DOI
UDC 373/378(447):004.9»19/20»:351.746:316.77-049.5(477)

CHAPTER 13.
FORMATION AND DEVELOPMENT OF INTEGRATED COMPUTER SYSTEMS IN EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC INSTITUTIONS OF UKRAINE (LATE 20th – EARLY 21st CENTURY) AS A FACTOR IN ENSURING STATE INFORMATION SECURITY

Natalia PASICHNYK
Doctor of Historical Sciences, Professor, Deputy Head of the Department for Organization of Scientific Activity – Head of the Division for Organization of Research Work, Donetsk State University of Internal Affairs
(1 Perspektyvna St., Kropyvnytskyi, Ukraine)
pasichnyk1809@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-0923-9486

Renat RIZHNIAK
Doctor of Historical Sciences, Professor, Head of the Department of General Legal Disciplines, Donetsk State University of Internal Affairs
(4 Khyzhniaka St., Kropyvnytskyi, Ukraine)
rizhniak@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-1977-9048

Abstract: The monograph examines the historical, scientific-technical, and organizational aspects of the formation and evolution of computerized information environments in higher education institutions and research organizations of Ukraine in the late 20th – early 21st century. The prerequisites for the creation of automated data processing systems, the development of telecommunication networks, distributed computing environments, and academic information resources that enabled the formation of a unified digital space in the field of science and education are analyzed. Particular attention is paid to the establishment of national academic and research networks, grid infrastructure, supercomputing centers, and their role in the development of modern information technologies. It is shown that the academic and research environment has become one of the key sources for the formation of the national information infrastructure and for training specialists in information technologies and cybersecurity. The significance of computer networks and distributed computing systems for the preservation of scientific data, support of research activities, distance education, and international cooperation is determined. The impact of digitalization on increasing the resilience of state information resources under conditions of global threats and wartime challenges is revealed. It is substantiated that the development of information and telecommunication infrastructure in the academic and research sphere is an important factor in strengthening national security and technological independence of the state. Current trends and prospects for the further

development of high-performance computing systems, network technologies, and cybersecurity tools in Ukraine are outlined.

Keywords: telecommunication networks, grid technologies, cybersecurity, digital infrastructure, scientific resources, high-performance computing, national security.

ФОРМУВАННЯ І РОЗВИТОК ІНТЕГРОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ У ЗАКЛАДАХ ОСВІТИ Й НАУКИ УКРАЇНИ (КІНЕЦЬ XX – ПОЧАТОК XXI СТ.) ЯК ЧИННИК ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ

Анотація: У монографії досліджено історичні, науково-технічні та організаційні аспекти становлення і еволюції комп'ютеризованих інформаційних середовищ у вищій школі та наукових установах України наприкінці XX – на початку XXI століття. Проаналізовано передумови створення автоматизованих систем обробки даних, розвиток телекомунікаційних мереж, розподілених обчислювальних середовищ і науково-освітніх інформаційних ресурсів, що забезпечили формування єдиного цифрового простору у сфері науки й освіти. Особливу увагу приділено створенню національних науково-освітніх мереж, грід-інфраструктури, суперкомп'ютерних центрів та їх ролі у розвитку сучасних інформаційних технологій. Показано, що науково-освітнє середовище стало одним із ключових джерел формування державної інформаційної інфраструктури та підготовки фахівців у галузі інформаційних технологій і кіберзахисту. Визначено значення комп'ютерних мереж і розподілених обчислювальних систем для збереження наукових даних, підтримки досліджень, дистанційної освіти та міжнародної співпраці. Розкрито вплив цифровізації на підвищення стійкості державних інформаційних ресурсів в умовах глобальних загроз і воєнних викликів. Обґрунтовано, що розвиток інформаційно-телекомунікаційної інфраструктури у науково-освітній сфері є важливим чинником зміцнення національної безпеки та технологічної незалежності держави. Окреслено сучасні тенденції та перспективи подальшого розвитку високопродуктивних обчислювальних систем, мережевих технологій і засобів кіберзахисту в Україні.

Ключові слова: телекомунікаційні мережі, грід-технології, кіберзахист, цифрова інфраструктура, наукові ресурси, високопродуктивні обчислення, національна безпека.

Вступ. У другій половині XX – на початку XXI століття стрімкий розвиток інформаційних технологій став одним із ключових чинників трансформації суспільства, державного управління, науки та освіти. Формування інформаційного суспільства супроводжується зростанням ролі комп'ютерних систем, мережевих технологій та автоматизованих інформаційних комплексів,

що забезпечують обробку, збереження та передачу даних. У цих умовах заклади вищої освіти та академічні установи відіграють особливу роль, оскільки вони не лише є споживачами інформаційних технологій, а й виступають центрами їх створення, впровадження та поширення.

В Україні процес формування та розвитку інтегрованих комп'ютерних систем у закладах вищої освіти й академічних установах розпочався ще в період другої половини XX століття та був тісно пов'язаний із загальносвітовими тенденціями інформатизації, розвитком обчислювальної техніки, телекомунікацій і автоматизованих систем управління. Водночас цей процес мав власні особливості, зумовлені політичними, економічними та науково-технічними умовами функціонування держави, трансформаціями освітньої та наукової систем, а також переходом від централізованої радянської моделі до сучасної незалежної української держави.

На сучасному етапі інтегровані комп'ютерні системи в освітньому та науковому середовищі набувають не лише технологічного, але й безпекового значення. Розвиток глобальних інформаційних мереж, цифровізація управління, використання електронних баз даних, дистанційних освітніх платформ і наукових інформаційних ресурсів створюють нові можливості, але водночас породжують нові загрози, пов'язані з кібербезпекою, захистом інформації, збереженням наукових даних, забезпеченням стабільності функціонування інформаційної інфраструктури. У цьому контексті заклади вищої освіти та академічні установи виступають важливими елементами національної системи інформаційної безпеки, оскільки саме в них формуються кадрові, наукові та технологічні ресурси держави.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю комплексного історико-наукового та безпекового аналізу процесів формування і розвитку інтегрованих комп'ютерних систем у закладах вищої освіти й академічних установах України, визначення їх ролі у забезпеченні інформаційної безпеки держави, а також виявлення закономірностей і особливостей цього процесу у

другій половині XX – на початку XXI століття. Незважаючи на наявність окремих праць, присвячених історії інформатизації, розвитку обчислювальної техніки, систем управління освітою та науки, питання становлення саме інтегрованих комп'ютерних систем у контексті інформаційної безпеки досліджено недостатньо.

Метою монографії є комплексне дослідження процесу формування та розвитку інтегрованих комп'ютерних систем у закладах вищої освіти й академічних установах України у другій половині XX – на початку XXI століття та визначення їх значення як чинника забезпечення інформаційної безпеки держави.

Для досягнення поставленої мети передбачено розв'язання таких основних завдань:

- проаналізувати передумови створення автоматизованих та комп'ютерних систем у науково-освітній сфері;
- дослідити етапи розвитку інтегрованих комп'ютерних систем у закладах вищої освіти та академічних установах України;
- визначити особливості їх функціонування в умовах інформатизації суспільства;
- розкрити роль цих систем у формуванні національної інформаційної інфраструктури;
- з'ясувати значення інтегрованих комп'ютерних систем для забезпечення інформаційної безпеки держави;
- окреслити сучасні тенденції та перспективи розвитку інформаційних систем у науково-освітній сфері в умовах глобальних безпекових викликів.

Об'єктом дослідження є процес інформатизації закладів вищої освіти та академічних установ України.

Предметом дослідження є формування та розвиток інтегрованих комп'ютерних систем у закладах вищої освіти й академічних установах України

та їх роль у забезпеченні інформаційної безпеки у другій половині XX – на початку XXI століття.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання у подальших дослідженнях з історії науки і техніки, інформаційної та кібербезпеки, державного управління у сфері освіти і науки, а також у навчальному процесі закладів вищої освіти за спеціальностями, пов'язаними з міжнародною та інформаційною безпекою, інформаційними технологіями та управлінням.

1. Розвиток науково-освітніх мереж МОН України та телекомунікаційних мереж обміну даними наукових досліджень НАН України в другій половині XX – на початку XXI століття.

В кінці 50-х років у Обчислювальному центрі АН УРСР була реалізована ідея щодо дистанційної обробки інформації на ЕОМ «Київ», що була передана радіоканалом з дослідницького судна, яке перебувало у водах Атлантики *(Сергієнко, 1998), (Сергієнко, 2008)*. Крім того, у 1960 році вперше в світі за допомогою цієї ж ЕОМ було здійснене дистанційне управління (на ділянці у 500 км) технологічними процесами у конверторному цеху Дніпродзержинського металургійного комбінату.

Еволюція зародження ідей щодо створення в Україні телекомунікаційних мереж передачі даних бере свій початок у 60-х роках XX століття і пов'язана з іменем видатного ученого двадцятого століття, автора фундаментальних праць у галузі кібернетики, математики й обчислювальної техніки Віктора Михайловича Глушкова, яким у 1962 р. вперше була усвідомлена проблема ефективного використання обчислювальної техніки у народному господарстві країни *(Малиновський, 1995), (Хоменко, 1998)*. Під керівництвом В.М. Глушкова колективом спеціалістів був створений ескізний проект Державної мережі обчислювальних центрів (ДМОЦ). Передбачалося побудувати близько 100 головних і понад 10 тисяч районних центрів для безперервної обробки, аналізу економічної інформації і прийняття обґрунтованих рішень. Ця система могла в

свій час якщо не випередити рівень аналогічних розробок у США, то, принаймні, йти з ними на рівні розвитку того, що відомо зараз як Інтернет. Однак цей проект так і не був реалізований, оскільки він не знайшов відповідної підтримки у вищого керівництва країни. Крім цього проекту був ще один з ним пов'язаний – Загальнодержавну автоматизовану систему збору й обробки інформації (ЗДАС) В.М. Глушков вважав головною справою свого життя *(Малиновський, 1995), (Хоменко, 1998)*. По суті йшлося про створення науково-технічної бази керування економікою країни й організацію інформаційної індустрії, аналогічної тій, яка нині успішно функціонує у провідних країнах Заходу. Безсумнівно, В.М. Глушков розумів, що своїм задумом він кидає виклик звичним канонам керування господарством країни. Тому вчений терпляче пояснював: ЗДАС – лише інструмент, у будь-якому разі, усе вирішуватимуть люди, відповідно до своїх посад, переконань і всіх інших, суто людських якостей. Але і цього разу величезна робота науковця була згорнута.

Лише в середині 70-х років Інститут кібернетики АН УРСР здійснює реальне наукове керівництво розробкою Республіканської автоматизованої системи (РАС УРСР), а також розробкою загальносистемних питань і математичного забезпечення ДМОЦ (В.М. Глушков, А.А. Стогній та ін.) *(Ukrainian National Grid)*. Спільно з рядом московських організацій Інститут кібернетики проводить роботу з об'єднання в експериментальну мережу трьох обчислювальних центрів в Києві та Москві. В цей період було створено ряд технічних засобів, необхідних для організації зв'язку в мережі. Серед них – система передачі дискретної інформації СПІН з підвищеними техніко-економічними параметрами *(А.М. Лучук та ін.) (Лучук, 1978)*. Значне місце в розробці ДМОЦ, за свідченнями самого В.М. Глушкова *(Глушков, 1977)*, займали Обчислювальні центри колективного користування, що використовували в якості центральної машини відповідно переобладнану ЕОМ БЕСМ-6, а в якості терміналів – або прості засоби (телетайпи або алфавітно-цифрові дисплеї), або «інтелектуальні» термінали на базі міні ЕОМ МИР-2.

Отже, ідеї вітчизняного прообразу сучасних телекомунікаційних обчислювальних мереж сягають 60-70-х років XX століття, починаючи з розробок В.М. Глушкова та його учнів.

Створення та первинний розвиток науково-освітніх мереж в Україні бере свій початок у 1992 році з проекту UARNet (Ukrainian Academic and Research Network) – Українська академічна і дослідницька мережа (Історія Інституту фізики конденсованих систем), що був заснований на базі Інституту фізики конденсованих систем НАН України.

