуляєв, Т. О. Скворцов; кандидати наук: М. П. Маглеваний, Ю. Г. Гукасов, О. О. Загорін, В. М. Лисенко, Л. Я. Ємельянов, Д. А. Дзюбанов, Ю. І. Под'ячий, М. В. Ляшенко, Т. Г. Живолуп, Д. В. Котов, С. В. Панасенко, В. П. Бурмака, С. О. Пазюра, О. В. Богомаз, С. В. Кацко, В. В. Барабаш; заступники директора А. М. Грідін і В. К. Боговський; головні інженери В. М. Івченко, І. Б. Склярів і Я. М. Чепурний; керівники лабораторій, груп та секторів: О. І. Григоренко, Ф. О. Маєнко, В. І. Головін, А. М. Смірнов, М. О. Смагло, О. Д. Коваль, А. Ф. Кононенко, В. В. Дівавін, С. В. Черняєв, В. Г. Замковий; наукові співробітники Л. П. Гончаренко, С. В. Грінченко, А. Є. Мірошніков, Д. О. Іскра; провідні інженери: О. І. Поліваний, М. І. Палій, Г. М. Тіняков, В. М. Парфьонов, С. В. Піддубний; інженери В. П. Курисько, М. М. Паун, В. А. Лазарев, О. І. Стаховська, Г. В. Болібок, Н. М. Підгурська. Діяльність заступника директора з фінансово-адміністративних питань Л. О. Коптяєвої, головного бухгалтера О. В. Буднік, завідуючого експлуатаційного відділу В. О. М'яло, провідного інженера-енергетика І. В. Зикіна, провідного інженера відділу кадрів С. П. Мокрія, робітника вищої категорії М. М. Шевченка і багато інших також сприяла науковим досягненням інституту.

Упродовж останнього десятиліття співробітництво із зарубіжними вченими успішно продовжується і розвивається. Інститут проводить сумісні експерименти з установками НР США, а також радарми НР і потужним нагрівним стендом Європейської Асоціації радарів некогерентного розсіяння (EISCAT), що розташовані на території скандинавських країн. У цих експериментах виявляються широтні та довготні ефекти в іоносфері. Молоді вчені Інституту іоносфери брали участь в експериментах безпосередньо на установках НР у Норвегії та Фінляндії.



Рис. 22. Представниці фінансово-адміністративних підрозділів на суботнику в Іоносферній обсерваторії



Рис. 23. Молоді вчені Інституту іоносфери на стажуванні в обсерваторії Арктичного університету Норвегії, м. Тромсьо

У рамках міжнародного договору про співробітництво між Інститутом іоносфери, НТУ «ХП» та Арктичним університетом (Норвегія) Інститут іоносфери з 2012 р. брав активну участь у виконанні грантів: СРЕА- 2012/10021 – Norwegian-Ukrainian cooperation aimed to sustainable development of the education process in geospace researches; СРЕАЛА-2014/10001 – Harmonization of the Norwegian-Ukrainian educational activities in geospace researches. У 2012–2015 рр. шестеро аспірантів і один викладач кафедри «Радіоелектроніка» НТУ «ХП» пройшли стажування в Арктичному університеті Норвегії. У цей же період Інститутом іоносфери спільно з НТУ «ХП», Радіоастрономічним інститутом НАН України і Арктичним університетом Норвегії проведено дві Міжнародні школи-конференції для молодих вчених (Алушта (Україна), 2013 р., Тромсьо (Норвегія), 2014 р.).