Історія Інституту фізики конденсованих систем НАН України бере свій початок з квітня 1969 року, коли у Львові молодим професором, завідувачем кафедри теоретичної фізики Львівського державного університету ім. І.Я. Франка І.Р. Юхновським був заснований відділ статистичної теорії конденсованих станів київського Інституту теоретичної фізики (ІТФ) АН УРСР. Штат відділу поповнювався талановитими випускниками Львівського університету. 1980 року після створення нових наукових підрозділів – відділу теорії розчинів (завідувач д.ф.-м.н. М.Ф. Головко) та відділу квантової статистики (завідувач д.ф.-м.н. І.О. Вакарчук) – вся структура переросла у Львівське відділення статистичної фізики ІТФ АН УРСР. Нарешті, згаданою вище Постановою Президії АН УРСР від 7 вересня 1990 року на базі Відділення створюється Інститут фізики конденсованих систем, що став першим академічним інститутом з фундаментальних досліджень з фізики в Західній Україні.

З початку 1990-х років в інституті почав активно розвиватись новий напрямок у статистичній фізиці – розробка та розвиток аналітичних методів статистичної фізики та комп'ютерне моделювання фізико-хімічних процесів у твердих тілах та рідинах. У результаті, 1992 року започатковано проект UARNet – Ukrainian Academic and Research Network – Українська академічна і дослідницька мережа, в рамках якого 1993 року було здійснено перше в Україні підключення до глобального Інтернету некомутованими лініями зв'язку (Ріжняк,

2018). Того ж року вперше в Україні спільно зі Шведською космічною корпорацією (це було пряме включення в «NorduNet» – університетську мережу Скандинавських країн) UARNet побудував власний супутниковий канал зв'язку до глобальних інформаційних мереж та забезпечив своїх користувачів якісним доступом до ресурсів Інтернет. А 1994 року UARNet був зареєстрований Європейським мережевим координаційним центром (RIPE) як автономна система (AS 3255). Це дало можливість оперативно використовувати наявні ресурси зовнішніх каналів для оптимальної маршрутизації IP-трафіку користувачів. RIPE також зареєстрував UARNet як Інтернет-реєстратора, що дало можливість забезпечувати користувачів достатньою кількістю IP-адрес. 1995 року в інституті створено окрему лабораторію інформаційних технологій та комп'ютерних мереж *(Процикевич, 2012)*. Згодом, Постановою Президії НАН України № 405 від 20 листопада 1998 року на базі лабораторії інформаційних технологій і комп'ютерних мереж інституту було утворене Державне підприємство Науково-телекомунікаційний центр «Українська академічна і дослідницька мережа» ІФКС НАН України (надалі – підприємство UARNet).

Враховуючи, що основними клієнтами спочатку проекту, а згодом підприємства UARNet були заклади вищої освіти, структури НАН України та освітні організації (навіть деякі служби ООН) *(Процикевич, 2014)*, то є підстави вважати, що створення та первинний розвиток науково-освітніх мереж в Україні бере свій початок з 1992 року саме з проекту UARNet.

Майже у той же час, в 1994 році, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ») розгортав організаційну діяльність щодо заснування, створення та адміністрування Харківської міської науково-освітньої комп'ютерної мережі. Роботи були розпочаті, коли НТУ «ХПІ» взяв в оренду міжміський канал Харків–Львів до центрального вузла Української академічної і дослідницької мережі (UARNet) *(Інформаційні технології в НТУ «ХПІ»)*. Вже восени наступного року по лінії безпосереднього зв'язку до університету підключився перший навчальний заклад Харкова –

Харківський національний автомобільно-дорожній університет. Саме з цього часу бере відлік історія науково-освітньої комп'ютерної мережі в Харкові. З кінця 1995 року розпочалася співпраця НТУ «ХПІ» з МГУ ім. М.В. Ломоносова, на базі якого в той час вже функціонував центральний вузол федеральної університетської комп'ютерної мережі Росії (RUNNet). У 1996 році НТУ «ХПІ» взяв в оренду два виділених аналогових канали Харків–Москва і, таким чином, отримав безпосередній вихід до російської науково-освітньої мережі RUNNet та міжнародних мереж. Пропускна здатність кожного каналу була всього 28,8 Кб/с, але для того часу це були найпотужніші зовнішні канали виходу в Інтернет в Харкові. Саме в період, починаючи з другої половини 1996 року до середини наступного року, і була в основному сформована міська науково-освітня мережа; протягом року до неї було підключено більше десяти наукових і навчальних установ міста. Того ж 1996 року НТУ «ХПІ» отримав ліцензію Міністерства зв'язку України на надання послуг електрозв'язку (тоді послуги Інтернет підлягали ліцензуванню) та зареєстрував у RIPE автономну систему (AS 6807) і, таким чином, отримав статус професійного провайдера послуг Інтернет. А в 1997 році університет взяв у оренду ще два міжміські канали – Харків–Київ до вузла Інтернет-провайдера LuckyNet; вже 1998 року до вузла Інтернет НТУ «ХПІ» було підключено вже майже 20 науково-освітніх установ міста. Операційне керування Харківського міського сегменту мережі в 1997 році було передане акціонерному товариству (АТ) «Харків Онлайн» *(Ріжняк, 2012)*.

Паралельно з подіями у Львові та Харкові щодо створення регіональних науково-освітніх мереж розвивалися події у Києві – 1995 року Національний технічний університет України «КПІ» (НТУУ «КПІ») виграв конкурс за програмою «Темпус-Тасіс» на створення української інформаційної мережі в сфері науки і освіти за участю Аахенського технічного університету (Німеччина) та Університету «Дельфт» (Голландія). У травні 1996 року Міністерством освіти України була сформована ініціативна група щодо створення мережі національних даних для наукових і дослідницьких установ в Україні (UARDN).

Учасниками групи були представники провідних українських університетів, Міністерства освіти України та Академії наук України. Результатом роботи став документ «Програма створення Національної телекомунікаційної мережі установ науки і освіти», підписаний 24.06.1996 року. Протягом року проводилася досить широка робота щодо виконання цієї програми (семінари у Берліні (1996 рік), Менгерскірхені та Києві (1997 рік), міжнародна конференція «Комп'ютерні мережі в вищій освіті EduNet'97» у Києві (1997 рік)). Результатом стала спільна Постанова Президії Національної Академії наук України і Колегії Міністерства освіти України від 20 червня 1997 року за участі спеціалістів з провідних університетів і наукових установ Києва, Львова, Одеси, Харкова, Дніпропетровська, Донецька, а також організацій країн Європейської спільноти, зокрема учасників НАТО, про створення Асоціації користувачів телекомунікаційної мережі закладів освіти і науки України з координуючим «Центром Європейської інтеграції» в м. Києві. В основу створення мережі покладено концепцією, ухвалену міжнародною нарадою «Комп'ютерна мережа закладів вищої освіти і науки України» за участю представників Наукового відділу НАТО (24–26 квітня 1997, м. Київ) та міжнародною конференцією «Комп'ютерні мережі в вищій освіті» (26–28 травня 1997, м. Київ). Метою створення і діяльності Асоціації була координація дій та об'єднання зусиль членів Асоціації для сприяння створенню, розвитку та використанню єдиної національної науково-освітньої телекомунікаційної мережі України, для підвищення рівня освіти та науки, розвитку засад інформаційного суспільства, повноправного входження України в глобальний інформаційний простір і представництва інтересів Членів Асоціації в органах державної влади, а також в українських та міжнародних організаціях. Зазначимо, що з моменту заснування Асоціації завдання щодо створення та подальшого розвитку української науково-освітньої мережі були заявлені в Концепції Національної програми інформатизації, схваленої Законом України від 4 лютого 1998 р. № 75/98-ВР (також у постановах Верховної Ради та постановах Кабінету Міністрів України

«Про затвердження завдань національної програми інформатизації…» починаючи з 1998 року) та у Державній Програмі «Інформаційні та комунікаційні технології в освіті і науці» на 2006-2010 роки, що була затверджена Постановою Кабінету Міністрів України № 1153 від 7 грудня 2005 року *(Ріжняк, 2012)*.

Таким чином, на момент створення Асоціації користувачів телекомунікаційної мережі закладів освіти і науки в Україні функціонували три сегменти науково-освітньої мережі:

1) Київський міський сегмент в операційному керуванні Благодійного фонду «Міжнародний центр телекомунікацій KS-Net», що діяв при підтримці, зокрема, фондів Соросу ISF та OSI, НАН України та українського фізичного товариства;

2) Харківський міський сегмент в операційному керуванні ТОВ «Харків ОнЛайн», що тісно співробітничало з НТУ «ХПІ».

3) Західноукраїнський сегмент в операційному керуванні проекту UARNet на базі Інституту фізики конденсованих середовищ НАН України (м. Львів) *(Галаган, Домбругов, 2002)*.

У створенні загальноукраїнської інфраструктури та підключенні до неї в рамках проекту «Національна телекомунікаційна мережа закладів науки та освіти з виходом в Інтернет» (UARDN) *(URAN)* нових користувачів в Києві і регіонах полягало завдання Центра Європейської інтеграції (ЦЄІ), створеного в формі ТОВ і заснованого НАН України, НТУУ «КПІ» і Міжнародним університетом фінансів. 27 лютого 1998 року на засіданні загальних зборів Асоціації користувачів Української науково-освітньої мережі була затверджена нова офіційна назва мережі – УРАН (URAN – Ukrainian Research and Academic Network). Протягом 1999 року мережа УРАН будувалася за ієрархічним 4-рівневим принципом: 1-й рівень – головний центр в Києві; 2-й рівень – регіональні центри; 3-й рівень – вузли доступу в обласних центрах та окремих містах – значних науково-освітніх центрах; 4-й рівень – локальні мережі

організацій-користувачів. Регіональні центри були розташовані в науково-промислових центрах України – Києві (НТУУ «КПІ»), Харкові (НТУ «ХПІ»), Дніпропетровську (Національна гірнича академія України – НГАУ), Донецьку (Донецький державний технічний університет – ДДТУ), Одесі (Одеський державний політехнічний університет – ОДПУ), Львові (Національний університет «Львівська політехніка» – НУ «ЛП»). Головним центром було визначене Міністерство освіти та науки України *(Галаган, Домбругов, 2002)*. Станом на грудень 1999 року мережа УРАН володіла такими зовнішніми каналами зв'язку: наземний цифровий 64 Кбіт/с канал через Укртелеком (з можливим нарощуванням швидкості без зміни обладнання до 4Мбіт/с), супутниковий прийомний канал 256 Кбіт/с на InterPacket (з можливим нарощуванням швидкості без зміни обладнання до 4 Мбіт/с; у 2000 році канал був розширений до 512 Кбіт/с, а у березні 2001 року канал був виведений з експлуатації), паритетний канал зв'язку 115 Кбіт/с з KS-Net (наукова мережа міста Києва). У 2000 році швидкість наземного каналу була доведена до 256 Кбіт/с, а в 2001 році були введені в експлуатацію двосторонній супутниковий канал 1 Мбіт/с (SkyVision-Україна) та супутниковий канал 1,2 Мбіт/с (УкрСат). Крім того, Центр Європейської Інтеграції включився в Українську мережу обміну трафіком (UA-IX) на швидкості 100 Мбіт/с. У 2002 році були створені обласні вузли в Луганську (на базі Східнослов'янського національного університету ім. В.І. Даля), Сумах (на базі Сумського державного університету), Чернігові (на базі Чернігівського державного технологічного університету), Івано-Франківську (на базі Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу), Запоріжжі (на базі Запорізького національного технічного університету) та Сімферополі (на базі Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського).

У травні-червні 2002 року досягнуті домовленості про те, що АТ «Харків Онлайн» стає офіційним оператором мережі УРАН в Північно-Східному регіоні України, а державне підприємство Науково-телекомунікаційний центр

«Українська академічна і дослідницька мережа» Інституту фізики конденсованих систем НАН України (НТЦ UARNet), створене Постановою Президії НАН України № 405 від 20 листопада 1998 року на базі лабораторії інформаційних технологій і комп'ютерних мереж ІФКС НАН України, стає офіційним оператором УРАН в її Західному регіоні. Після підключення ще кількох вузлів у обласних центрах країни (Вінниця, Житомир, Рівне та ін.), у вересні 2002 року мережа УРАН мала структуру, зображену на рисунку 1.

Протягом 2003–2009 років в мережі УРАН послідовно відбувався перехід до волоконно-оптичної технології (CEF-технології) побудови каналів зв'язку *(Галаган та ін., 2009)* (уже в середині 2004 року мережа УРАН припинила використовувати супутникові технології передачі даних, перейшовши повністю на наземні).



Рис. 1. Структура мережі УРАН станом на вересень 2002 року

Серед переваг, яких набула науково-освітня мережа, що базувалася на CEF-інфраструктурі, слід відзначити:

- ✓ пропускна спроможність ліній зв'язку зросла до десятків Гбіт/с;
- ✓ з'явилася можливість легко проводити зміни мережевої топології;

✓ зросла ефективність економічних шляхів розподілу затрат на утримання;

✓ з'явилися можливості вільного вибору варіантів комплектації канальним активним обладнанням, його перестановок, модернізації, проектування, роботи з джерелами світла різних частот;

✓ використання саме первинної інфраструктури (так званого темного оптоволокна), на відміну від оренди потоків передачі даних у операторів електрозв'язку, стимулювало прогрес у науково-освітній мережі, дозволяло їй бути полігоном для апробації нових технологій, а не примушувало її йти на крок позаду від вже комерціалізованих технічних рішень.

Таким чином, станом на кінець 2009 року практично всі підключення користувачів до мережі УРАН були здійснені виключно на волоконно-оптичних лініях зв'язку *(Галаган та ін., 2009)*. У цей же період була реалізована ідея щодо підключення мережі УРАН до мережі GEANT – розвинутої пан-Європейської науково-освітньої мережі, що поєднувала національні науково-дослідні мережі Європи і нараховувала близько 30 мільйонів користувачів серед науково-дослідних та освітніх установ 40 країн континенту, що з'єднувалися з GEANT через національні мережі. Найближчий до України маршрутизатор знаходився у м. Познані (Польща) на технічному майданчику Польської науково-освітньої мережі PIONER.

Підключення мережі УРАН до GEANT впроваджувалось протягом трьох етапів починаючи з 2007 р. *(Галаган та ін., 2009)*. На першому етапі взаємоз'єднання (листопад 2007 року) забезпечувалося орендованим каналом зв'язку STM-1 (потік 155 Мбіт/с) Київ-Варшава (був орендований у ТОВ «АО КОМ»), який поєднував роутер УРАН у Києві та вузол мережі PIONER у Варшаві. Протягом року пропускна здатність цього каналу була вичерпана. В грудні 2008 року експлуатацію каналу до Варшави було зупинено і на другому етапі зв'язок забезпечила створена міжнародна волоконно-оптична лінія зв'язку 1 Гбіт/с до технічного майданчика мережі PIONER у Гребенному (Польща). З

українського боку зв'язок було реалізовано через волоконно-оптичний кабель Львів-Рава Руська-Гребенне, два оптичних волокна у якому були придбані, на той момент, уже Всеукраїнською асоціацією «Уран» (Асоціацію користувачів Української науково-освітньої телекомунікаційної мережі було перереєстровано в 2006 році на підставі Наказу Міністерства освіти і науки «Про створення Всеукраїнської Асоціації УРАН» від 13 березня 2006 року № 181 та за дозволом Антимонопольного комітету України згідно з Рішенням АМКУ від 5 жовтня 2006 року № 411-р як неприбуткову організацію; її засновниками стали ВНЗ України IV-го рівня акредитації, установи НАН та Академія педагогічних наук України (дивіться розділ «Установчий договір» *(Галаган та ін., 2008)*). На третьому етапі (2010 рік) волоконно-оптична лінія зв'язку Львів-Рава Руська-Гребенне була переведена на 10 Гбіт/с за технологією CEF та організоване включення у вузол мережі PIONER безпосередньо у Гребенному. Транспорт Гребенне-Познань до маршрутизатора GEANT забезпечувала мережа PIONER. Таким чином, на кінець 2010 року топологія науково-освітньої мережі УРАН мала вигляд, зображений на рисунку 2.

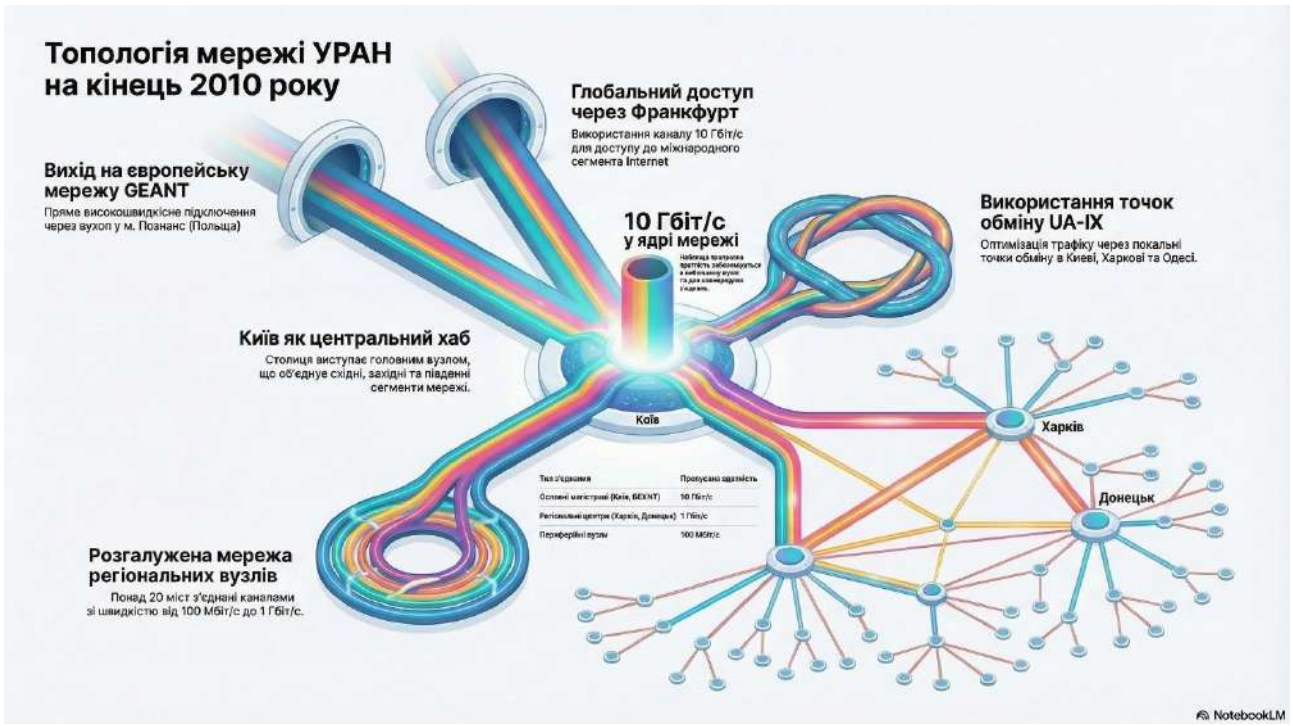

Рис. 2. Топологія мережі УРАН станом на кінець 2010 року.

Таким чином, створення Української науково-освітньої мережі УРАН дало можливість освітній та науковій спільноті України розпочати розв'язання таких важливих задач:

1. Створити середовище високошвидкісного доступу до інформації з метою вирішення найважливіших життєво необхідних для національної освіти завдань, цим самим вивівши освіту України на рівень близького і безпосереднього доступу до джерел знань і освітньої інформації на всій території України.

2. Розпочати розв'язання питань з приводу розвитку технологій та досліджень в галузі суперкомп'ютерів та грід-технологій, масової розосередженої обробки інформації *(Згуровський, Петренко, 2009)*.

3. Реалізувати можливість щодо реалізації доступу до світових електронних бібліотек, баз даних, наукових та освітніх порталів.

4. Кооперуватися науковим колективам українських вчених між собою та з науковцями Європи в проведенні спільних наукових досліджень в ключових галузях науки, техніки, технологій; проводити дистанційні лекції та відео конференції *(URAN)*.

5. Розпочати впровадження дистанційного навчання як у вищих, так і в загальноосвітніх навчальних закладах *(Блощинський, 2011)*.

Паралельно із процесами створення та розвитку науково-освітньої мережі УРАН наукові установи системи Національної Академії наук України розв'язували проблему створення власної високошвидкісної телекомунікаційної мережі обміну даними наукових досліджень. Розпорядженням Президії НАН України № 146 від 27.02.04 р. «Про організацію робіт за Програмою інформатизації НАН України» було затверджено концепцію Програми, завдання Програми на 2004-2008 роки, положення про Координаційну раду НАН України з питань інформатизації, призначено керівника Програми та його заступника, базову організацію з виконання Програми; нові завдання щодо інформатизації поставлені розпорядженням Президії НАН України № 111 від 16.03.10 р. «Про

організацію робіт за Програмою інформатизації НАН України на 2010-2014 роки». В межах Програми інформатизації НАН України з метою підвищення ефективності та якості проведення наукових досліджень за рішенням Комітету Верховної Ради України з питань науки і освіти № 106 від 30.06.2005 р. в системі Української академічної дослідницької мережі UARNet було побудовано Академічну мережу обміну даними (АМОД) НАН України (створена відповідно до Розпорядження Президії НАН України № 461 від 28.07.05 р.), яка об'єднала станом на 2011 рік 159 наукових установ усіх наукових центрів НАН та МОН України в Києві, Харкові, Донецьку, Дніпропетровську, Сімферополі, Одесі, Львові, Сумах та мала вихід до європейської мережі GEANT *(Сергієнко, 2008)*. Розглянемо детальніше еволюцію створення АМОД НАН України.

2004 рік можна назвати роком початку створення АМОД. Згідно Звіту про виконання робіт за проектами Програми інформатизації НАН України (Ріжняк, 2014) цього року створювався Київський фрагмент телекомунікаційної мережі обміну даних (МОД) НАН України для об'єднання в єдину інформаційну систему інститутів та установ м. Києва (установа-виконавець – Інститут фізики конденсованих систем НАН України) на базі мідних каналів зв'язку міської комунікаційної мережі. Протягом року були створені вузли передачі даних: центральний вузол знаходився в Президії НАН України (вул. Володимирівська, 54), 7 опорних вузлів були розташовані в таких установах: Національна бібліотека України (просп. 40-річчя Жовтня, 3), Інститут фізики НАН України (просп. Науки, 46), Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології НАН України (вул. Васильківська, 45), Інститут програмних систем НАН України (просп. Академіка Глушкова, 40), Інститут електродинаміки НАН України (просп. Перемоги 56), Інститут металофізики НАН України (бульв. Академіка Вернадського, 36), Інститут нафтохімії та біоорганічної хімії НАН України (Мурманська, 1; вузол планувався, але його створення не було завершено). Крім того, планувалося підключити до МОД ще 74 наукові установи НАН України. Але разом з тим було зрозуміло, що мережа обміну даних на базі

мідних каналів зв'язку не може за своїми фізичними можливостями (швидкість до 2 Мбіт/с) забезпечити потреби всіх інститутів НАН України, розташованих у місті Києві. Тому у звіті *(Ріжняк, 2014)* робився висновок про доцільність проведення поетапного підключення установ НАН України з наступним розширенням ємності каналів зв'язку за рахунок створення додаткових ліній, використання технологій передачі даних радіо (до 34 Мбіт/с) та оптоволоконними каналами зв'язку (понад 1 Гбіт/с) між опорними вузлами *(Ріжняк, 2012)*.