Рис. 24. Учасники науково-практичної школи-конференції «Remote Radio Sounding of the Ionosphere» (ION-2014) в обсерваторії EISCAT (м. Тромсьо, Норвегія)

У рамках міжнародного співробітництва Інститут іоносфери бере участь у виконанні таких програм: Грант від програми VarSITI Наукового комітету з сонячно-земної фізики SCOSTEP (2017 р.), Програма співробітництва задля прогресу наук про Землю (Cooperative Programs for the Advancement of Earth System Science) Університетської корпорації атмосферних досліджень (UCAR) США, Короткострокова програма наукового співробітництва (Short-term Research Collaboration Program) Національних центрів прогнозування навколишнього середовища (NCEP) Національної океанічної та атмосферної адміністрації (NOAA) США (2018 р.), Програма Національного аерокосмічного агентства США для запрошених дослідників-геліофізиків (NASA Heliophysics Guest Investigators Program) (2019 р.). Програма “Coordinated observations of light ions and TIDs with Shigaraki MU and Kharkiv IS radars” (Японія). НДР “Improving the crosssectional model for the F2- region basic reactions of the ionosphere using measured cross-section data (Турція)” тощо.



Рис. 25. Співробітниця Інституту іоносфери, аспіранти кафедри «Радіоелектроніка» М. О. Шульга і К. Д. Аксьонова з головним розробником міжнародної моделі іоносфери IRI д-ром Дітером Біліцей на науково-практичному семінарі «International Reference Ionosphere 2019 Workshop (A COSPAR Capacity - Building Workshop)» (м. Нікосія, Кіпр).

До 2014 р. були наукові зв'язки Інституту іоносфери з Інститутом сонячно-земної фізики СО РАН (Іркутськ), Науково-дослідним радіофізичним інститутом (НІРФІ) (Н. Новгород) та Інститутом іоносфери Республіки Казахстан (Алма-Ата), проводилися спільні експерименти.

Нині науковці Інституту іоносфери активно співпрацюють із вченими Інституту фізики атмосфери (Чехія), Королівського метеорологічного інституту (Бельгія), Університету Джорджа Мейсона та Массачусетського технологічного інституту (США), Інституту геофізики та Центру космічних досліджень Польської академії наук (Польща), Університету Фредеріка (Кіпр), Університету Кіото (Японія), Nagoya University (Японія), Mus Alparslan University (Турція) тощо.

Іоносферну обсерваторію інституту неодноразово відвідували вчені України, США, Росії, Казахстану, Великобританії, Норвегії, Фінляндії, Турції. Вони брали участь у конференціях і семінарах, які проводив Інститут іоносфери. Зокрема, Інститут іоносфери і його експериментальну обсерваторію відвідали вчені з EISCAT – професор Університету Уельсу (Великобританія) Ф. Вільямс (голова наукового консультативного комітету асоціації EISCAT, член Національної асамблеї Уельсу), директор EISCAT Е. Турунен, проф. А. Брекке і д-р К. Каурісті, проф. Сйсар Ла Ноз (Університет Тромсьо, Норвегія). Міжнародна наукова громадськість високо оцінила експериментальні установки та наукові досягнення інституту.

Науковці Інституту іоносфери, в свою чергу, безпосередньо брали участь в міжнародних школах, конференціях і симпозиумах. Географія широка: США, Росія, Норвегія, Фінляндія, Великобританія, Італія, Польща, Чехія, Іспанія, Канада, Австрія, Бельгія, Китай, Японія, Кіпр тощо. Результати, одержані вченими Інституту іоносфери сумісно з зарубіжними колегами, було представлено на багатьох міжнародних конференціях високого рівня.



Рис. 26. Турецькі вчені із співробітниками Інституту іоносфери на фоні антени іонозонда і на науковому семінарі



Рис. 27. Директор обсерваторії EISCAT Е. Турунен, проф. А. Брекке і д-р К. Каурісті з вченими Інституту іоносфери



Рис. 28. Учені обсерваторії EISCAT та Інституту іоносфери на науковому семінарі в Іоносферній обсерваторії Інституту іоносфери (2010 р.)

Інститут іоносфери бере участь у науково-освітніх проектах за програмами Еразмус+, «Наука заради мира і безпеки» й Українського науково-технологічного центру.