У 2005 році в рамках програми інформатизації НАН України було створено оптоволоконну мережу Київського фрагменту телекомунікаційної інфраструктури НАН України *(Ріжняк, 2014)*. Оптоволоконні лінії з'єднали між собою центральний вузол, що був розташований в Президії НАН України, та чотири опорних вузла, створених в 2004 році, а саме Національна бібліотека України, Інститут фізики, Інститут програмних систем та Інститут електродинаміки. Додатково були створені оптоволоконні лінії до таких установ НАН України: Центр досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки; Рада з вивчення продуктивних сил України (пр. Шевченка, 60); Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології (вул. Васильківська, 45); Інститут фізичної хімії (проспект Науки, 31); Інститут фізики напівпровідників (проспект Науки, 45); Інститут ядерних досліджень (проспект Науки, 47); Інститут кібернетики (проспект Академіка Глушкова ,40); Інститут теоретичної фізики (вул. Метрологічна, 14-б). Створена оптоволоконна мережа мала топологію – зірка, за якою всі опорні вузли були безпосередньо підключені до центрального вузла на швидкості 1 Гбіт/с. На кожному відрізку оптоволоконної мережі НАН України належало вісім оптичних волокон, що надавало можливість гнучкого конфігурування мережі під різноманітні задачі *(Ріжняк, 2012)*.

Крім цього, у першому кварталі 2005 року, був створений канал обміну даними до Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії (вул. Мурманська, 1).

Канал створювався на базі міжміського мідного кабелю. Створений канал давав можливість передавати дані зі швидкістю 1,5 Мбіт/с.

У всіх точках виходу кабелю були встановлені оптичні бокси, розраховані на введення одного чи двох оптичних кабелів загальною кількістю 24 оптичних волокна. Для з'єднання з зовнішніми пристроями в оптичних боксах використовувалися порти типу SC. Для з'єднання опорних вузлів та забезпечення обміну даними використовувалися гігабітні медіа-конвертори EC-74221-2SM-1310nm-20, що перетворюють сигнал стандарту 1000Base-T Gigabit Ethernet по крученій парі в сигнал стандарту 1000Base-SX/LX Gigabit Ethernet для передачі по волоконно-оптичному кабелю. Медіа-конвертори були призначені для роботи по одномодовим (Single Mode) оптичним кабелям і для прийому/передачі даних використовували два оптичних волокна. Усі медіаконвертери було підключено до серверного та комунікаційного обладнання опорних вузлів за технологією Ethernet *(Ріжняк, 2014)*.

Створення оптоволоконної лінії до Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України забезпечило підключення у 2005 році грід-вузла цієї установи шляхом з'єднання через оптичну муфту волоконно-оптичного кабелю до опорного вузла Київського фрагмента телекомунікаційної інфраструктури НАН України в Інституті програмних систем НАН України. Це підключення забезпечило можливість інститутам і установам НАН України працювати всередині мережі з можливістю використання обчислювальних можливостей грід-структури Інституту теоретичної фізики. Аналогічно, проведення оптоволоконного кабелю до Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України забезпечило підключення суперкомп'ютерного центру Інституту кібернетики до опорного вузла Київського фрагмента телекомунікаційної інфраструктури НАН України в Інституті програмних систем НАН України. Це підключення забезпечило можливість інститутам і установам НАН України працювати всередині мережі з можливістю використання обчислювальних потужностей суперкомп'ютерного центру

Інституту кібернетики. Відповідно, грід-структури Інституту теоретичної фізики та суперкомп'ютер Інституту кібернетики отримали можливість підключення до інноваційних проектів світового співтовариства учених.

У 2006 році оптоволоконна мережа Київського фрагменту телекомунікаційної інфраструктури НАН України набула свого подальшого розвитку – були побудовані оптоволоконні лінії до 46 установ НАН України *(Ріжняк, 2014)*. Таким чином, більшість установ НАН України, що розташовані в м. Києві, були забезпечені високоякісним та швидкісним (1 Гбіт/с) корпоративним зв'язком, доступом до глобальних ресурсів мережі Інтернет. Крім того, було отримано канал зв'язку, що складався з 8 оптичних волокон та забезпечував передачу даних від оптоволоконної магістралі до місцевого телекомунікаційного вузла в м. Харкові, а саме від Південного залізничного вокзалу (вул. Червоноармійська,7), де розташований кінцевій пункт виходу двох оптичних волокон для передавання даних трасою Київ–Харків, до Інституту електрофізики і радіаційних технологій НАН України (вул. Чернишевського, 28), де було у 2006 році створено опорний вузол академічної мережі. Метою отримання цього каналу зв'язку було підключення грід-вузла Інституту теоретичної фізики Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» до телекомунікаційної інфраструктури НАН України, і, в підсумку, забезпечення потреби всіх інститутів НАН України, розташованих у місті Харкові, доступом до мережі обміну даними НАН України на базі оптичних каналів зв'язку.

Протягом 2007–2008 років за рахунок використання орендованих в ДП НПЦ UARNet оптоволоконних каналів магістральна мережа АМОД була побудована за кільцевою топологією на основі DWDM-технології (технології щільного хвильового мультиплексування (Dense Wave Division Multiplexing)) і об'єднувала магістральні транспортні вузли (МТВ) та опорні магістральні вузли (ОМВ), що були розміщені у Наукових центрах НАН і МОН України (містах Києві, Харкові, Львові, Донецьку, Дніпропетровську, Одесі, Сімферополі та

Сумах). Зокрема, у м. Києві – це МТВ та ОМВ в Президії НАН України, у м. Харкові МТВ та ОМВ – у Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут», у м. Донецьку ОМВ – в Державному університеті інформатики та штучного інтелекту, у м. Дніпропетровську ОМВ – в Інституті проблем природокористування та екології НАН України, у м. Сімферополі ОМВ – у Таврійському національному університеті ім. В.І. Вернадського, в м. Одесі ОМВ – у Фізико-хімічному інституті ім. О.В. Богатського, у м. Львові МТВ – у Львівському національному університеті ім. Івана Франка та у м. Суми ОМВ – в Інституті прикладної фізики НАН України *(Ріжняк, 2014)*. Ця мережа використовувала промисловий стандарт передачі, який забезпечував швидкість передачі до 10 Гбіт/с. Через вузли магістральної мережі забезпечувалося під'єднання АМОД як до внутрішніх, так і до міжнародних мереж, у тому числі до Internet, GEANT та PIONIER. Протягом 2003–2011 років в комп'ютерних мережах підприємства UARNet послідовно відбувався перехід до волоконно-оптичної технології (CEF-технології) побудови каналів зв'язку *(Процикевич, 2014)* (уже на початку 2000-х років підприємство припинило використовувати супутникові технології передачі даних, перейшовши повністю на наземні). Станом на 2008 рік підприємство UARNet було включене до української точки обміну інтернет-трафіком (UA-IX) каналом швидкістю 10 Гбіт/с, використовувало паритетні гігабітні та 10-гігабітні канали з потужними інтернет-провайдерами України, в тому числі з ВАТ «Укртелеком» (див. рис. 3).

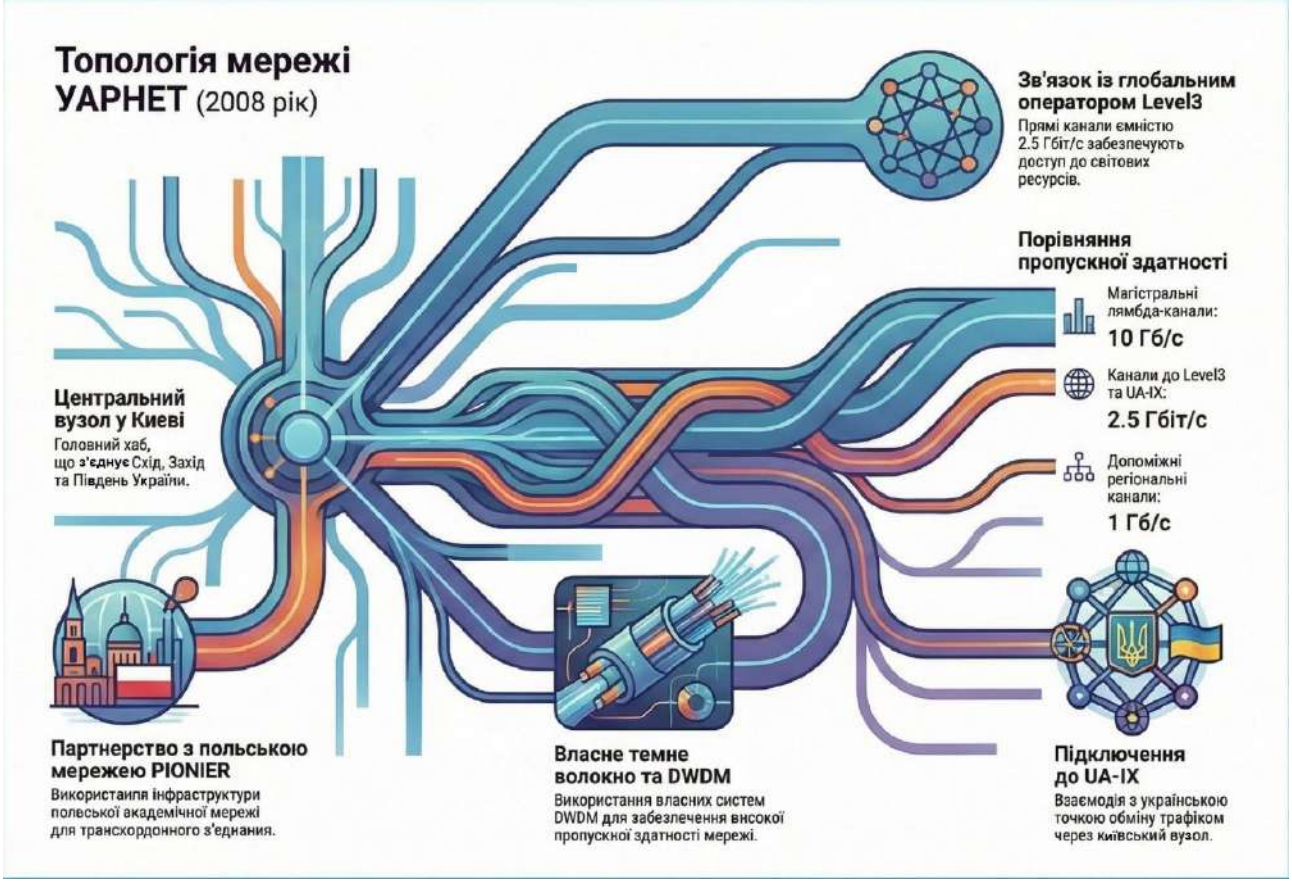

Рис. 3. Топологія мережі УАРНЕТ станом на 2008 рік.

Сумарна ємність зовнішніх каналів (сім незалежних каналів) становила понад 50 Гб/с. 2009 року якісна і надійна зв’язність мережі підприємства UARNet зі світовими телекомунікаційними мережами забезпечувалася як через 10-гігабітні канали до апстрім-провайдерів (американські «Левел3» та «Коджент», російські «РЕТН» та «Комстар»), так і через європейський обмін інтернет-трафіком «DE-CIX» (10 Гб/с) та паритетні канали із східноєвропейськими інтернет-провайдерами (Польща, Словаччина). В кінці 2009 року підприємством UARNet у Будинку вчених у Львові була підписана угода про співпрацю з польською науковою мережею PIONER, що означало інтеграцію української мережі до загальноєвропейської, а відтак і світової *(Процикевич, 2014)*. Станом на 2011 рік підприємство UARNet побудувало у Франкфурті (Німеччина) свій вузол, який мав прямі канали до більш ніж 200 світових і російських операторів (див. рис. 4).

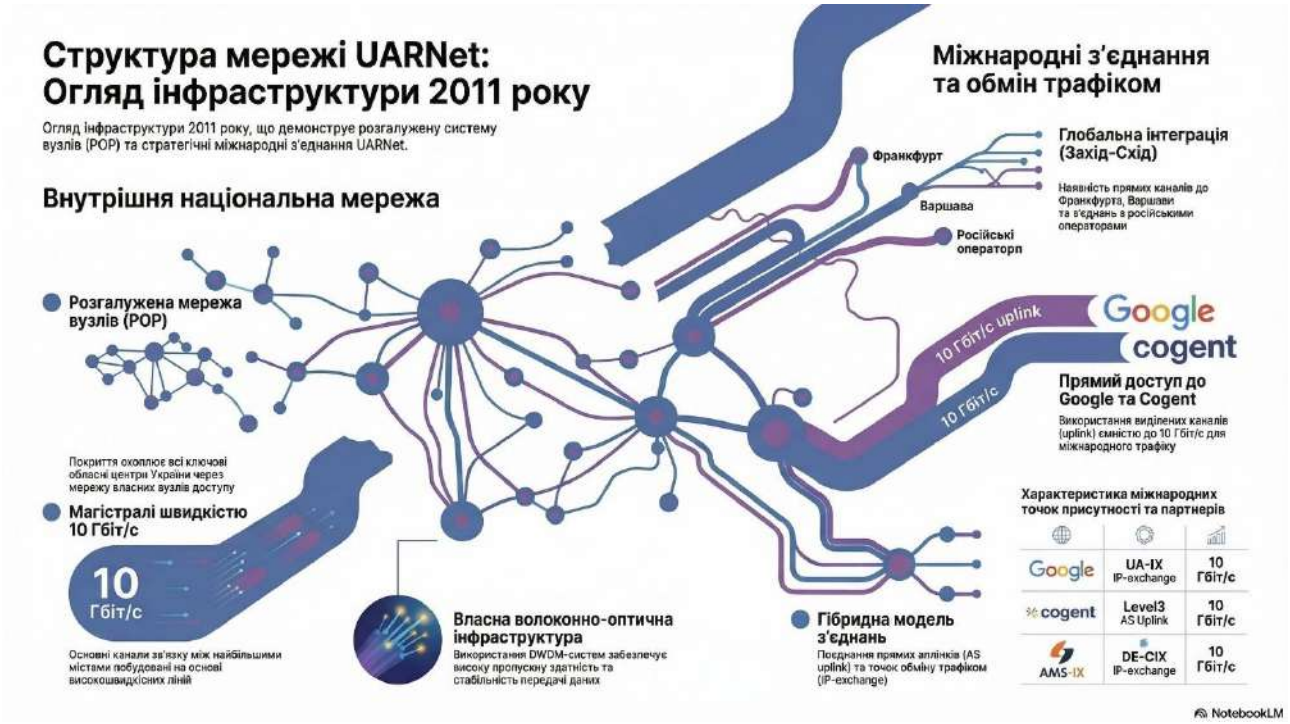

Рис. 4. Топологія мережі УАРНЕТ станом на 2011 рік.

Це дозволило надавати не лише доступ в Інтернет, але і організовувати міжнародні канали передачі даних з використанням сучасних інформаційних технологій (IP-vlan).

Саме завдяки факту підписання угоди про співпрацю між підприємством UARNet та польською науковою мережею PIONIER була реалізована ідея щодо підключення за волоконно-оптичною технологією протягом 2009–2011 років мережі УРАН до мережі GEANT – розвинутої пан-Європейської науково-освітньої мережі, що поєднувала національні науково-дослідні мережі Європи і нараховувала близько 30 мільйонів користувачів серед науково-дослідних та освітніх установ 40 країн континенту, що з'єднувалися з GEANT через національні мережі *(Галаган та ін., 2009)*. Найближчий до України маршрутизатор знаходився у м. Познані (Польща) на технічному майданчику Польської науково-освітньої мережі PIONIER.

Доступ до академічної мережі GEANT забезпечувався через канал 1 Гбіт/с, наданий авторизованою в GEANT мережею УРАН. Доступ до ресурсів польської академічної мережі PIONER забезпечувався через прямий волоконно-оптичний

канал ємністю 2,5 Гбіт/с між АМОД НАН України і польською академічною мережею PIONER.

В напрямку м. Рава-Руська – м. Львів – м. Тернопіль – м. Київ – м. Суми та м. Харків розгорнута DWDM система передачі даних на власних волоконно-оптичних лініях зв'язку. У напрямках м. Харків – м. Донецьк – м. Дніпропетровськ – м. Сімферополь – м. Одеса – м. Львів, а також м. Дніпропетровськ – м. Київ АМОД використовувала 10 Гбіт лямбда-канал, представлений ДП НТЦ UARNet (відповідно до Розпорядження Президії НАН України № 34 від 20.01.2008 року ДП НПЦ UARNet визначене оператором АМОД НАН). Отже, на рисунку 5 зображена топологія магістральної мережі АМОД станом на 2009 рік, а на рисунку 6 – загальний вигляд станом на 2009 рік блок-схеми цієї мережі *(Ріжняк, 2014)*.



Рис. 5. Топологія магістральної мережі АМОД станом на 2009 рік.

Регіональні мережі АМОД складалися з опорно-магістральних вузлів та каналів передачі даних між ними і під'єднувалися до магістральної мережі оптоволоконними каналами зв'язку. Вони об'єднували установи НАН України і МОН України в регіональних наукових центрах: м. Львів, м. Київ, м. Харків, м.

Дніпропетровськ, м. Донецьк, м. Одеса та м. Сімферополь. Регіональна мережа була розбудована в наукових центрах НАН і МОН України з використанням власних оптично-волоконних каналів, які зв'язували опорні вузли мережі, що знаходилися в місцях компактного розміщення установ, з установами НАН України. Швидкість підключення установ НАН і МОН України до опорних міських вузлів становила 100 Мбіт/с. Опорні міські вузли з'єднувалися між собою волоконно-оптичними каналами на швидкості 1 Гбіт/с. Отже, АМОД була побудована за ієрархічним 3-рівневим принципом: перший рівень – магістральна мережа передачі даних, другий рівень – регіональні мережі, третій рівень – локальні мережі установ НАН та МОН України.



Рис. 6. Узагальнена блок-схема АМОД НАН України (2009 рік).

З 2008 по 2009 роки була проведена дослідна експлуатація АМОД, за результатами якої відповідно до Постанови Президії НАН України № 95 від 08.04.2009 р. вона була передана в промислову експлуатацію *(Ріжняк, 2014)*.

Отже, створення Академічної мережі обміну даних НАН України дало можливість установам Академії вийти на європейський рівень інформаційного забезпечення, що передбачало *(Ріжняк, 2014), (Згуровський, Петренко, 2009)*:

✓ забезпечення швидкісного обміну даними (до 1000 Мбіт/с) між установами НАН України та взаємодії між супер-комп'ютерами та ГРІД-кластерами НАН України (див. розділ «Розвиток засобів підтримки наукових досліджень і грід-технологій в наукових установах НАН України» *(Ріжняк, 2014)*);

✓ забезпечення установ НАН України доступом до європейської академічної мережі GEANT, польської академічної мережі PIONER та Української науково-освітньої мережі УРАН;

✓ забезпечення установ НАН України, що підключені до АМОД, доступом до передплачених ресурсів Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського;

✓ надання послуги з відомчої та міжнародної IP-телефонії установам НАН України на базі каналів обміну даних АМОД та зовнішніх каналів ДП НТЦ UARNet;

✓ мінімізацію витрат на доступ до внутрішніх та зовнішніх інформаційних ресурсів, а також міжміського телефонного зв'язку;

✓ створення гнучкої, керованої і масштабованої інформаційної системи НАН України.

Таким чином, дослідження еволюції розвитку науково-освітніх телекомунікаційних мереж закладів вищої освіти та академічних установ України дозволяє зробити такі висновки щодо основних закономірностей цього процесу.

1. Дві науково-освітні телекомунікаційні мережі – телекомунікаційна мережа закладів освіти і науки України УРАН та Академічна мережа обміну даними НАН України – були створені протягом короткого 10-річного періоду з кінця 90-х років XX століття до середини першого десятиліття XXI століття. Порівняно швидкому створенню цих мереж перш за все сприяли колосальний досвід Інституту кібернетики України, накопичений школою геніального українського вченого В.М. Глушкова, та продуктивна ініціатива науково-

дослідних інститутів НАН України (Інституту фізики конденсованих систем НАН України, Інститут програмних систем НАН України та інших) і закладів вищої освіти МОН України (НТУУ «КПІ», НТУ «ХПІ» та інших). Крім того, досить важливу роль у створенні мереж відіграла підтримка з боку держави та (особливо на початкових стадіях розвитку мереж) підтримка закордонних організацій (НАТО для мережі УРАН, фонд Сороса для головного виконавця щодо створення АМОД – ДП НТЦ UARNet).

2. Особливого значення у створенні та розвитку обох телекомунікаційних мереж відіграло державне підприємство НТЦ UARNet, яке було головним виконавцем побудови АМОД (навіть у контексті використання магістральних мереж НТЦ UARNet Академічною мережею НАН України), ініціатором та виконавцем підключення АМОД та УРАН до GEANT, офіційним оператором мережі УРАН в Західному регіоні України.

3. Створення науково-освітніх мереж УРАН та АМОД стало визначним у контексті започаткування першого в Україні грід-сегмента, який забезпечив колективне використання високопродуктивних інформаційних обчислювальних ресурсів, які розміщені в установах НАН і МОН, вагома частина яких стали учасниками ряду європейських грід-проектів.

4. На базі побудованих науково-освітніх мереж зроблено продуктивні кроки у розв’язанні питань щодо побудови академічної системи комп’ютеризованих наукових видань (наукова електронна бібліотека періодичних видань НАН України для Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського), щодо створення вищими навчальними закладами України власних інформаційних ресурсів, банків даних і знань, інформаційно-пошукових систем.

2. Розвиток розподілених програмно-апаратних комп'ютерних середовищ (Grid-середовищ) закладів освіти й науки України в другій половині XX – на початку XXI століття.

Досить важливим аспектом розвитку об'єднаних автоматизованих комп'ютерних систем закладів вищої освіти та академічних установ України є еволюція становлення та розвитку розподілених програмно-апаратних комп'ютерних середовищ (з принципово новою організацією обчислень та управлінням потоками завдань та даних) закладів вищої освіти та наукових установ України.

Обчислювальні центри колективного користування 60–70-х років були, фактично, прообразом майбутніх потужних високопродуктивних комп'ютерів зі значним обсягом внутрішньої та зовнішньої пам'яті, переважно багатопроцесорних, що називалися мейнфреймами (термін mainframe походить від двох англійських слів: main – основний або головний, frame – рамка, скелет тобто основа чого-небудь; спочатку під даним терміном розуміли металічну стійку, де знаходився центральний процесор; у подальшому під мейнфреймом почали розуміти великий (головний) комп'ютер (центральний сервер) в розвинених локальних обчислювальних мережах з великим числом периферійних комп'ютерів і терміналів (наприклад, локальні мережі великих організацій, фірм, навчальних закладів, міжнародні платіжні системи)). Розвиток мейнфреймів почався у 60-х роках XX століття з комп'ютерів корпорації IBM System/360 (радянський аналог подібних систем був представлений серією ЄС ЕОМ і почав випускатися у 1971 році) *(Малиновський, 1995)*. На відміну від мейнфреймів, суперкомп'ютери – це машини, що знаходяться на піку доступних обчислювальних потужностей, особливо в області операцій з числами. Вони використовуються для наукових та інженерних задач (високопродуктивні обчислення, наприклад, в області метеорології або моделювання ядерних процесів), де визначальними факторами є потужність процесора й обсяг оперативної пам'яті, тоді як мейнфрейми застосовуються для цілочисельних

операцій, вимогливих до швидкості обміну даними, до надійності та до здатності одночасної обробки великої кількості процесів (обслуговування великих баз даних, або одночасна робота з великою кількістю споживачів). Продуктивність мейнфреймів, як правило, обчислюється в мільйонах операцій за секунду (MIPS), а суперкомп'ютерів – в операціях з плаваючою комою (крапкою) в секунду (FLOPS).