В Інституті іоносфери протягом 2009–2019 рр. успішно захищено дев'ять кандидатських дисертацій, двома науковцями отримано звання старшого наукового співробітника за спеціальністю «Радіофізика», двома науковцями отримано звання доцента. Наразі найбільш активними і успішними науковцями інституту є учений секретар інституту М. В. Ляшенко (вивчення процесів в іоносфері та розробка її моделі), С. В. Панасенко (вивчення хвильових процесів в іоносфері), Д. В. Котов (вивчення іонного складу і процесів у верхній іоносфері), Л. Я. Смелянов (впровадження нових режимів роботи радарів НР і апаратури, вивчення динаміки іоносфери), О. В. Богомаз (впровадження нової апаратури, алгоритмів та програм обробки), І. Ф. Домнін (загальне керівництво та участь у наукових проектах), Я. М. Чепурний (проведення експериментальних робіт). Наразі наукові дослідження в інституті успішно проводять чотири аспіранти – А. Є. Мірошніков, М. О. Шульга, К. Д. Аксьонова та В. В. Колодяжний. Усі вони є випускниками кафедри «Радіоелектроніка» НТУ «ХП».

На базі Інституту іоносфери і кафедри космічної радіофізики радіофізичного факультету ХНУ імені В. Н. Каразіна з метою підвищення ефективності спільних досліджень атмосфери і геокосмосу створена Міжвідомча науково-дослідна лабораторія радіофізичних досліджень атмосфери і геокосмосу.

Спільно з НТУ «ХП» створено Науково-навчальний центр дистанційного радіозондування іоносфери «ІОН», який здійснює теоретичні і експериментальні дослідження, спрямовані на вдосконалення існуючих радіофізичних методів дослідження геокосмосу.

Багато друкованих праць співробітників інституту представлено в вітчизняних та зарубіжних наукових виданнях. Щорічно видається збірник «Радіофізика та іоносфера» Вісника НТУ «ХП» з результатами наукових досягнень Інституту.

Завдяки провідній ролі Інституту іоносфери в дослідженні геокосмосу, на базі Інституту з 2010 р спільно з НТУ «ХП» проводилася конференція молодих вчених «Дистанційне радіозондування іоносфери» («ІОН»), в якій брали участь представники молодого покоління вчених України та інших країн.

Діяльність Інституту іоносфери тісно пов'язана з навчальним процесом і підготовкою фахівців на кафедрі «Радіоелектроніка» НТУ «ХП». Участь в навчальному процесі провідних вчених Інституту іоносфери, використання унікального науково-дослідного

комплексу в Іоносферній обсерваторії для студентських практикумів і виконання дипломних проектів з наукової тематики Інституту іоносфери дозволили істотно підвищити рівень підготовки випускників кафедри.



Рис. 29. Студенти кафедри радіоелектроніки НТУ «ХПІ» на практичних заняттях в Іоносферній обсерваторії Інституту іоносфери

Наукова діяльність інституту неодноразово відзначалася. Найбільш вагомими заохоченнями: премія Ради Міністрів СРСР (1989 р., п'ять науковців), премії Президента України для молодих вчених в 2006 р. (три науковця) та в 2010 р. (два науковця), а також стипендії Кабінету міністрів України для молодих вчених, відзнака «За наукові досягнення» МОН України, почесні грамоти НАНУ і МОНУ, грамоти Президії НАНУ та Харківської обласної ради. Молоді вчені неодноразово були переможцями щорічного обласного конкурсу «Найкращий молодий науковець Харківщини».



Рис. 30. Інститут іоносфери НАН і МОН України

Сьогодні Інститут іоносфери успішно проводить дослідження геокосмосу в спокійних геліогеофізичних умовах, а також під час унікальних подій в навколишньому середовищі.

Таким чином, унікальні наукові дослідження, розпочаті в 1960-х рр. у невеличкій лабораторії в складі ХПІ, дали можливість їй перерости в потужну структуру академічного рівня – Інститут іоносфери НАН і МОН України, який є одним із провідних у галузі дослідження іоносфери в Україні і світі.