Ідея Grid-комп'ютингу (або використання Grid-структур) виникла в кінці 90-х років XX століття разом з поширенням персональних комп'ютерів, розвитком Інтернету і технологій пакетної передачі даних на основі оптичного волокна, а також технологій локальних мереж (Gigabit Ethernet) *(Foster, 1998)*. Смуга пропускання комунікаційних засобів стала достатньою, щоб при необхідності залучити ресурси інших комп'ютерів. Враховуючи, що безліч підключених до глобальної мережі комп'ютерів більшу частину робочого часу простоювала і мала ресурси більші, ніж необхідно для розв'язання їх повсякденних завдань, виникла можливість застосувати їх вільні ресурси в іншому місці. Основною перевагою таких розподілених обчислень є те, що окрема частина обчислювальної системи може бути представлена звичайним неспеціалізованим комп'ютером. Таким чином, можна отримати практично ті ж обчислювальні потужності, що і на звичайних суперкомп'ютерах (або мейнфреймах), але з набагато меншою вартістю. Таким чином, Grid-комп'ютинг можна визначити як оптимальну підготовку та організацію виконання безлічі різних завдань у віртуальному полі різних комп'ютерних ресурсів (які й утворюють гігантський віртуальний комп'ютер), при цьому обчислювальні ресурси можуть бути і однопроцесорними *(Петренко, 2008)*.

Розглянемо еволюцію розвитку розподілених програмно-апаратних комп'ютерних середовищ (Grid-середовищ) закладів освіти й науки України у другій половині XX століття – на початку XXI століття. Зауважимо відразу, що еволюція згаданої Grid-структури проходила паралельно двома лініями – майже одночасно еволюціонували Grid-структури НАН України та МОН України.

Перший Grid-вузол НАН України в Україні був створений 2002 року групою фізиків з Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» (ННЦ ХФТІ). Формально ННЦ ХФТІ належав до системи НАН України. Але обчислювальний кластер був побудований в рамках співпраці з Об'єднаним Інститутом Ядерних Досліджень (ОІЯД, Дубна, Росія) для спільного з ним участі в експерименті CMS (Compact Muon Solenoid) – одного з чотирьох великих експериментів, які планувалося на той час проводити в Європейському центрі ядерних досліджень – CERN (Женева, Швейцарія) в рамках запуску Великого андронного колайдера (LHC – Large Hadron Collider). Хоча цей Grid-вузол побудований в Україні та українськими вченими, по суті він був частиною російської Grid-структури – ГРІД для інтенсивних операцій з даними (Russian Data Intensive GRID, RDIG). З введенням в дію оптоволоконного каналу зв'язку П'ятихатки-Харків-Київ (ННЦ ХФТІ розташований в науковому передмісті Харкова на відстані 15 км від міста) Grid-вузол ХФТІ планувалося підключити до Grid-структури НАН України *(Історія, 2012)*.

У цьому ж 2002 році Президент Національної академії наук України академік Б.Є. Патон відвідав CERN, де до цього часу Grid-технології вже активно розвивалися. У CERN створювалася Grid-мережа, оскільки було усвідомлено, що використання Grid-технологій – це єдиний практичний спосіб обробляти і аналізувати безпрецедентний обсяг експериментальних даних (близько 10 Петабайт в рік в умовах одного з експериментів *(Загородній, 2012)*), які будуть одержані в процесі проведення експериментів на найбільшому в світі прискорювачі LHC. В результаті переговорів про участь України в наукових програмах CERN було прийнято рішення, підкріплене пізніше Постановою Президії НАН України, про співпрацю з CERN у розвитку Grid-технологій *(Загородній, 2005)*.

Наступний етап розпочався в кінці 2004 року, коли група фізиків-теоретиків з Інституту теоретичної фізики (ІТФ) ім. М.М. Боголюбова НАН України (професор Г.М. Зінов'єв, провідний науковий співробітник

Є.С. Мартинов, старші наукові співробітники С.Я. Свистунов і В.Н. Шадура) у процесі проведення аналізу перспективи фізики високих енергій в ІТФ та Україні дійшла висновку, що крім суто теоретичних досліджень в галузі фізики, необхідно брати активну участь в комп'ютерному забезпеченні майбутніх експериментів в CERN (Бойко, 2008). Такий напрям співпраці з європейськими партнерами дозволив би мати безпосередній доступ до найновіших даних, які потрібні фізикам-теоретикам для порівняння теоретичних викладок, фізичних моделей з експериментальними даними. Крім того, участь у подібних дослідженнях могла б допомогти українським фізикам «бути в центрі подій» у контекстні останніх досліджень атомного ядра, що проводяться в CERN, завдяки можливостям, які можуть бути забезпечені Grid-технологіями. При цьому бралися до уваги тенденції розвитку Grid-технологій у світі, бурхливе проникнення Grid в біологію, медицину, бізнес, промисловість *(Бойко, 2008), (Мартинов, 2011)*. Директор ІТФ академік А.Г. Загородній підтримав ідею використання Grid в інституті – були виділені кошти на купівлю сервера. Але інститут в той час не мав швидкісного каналу зв'язку, тому експериментальний Grid-вузол з двох серверів був створений у 2004 році в Обчислювальному центрі Київського національного університету імені Тараса Шевченка (ОЦ КНУ) зусиллями С.Я. Свистунова і співробітника ОЦ КНУ А.А. Судакова. Завдяки співпраці ІТФ з колаборацією ALICE (A Large Ion Collider Experiment – одна з шести експериментальних установок, споруджених на LHC в CERN), Grid-вузол одержав сертифікат від AliEn-grid (Alice-Enviroment – Grid-організація, що обслуговувала експеримент ALICE в CERN) *(Мартинов, 2007)*.

Таким чином, ініціативною групою щодо приєднання до участі в експериментальній роботі на LHC в CERN була усвідомлена важлива обставина, що Grid-технології – це не лише розв'язання проблем фізики високих енергій, а й новий, надзвичайно перспективний підхід до багатьох фундаментальних наукових і практичних завдань, для вирішення яких потрібні великі обчислювальні ресурси; це також нові можливості організації наукових

досліджень не тільки в масштабах окремо взятої країни, а й підвищення ефективності міжнародного співробітництва в різних сферах людської діяльності. Саме тому ініціатори долучення до роботи в CERN наголошували, що їхня мета – створення в Україні Grid-інфраструктури, яку будуть використовувати і вчені НАН України, і фахівці з інших організацій, де виконуються роботи, пов'язані з великими комп'ютерними ресурсами *(Загородній, 2005)*.

У червні 2005 року в ІТФ відбулося засідання Координаційної Ради з інформатики НАН України, на якому проект обговорювався і був схвалений *(Інститут теоретичної фізики, 2012)*. Саме Академік НАН України І.Р. Юхновський, будучи в той час фактичним головою Комітету Верховної Ради з освіти і науки, ініціював фінансування першого Grid-проекту, який розробили в ІТФ. Він був одним з перших, хто зрозумів необхідність якнайшвидшого впровадження Grid-технологій в повсякденне життя наукових установ. Почалася практична робота з його втілення – в кінці 2005 р. в ІТФ був побудований кластер з 10 двопроцесорних серверів. Як і в будь-якій обчислювальній Grid-інфраструктурі, необхідно було встановити так зване проміжне програмне забезпечення (ППЗ), яке інтегрує всі обчислювальні ресурси й організовує їхню узгоджену роботу (middleware). Творці сегмента вибрали пакет Nordugrid ARC (Advanced Resource Connector), розроблений у колаборації північних європейських країн NorduGrid *(Nordugrid, 2012)*. Це було найпростіше ППЗ, яке, за переконанням виконавців з ІТФ, підтримувало всі необхідні функції для роботи Grid-інфраструктури, працювало дуже стабільно і, нарешті, супроводжувалося найбільш повною і зрозумілою документацією *(Мартинов, 2011)*. У режимі прямого доступу і діалогу спільно з фахівцями CERN Grid-система була побудована й налаштована на роботу в інфраструктурі AliEn-grid. Проте слабкість каналу зв'язку не дозволила розпочати нормальну роботу створеного Grid-вузла. У 2005 році в рамках програми інформатизації НАН України було створено оптоволоконну мережу (з топологією – зірка, за якою всі

опорні вузли мережі були безпосередньо підключені до центрального вузла на швидкості 1 Гбіт/с) Київського фрагменту телекомунікаційної інфраструктури НАН України *(Ріжняк, 2014)*. Створення оптоволоконної лінії до ІТФ забезпечило підключення у 2005 році Grid-вузла цієї установи шляхом з'єднання через оптичну муфту волоконно-оптичного кабелю до опорного вузла Київського фрагмента телекомунікаційної інфраструктури НАН України в Інституті програмних систем НАН України.

До квітня 2006 року була розроблена Концепція розвитку Grid-інфраструктури НАН України. 25 квітня 2006 року розпорядженням Президії НАН України була затверджена програма «Впровадження грід-технологій і побудови кластерів в НАН України», створена координаційна рада програми *(Ріжняк, 2014)*. Базовим інститутом, відповідальним за виконання програми, був призначений ІТФ.

Програмою впровадження Grid-технологій та створення кластерів НАН України передбачено три етапи розвитку Grid-технологій в НАН України. Головним завданням першого етапу було оформлення офіційного статусу НАН України в WLCG (Worldwide LHC Computing Grid – глобальна обчислювальна структура, яка об'єднувала наукові інститути, що приймали участь експериментальній роботі на LHC в CERN). 25 квітня 2006 року НАН України на засіданні керівного комітету організації WLCG була офіційно прийнята в члени цієї організації, покликаної координувати комп'ютерну підтримку всіх експериментів на LHC. Перший Віце-президент НАН України А.П. Шпак, який став представником НАН України в WLCG, в липні 2006 р. підписав Меморандум про взаєморозуміння між НАН України та WLCG *(Ріжняк, 2014)*.

Метою другого етапу виконання Програми було визначено створення першого в НАН України й загалом в Україні Grid-сегменту, який би об'єднував (рисунок 7): академічні інститути (Інститут молекулярної біології і генетики (ІМБГ), Інститут клітинної біології та генетичної інженерії (ІКБГІ), Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова (ІК), Інститут космічних досліджень (ІКД),

Львівський Інститут фізики конденсованих систем (ІФКС), ІТФ та ННЦ ХФТІ), Головну астрономічну обсерваторію (ГАО) і Київський національний університет ім. Тараса Шевченка (КНУ). В кінці 2006 р. обчислювальні кластери було побудовано й частково модернізовано. Всі основні елементи роботи в Grid-сегменті – авторизація, керування задачами, моніторинг системи та інші процедури – було відпрацьовано на Grid-лінії між ІТФ і КНУ. У вересні 2006 року відбулася чергова конференція EGEE (Enabling Grids for E-sciencE – проект, направлений на побудову Grid-інфраструктури, яка використовувалася в різних наукових дослідженнях в Європі; на той час проект об'єднував 90 учасників з 32 країн і фінансувався Європейським Союзом), де Національний академічний Grid (або Українська Академічна Grid-ініціатива – UAGI *(Петренко, 2008)*) було зареєстровано кандидатом до вступу в цю організацію. Таким чином, в кінці 2006 року кластери в перерахованих вище інститутах НАН України були побудовані, а в березні 2007 року в тестовому режимі почав працювати перший в Україні Grid-сегмент. Так було створено перший в Україні працюючий сегмент академічної Grid-мережі та суттєво посилено міжнародні зв'язки із світовими Grid-організаціями *(Ріжняк, 2014)*.



Рис. 7. Ґрід-сегмент НАН України у 2007 році.

Виконання третього етапу Програми передбачало побудову Grid-кластерів в інститутах та лабораторіях НАН України з подальшим приєднанням цих кластерів до вже існуючої академічної Grid-мережі. В жовтні 2007 р. на конференції EGEE'07 в Будапешті було офіційно заявлено, що Україна стала асоційованим членом EGEE. На цій же конференції було оголошено, що Україна стала повноправним членом EGI (European Grid Initiative – грід-організації, що об'єднувала на той час 31 європейську країну і постійно діяла під егідою Європейської комісії). Через два роки EGI повністю замінила EGEE *(Ріжняк, 2014)*.

Офіційна презентація першого в Україні Grid-сегменту відбулась 4-го квітня 2007 року в Інституті теоретичної фізики на виїзному засіданні бюро Президії НАН України. На цьому засіданні відбулося широке обговорення завдань розвитку Grid-технологій не тільки в Академії наук. Були обговорені і намічені перспективи співпраці НАН України та Міністерства освіти і науки України (МОН України), зокрема, з Національним Технічним Університетом України Київський Політехнічний Інститут (НТУУ КПІ). Досягнута домовленість про створення Національного Гріда України *(Згуровський, Петренко, 2009)* (або Українська національна Grid-ініціатива – Ukrainian National Grid Initiative – UNGI *(Петренко, 2008)*).

Таким чином, на першу половину 2007 року (на момент початку спільної діяльності закладів МОН України та установ НАН України щодо створення проекту UNGI) в системі НАН України був створений і успішно розпочав функціонування Grid-сегмент, до якого були включені кластери 8-ми установ НАН України та кластер КНУ. Разом з обробкою даних експериментів на LHC в CERN (ІТФ, ННЦ ХФТІ, КНУ) виконувалися ціла серія різних додатків (наприклад: моделювання просторової структури та поведінки біологічних макромолекул – ІКБГІ, дослідження спектрів зірок та суб-зіркових об'єктів – ГАО, моделювання білків та розрахунки молекулярної динаміки ряду білків, що можуть бути мішенями для розробки лікарських препаратів – ІМБГ) *(Галаган,*

Домбругов, 2002). А вже в умовах співробітництва з МОН України щодо створення проекту UNGI відповідно до розпорядження Президії НАН України від 27.03.2008 р. № 172 в рамках «Програми впровадження GRID-технологій та створення кластерів на 2008 рік» був створений Grid-вузол в Інституті програмних систем НАН України (ІПС) та відбулося розширення Grid-сегменту НАН України до 16 обчислювальних кластерів *(Ріжняк, 2014)*.

Друга лінія еволюції Grid-структур в українській вищій освіті та науці пов'язана з діяльністю закладів вищої освіти, що належали до системи МОН України. Вперше про створення проекту національної Grid-структури в Україні було заявлено в доповіді ректора НТУУ КПІ М.З. Згуровського на всесвітньому саміті в Тунісі з питань формування інформаційного суспільства у 2004 році в контексті необхідності створення освітнього та дослідницького сегменту інформаційного суспільства нашої держави з двома головними напрямками: широким використанням інформаційних технологій на всіх стадіях наукових досліджень та інформаційним управлінням відповідними галузями *(Згуровський, Петренко, 2009)*. Запропоновані в доповіді ідеї знайшли своє відображення у 2005 році в ініційованій МОН України Державній програмі «Інформаційні та комунікаційні технології в освіті і науці на період 2006-2010 роки», в якій містилося завдання щодо створення національної Grid-інфраструктури *(Ріжняк, 2014)*. В рамках цієї Програми у 2007 році МОН України було оголошено конкурс проектів, спрямованих на виконання цього завдання. Але НАН України, вже маючи свою корпоративну програму UAGI, в 2007 році не брала участі в тендері проектів, оголошеному за Програмою *(Ріжняк, 2014)*. Тоді група з 10-ти організацій, що представляли два академічні інститути НАН України, шість провідних вузів МОН України і два промислові підприємства (перелік організацій дивіться нижче), взяла на себе відповідальність і буквально за кілька годин до закриття тендеру МОН України представила свій проект UGrid (Ukrainian Grid-infrastructure) *(Згуровський, Петренко, 2009)*. У середині 2007 року на базі Національної науково-освітньої мережі УРАН почав діяти саме

названий проект-переможець цього конкурсу – «Створення національної Grid-інфраструктури для забезпечення наукових досліджень», в якому провідна роль належала Інституту прикладного системного аналізу (ІПСА) НТУУ КПІ (крім підпорядкування НТУУ КПІ, інститут підпорядковувався і НАН України). Проект UGrid мав за мету побудову сегменту МОН України національної Grid-інфраструктури з відповідними послугами для надання можливості вітчизняним науковцям плідно співпрацювати в Європейському науковому просторі (European Research Area, ERA) і сприяти створенню економіки інформаційного суспільства, заснованої на знаннях, шляхом впровадження наукових концепцій Grid і найбільш вагомих наукових додатків, які використовуються в Grid-середовищі *(Згуровський, Петренко, 2009)*. Проект UGrid виконувався тимчасовим науковим колективом, до складу якого увійшли, крім ІПСА НТУУ КПІ, представники таких вітчизняних організацій: НТУУ КПІ, Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова НАН України (ІПМЕ), Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ), Львівський національний технічний університет «Львівська політехніка» (НУЛП), Запорізький національний технічний університет (ЗНТУ), Донецький національний політехнічний інститут (ДонНПІ), Дніпропетровський національний гірничий університет (ДНГУ), Підприємство ЮСТАР, Державне підприємство «Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут» (ЛНДРІ). Проект виконувався з травня 2007 року по грудень 2008 року, здійснювався за чітким календарним планом роботи, що складався з 4-х етапів *(Згуровський, Петренко, 2009)*. Серед основних результатів виконання проекту, назвемо такі найвагоміші: 1) була досягнута домовленість з НАН України та здійснене об'єднання існуючих сегментів наукової і освітньої обчислювальної і комунікаційної інфраструктури НАН України і МОН України в єдину Українську Національну Grid-ініціативу (UNGI); 2) в січні 2008 року за підтримки EUGridPMA (система Європейської Grid-аутентифікації) розпочав діяльність Сертифікаційний центр відкритих ключів для надання українським користувачам доступу до

європейських ресурсів і сховищ даних; 3) розроблений портал доступу SDGrid до Grid-інфраструктури як єдиної точки доступу користувачів до різних інформаційних ресурсів і програм; 4) була досліджена методологія використання Grid-технологій у вищій школі і створена експериментальна навчальна програма з Grid-курсом; розпочата магістерська підготовка за напрямом «Grid-технології в науці та освіті»; 5) на базі розробленого порталу SDGrid була створена віртуальна навчальна Grid-система, за допомогою якої можна було отримати перший досвід роботи в Grid-середовищі, та віртуальна лабораторія для демонстрації можливостей технологій Grid; 6) Grid-сегмент МОН України (на відміну від Grid-сегменту НАН України, який є Grid обчислювального типу – Computing Grid), був побудований як Grid інформаційного типу (Data Grid), так як проект UGrid головним чином був пов'язаний із забезпеченням обслуговування Української філії Світового Центру Даних (УСЦД) «Сталий розвиток та геофізика» і надавав його клієнтам віддалений доступ до світових сховищ наукових даних *(Згуровський, Петренко, 2009)*. Всі організації – учасники проекту (крім основних обов'язків з організації ресурсно-операційних центрів, забезпечення їх функціонування, підготовки і підтримки користувачів), проводили наукові дослідження в галузі сумісності проміжного програмного шару різних Grid-інфраструктур; забезпечення наскрізної інформаційної безпеки при об'єднанні національних Grid-інфраструктур або їх сегментів, розробки додаткових сервісів для розширення кола можливих користувачів (окрім науки) з представників різних верств суспільства: інженерії, бізнесу, соціальної сфери *(Згуровський, Петренко, 2009)*.

У подальшому (починаючи з 2009 року) планувався та здійснювався спільний розвиток проектів UAGI (НАН України) та UGrid (МОН України) в межах єдиного проекту UNGI. У процесі побудови спільної структури були максимально враховані сильні сторони організаторів проекту UNGI. Зі сторони НАН України сильними сторонами проекту виступали такі: авторитетне Відділення інформатики, важливі обчислювальні ресурси, практичний досвід

об’єднання високопродуктивних обчислювачів в мережу, досвід проведення досліджень окремими вченими в реальних умовах європейських Grid-проектів, багаторічний досвід алгоритмізації різноманітних наукових задач і розробки для них відповідних додатків, починаючи від задач фізики і біології і закінчуючи літературознавством. Зі сторони вузів МОН України та промисловості були враховані такі сильні сторони учасників створення проекту: багаторічний досвід побудови і дослідження розподілених обчислювальних систем, зокрема, системи колективного мережного проектування виробів високих технологій на технологіях Grid; досвід участі в європейському проекті BalticGrid в якості асоціативного члена; порівняльне випробування програмного забезпечення проміжного шару Globus, NorduGrid і gLite; офіційна угода з DANTE (європейський провайдер міжнародної науково-освітньої мережі GEANT, що працював на основі партнерства з національними науково-дослідними мережами) про підключення комп’ютерної мережі УРАН до GEANT; домовленість з EUGridPMA про заснування служби CA в Україні; напрацювання у розв’язанні науково-технічних та інженерних задач; швидко нарощувані обчислювальні ресурси і сучасний досвід кластеробудування (фірма ЮСТАР); практично невичерпний резерв талановитої творчої молоді. Результатом стало об’єднання всіх українських зацікавлених організацій та відомств навколо виконання Державної цільової науково-технічної програми впровадження і застосування Grid-технологій на 2009–2013 роки, офіційними замовниками якої були НАН України та МОН України *(Ріжняк, 2014)*. Метою цієї Програми було створення національної Grid-інфраструктури та умов для широкого впровадження Grid-технологій, зокрема підвищення пропускної спроможності оптоволоконних каналів зв’язку, розробка спеціалізованого та адаптація існуючого програмного забезпечення, підготовка фахівців з питань впровадження та застосування Grid-технологій. Було передбачене державне фінансування виконання Програми у розмірі 300 млн. грн. з розбиттям на роки та за конкретними виконавцями. На виконання Програми було розроблене та

затверджене «Положення про Український національний грід» *(Положення, 2010)*, згідно якого були визначені основні складники Grid-інфраструктури України та їх функції: базовий координаційний Grid-центр (ІТФ); регіональні координаційні Grid-центри; ресурсні центри національного рівня; центри сертифікації з регіональними філіями, центр реєстрації регіональних організацій, центр моніторингу Grid-інфраструктури та реєстрації Grid-сайтів – ці функції згідно Положення передані базовому координаційному Grid-центру; центри віртуальних організацій та Grid-сайти (головний сайт був розміщений на http://grid.nas.gov.ua/). Ресурсні центри Grid-інфраструктури були розгорнуті в НТУУ КПІ та ІК НАН України.

У 2009 році фінансування за Програмою *(Ріжняк, 2014)* не проводилося. У 2010 році був проведений конкурс лише по НАН України, в якому взяли участь 70 інститутів академії, 29 проектів з яких стало переможцями. Серед основних результатів *(Ріжняк, 2014)*, що були досягнуті при виконанні проектів у 2010 році, назвемо такі: вдосконалення і розвиток Grid-кластеру в ІТФ; підтримка та розвинення Т2-центру ННЦ ХФТІ в Grid-інфраструктурі експерименту CMS всесвітнього LHC-гріда (WLCG); вдосконалення Grid-кластеру інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова; створення засобів підтримки функціонування національної Grid-інфраструктури, навчання та тренінгу системних адміністраторів (ІПСА НТУУ КПІ) *(Ріжняк, 2014)*. У 2011 році керівництво Програмою від МОН України (разом з НАН України) перейшло до Державного комітету України з питань науки, інновацій та інформатизації, який оголосив конкурс проектів, спрямованих на виконання таких двох завдань: розробка та впровадження Grid-технологій в науку, промисловість, фінансову, соціальну та гуманітарну сферу; створення і забезпечення розвитку матеріально-технічної бази національної Grid-інфраструктури, забезпечення її інтеграції в європейську і світову Grid-інфраструктуру. Основні результати виконання програми у 2011 році були такими: удосконалення та розвиток Grid-кластеру Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України; розробка моделі та засобів Knowledge

Grid у контексті глобального опрацювання наукового знання (ІК НАН України); створення Grid-кластера та його застосування для високопродуктивного моделювання процесів в термоядерних реакторах (Інститут електронної фізики НАН України); розробка та створення банку даних «Перспективні матеріали» як складової частини академічного сегменту UNGI (Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України); створення міждисциплінарного комплексу оптимального математичного моделювання в Grid-середовищі з автоматичним формуванням і розв'язанням рівнянь відповідних математичних моделей (ІПСА НТУУ КПІ) *(Ріжняк, 2014)*. Таким чином, на 2011 рік українська Grid-структура мала вигляд, зображений на рисунку 8.



Рис. 8. Ґрід-інфраструктура України у 2011 році.

В межах розвитку цієї структури різні наукові та освітні установи України працювали над розв'язанням широкого кола прикладних наукових проблем. Назвемо лише основні з них. В галузі фізики високих енергій, астрофізики та астрономії – розвиток Grid-віртуальної організації virgo_ua з космології та астрофізики (ІТФ); обробка, збереження і аналіз експериментальних даних

експерименту ALICE в CERN на Tier-2-кластері (ІТФ); забезпечення обробки даних з LHC в Т2-центрі Grid-інфраструктури експерименту CMS (CERN) (ННЦ ХФТІ); адаптація ПЗ для радіоастрономічних досліджень для роботи в Grid-середовищі (Радіоастрономічний інститут НАН України); застосування Grid-технологій до астрофізичних трудомістких задач (ГАО НАН України); в галузі біологічних наук та медичних застосувань: медична Grid-система для популяційних досліджень в галузі кардіології на базі даних електрокардіограм (Інститут проблем математичних машин і систем НАН України), розробка нових високо-паралельних Grid-методів моделювання мереж генної регуляції для системного аналізу відповіді печінки на дію інтерферону альфа (ІМБГ НАН України), розробка та впровадження комп'ютерних сервісів для аналізу молекулярної динаміки білків в віртуальній лабораторії MolDynGrid та її інтеграція в європейську Grid-інфраструктуру (ІМБГ НАН України), розробка і впровадження Grid-технологій в дослідження нейросистем (Національний науковий центр з медико-біотехнічних проблем НАН України); в галузі фізики твердої і м'якої речовини та радіофізики: вдосконалення програмно-апаратного комплексу для молекулярного моделювання та аналізу нано-систем у Grid-середовищі (Інститут фізики НАН України), Впровадження та використання Grid-технологій для розрахунків з перших принципів фізичних властивостей сполук на основі металів та моделювання пластичної деформації конструкційних металів і сплавів (Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України), розробка нових методів та програмного комплексу Grid-обчислень для задач радіофізики, біофізики та фізики твердого тіла (Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України); в галузі науково-технічних та інженерно-прикладних проектів: створення порталу знань, дослідження сумісності проміжного програмного шару, створення Grid-орієнтованого програмного забезпечення для моделювання сучасних мікро-електронно-механічних систем (НТУУ КПІ), Grid-технології для проведення неруйнівного аналізу фізичних параметрів напівпровідникових структур та приладів нано-,

мікро- і оптоелектроніки (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова), створення Grid-системи моніторингу, збору та аналізу даних в енергетичній галузі на базі Grid-центру з питань енергетики (Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України); в галузі геофізичних, гідрофізичних та гідрометеорологічних проектів: розробка і впровадження Grid-технологій для систем підтримки прийняття рішень з оперативного реагування на надзвичайні ситуації природного та техногенного характеру і планування довгострокових контрзаходів (Інститут проблем математичних машин і систем НАН України), розробка та впровадження розподіленої Grid-системи моніторингу надзвичайних ситуацій для регіонального центру підтримки UNSPIDER (Інститут космічних досліджень НАН України), впровадження Grid-технологій в комп'ютерне моделювання стану прибережних зон Азово-Чорноморського басейну (Морський гідрофізичний інститут НАН України); в галузі інформаційної безпеки, інтелектуалізації та економіки: розробка та впровадження віртуального дослідницького середовища в Grid-інфраструктурі на засадах системи gCube (ІПС НАН України), інтелектуалізація-2011 інформаційних технологій кластерних обчислень у Grid-середовищі (ІК НАН України), розробка методів і інструментів інформаційної безпеки Grid-технологій на основі міжнародних стандартів (ІК НАН України) *(Ukrainian National Grid)*.

Таким чином, дослідження історії розвитку розподілених програмно-апаратних комп'ютерних середовищ (Grid-структур) закладів вищої освіти та науки України на початку XXI століття наводить на такі висновки щодо основних закономірностей цього процесу.

1. Створення науково-освітніх мереж УРАН та АМОД та участь науково-освітніх установ України в міжнародних дослідженнях стали визначними у контексті започаткування перших в Україні Grid-сегментів, які забезпечили колективне використання високопродуктивних інформаційних обчислювальних ресурсів, які були розміщені в установах НАН України та МОН України.

2. Дві науково-освітні Grid-структури – Національний академічний Grid (або Українська Академічна Grid-ініціатива – UAGI, засновник НАН України) та Український Grid (або Ukrainian Grid-infrastructure – UGrid, засновник МОН України) – були створені протягом першого десятиліття XXI століття. Порівняно швидкому створенню цих структур перш за все сприяли колосальний досвід Інституту кібернетики України, накопичений школою геніального українського вченого В.М. Глушкова, та продуктивна ініціатива КНУ ім. Т. Шевченка, науково-дослідних інститутів НАН України (ІТФ НАН України, ННЦ ХФТІ НАН України, ІК НАН України, Інституту фізики конденсованих систем НАН України, Інституту програмних систем НАН України та інших) і вищих навчальних закладів МОН України (НТУУ КПІ). Досить важливим підсумком самостійного розвитку UAGI та UGrid стало їх об'єднання в Національний Грід України (або Українська національна Grid-ініціатива – Ukrainian National Grid Initiative – UNGI). Це дало можливість максимально використати переваги попередніх проектів: тісний зв'язок з CERN та участь у його Grid-проектах з фізики високих енергій, наявність власної Академічної мережі обміну даними (UAGI); потужна інформаційна система у вигляді Української філії Світового Центру Даних, наявність науково-освітньої мережі УРАН (UGrid). Що і посприяло досить швидкому розвитку інфраструктури UNGI в межах виконання цільових державних програм розвитку Grid.

3. Grid-інфраструктура України стала національною, так як за вимогами європейських інститутів задовольняла таким критеріям: а) вона мала державну підтримку (проект Grid-інфраструктури був включений до державної Програми з гарантованим фінансуванням); б) Grid-інфраструктура представляла інтереси всіх верств суспільства (вчених, вузівських працівників, промисловців, комерсантів та ін.); в) Grid-інфраструктура мала розгалужену структуру з координуючих, регіональних і ресурсних центрів, що забезпечували функціонування базових Grid-сервісів, моніторинг та реагування на надзвичайні ситуації, ведення обліку ресурсів і виконаних робіт, управління і підтримку

віртуальних організацій, сертифікацію Grid-ПЗ; Grid-інфраструктура базувалася на дотриманні міжнародних стандартів і правил, підтримувала безпеку, мала право генерувати сертифікати користувачів CA з відома EUGridPMA; Grid-інфраструктура мала бути підключена до однієї з міжнародних науково-освітніх комп'ютерних мереж (існувало підключення до GEANT – Європейської науково-освітньої мережі); Grid-інфраструктура мала органи управління у вигляді Ради з розвитку національних розподілених програмно-апаратних комп'ютерних середовищ.

4. На базі побудованої Grid-інфраструктури було зроблено продуктивні кроки щодо її використання для організації прикладних наукових досліджень в умовах розподіленої співпраці вчених за допомогою Grid-технологій і віртуалізації величезних сховищ даних, наукового обладнання та комп'ютерних ресурсів.

3. Роль інтегрованих комп'ютерних систем у закладах вищої освіти й академічних установах України у формуванні національної інформаційної інфраструктури.

Формування національної інформаційної інфраструктури України у другій половині XX – на початку XXI століття відбувалося під впливом розвитку обчислювальної техніки, телекомунікацій, автоматизованих систем управління та мережевих технологій. Важливу роль у цьому процесі відіграли заклади вищої освіти та академічні установи, у яких створювалися та впроваджувалися інтегровані комп'ютерні системи, що забезпечували обробку, збереження, передачу та захист інформації. Саме ці системи стали одним із фундаментальних елементів національної інформаційної інфраструктури, оскільки вони формували науково-технічну, кадрову та технологічну основу розвитку інформаційного суспільства.

Інтегровані комп'ютерні системи у закладах вищої освіти та академічних установах стали середовищем, у якому здійснювалися розробка, випробування та впровадження нових інформаційних технологій. У наукових інститутах і

університетах створювалися автоматизовані системи обробки даних, інформаційно-пошукові системи, спеціалізовані програмні комплекси, а згодом – локальні та глобальні комп'ютерні мережі.

Ці розробки використовувалися не лише у науково-освітній сфері, а й у державному управлінні, промисловості, оборонному комплексі, економіці та соціальній сфері. Таким чином, інтегровані комп'ютерні системи університетів і академічних установ стали одним із джерел формування технологічної бази національної інформаційної інфраструктури.

З розвитком комп'ютерних мереж інтегровані системи закладів вищої освіти та наукових установ почали виконувати функції вузлів інформаційного обміну. На їх базі створювалися локальні обчислювальні мережі, міжвідомчі інформаційні системи, а згодом – національні та міжнародні науково-освітні мережі.

Саме у науково-освітньому середовищі вперше в Україні активно впроваджувалися мережеві технології, електронна пошта, віддалений доступ до баз даних, системи електронного документообігу та дистанційного навчання. Це сприяло формуванню єдиного інформаційного простору, який став складовою національної інформаційної інфраструктури та забезпечив інтеграцію України у світовий інформаційний простір.

Заклади вищої освіти та академічні установи, використовуючи інтегровані комп'ютерні системи, забезпечували підготовку фахівців у галузі інформаційних технологій, кібернетики, програмування, телекомунікацій та інформаційної безпеки.

Саме в університетах і наукових інститутах формувалися наукові школи, які визначали розвиток обчислювальної техніки та інформаційних систем в Україні. Підготовлені в цих установах спеціалісти працювали в державних органах, на підприємствах, у військовій сфері, банківській системі, засобах зв'язку та інших галузях, забезпечуючи функціонування та розвиток інформаційної інфраструктури держави.

Інтегровані комп’ютерні системи дали можливість створювати великі електронні інформаційні ресурси, що включали наукові бази даних, електронні бібліотеки, архіви, статистичні та аналітичні системи.

Ці ресурси стали важливою складовою національної інформаційної інфраструктури, оскільки забезпечували накопичення та збереження знань, доступ до наукової інформації, підтримку освітнього процесу та прийняття управлінських рішень. У сучасних умовах такі інформаційні ресурси мають стратегічне значення, оскільки вони впливають на науковий, економічний і безпековий потенціал держави.

Інтегровані комп’ютерні системи у закладах вищої освіти та академічних установах виконують важливу функцію у сфері забезпечення інформаційної безпеки. Вони використовуються для розробки засобів захисту інформації, дослідження кіберзагроз, створення криптографічних систем, підготовки спеціалістів з кібербезпеки та інформаційного захисту.

Науково-освітнє середовище є одним із ключових елементів формування національної системи інформаційної безпеки, оскільки саме тут створюються нові технології захисту даних, формуються стандарти інформаційної безпеки та здійснюється підготовка кадрів для державних і недержавних структур.

Інтегровані комп’ютерні системи університетів і академічних установ забезпечили участь України у міжнародних наукових і освітніх програмах, обмін інформацією, доступ до світових наукових ресурсів та співпрацю з міжнародними організаціями.

Це сприяло включенню національної інформаційної інфраструктури до глобальних інформаційних мереж, що є важливою умовою розвитку держави, підвищення її конкурентоспроможності та зміцнення інформаційної безпеки.

Отже, інтегровані комп’ютерні системи у закладах вищої освіти й академічних установах України стали одним із ключових чинників формування національної інформаційної інфраструктури. Вони забезпечили створення технологічної бази інформаційного суспільства, підготовку фахівців, розвиток

інформаційних ресурсів, впровадження мережевих технологій та зміцнення системи інформаційної безпеки держави. Саме науково-освітнє середовище виступило одним із центральних елементів становлення інформаційного простору України та його інтеграції у світову інформаційну систему.

У другій половині XX – на початку XXI століття інформаційна сфера стала однією з ключових складових національної безпеки держави. Розвиток інформаційних технологій, глобальних комп'ютерних мереж, цифрових систем управління та електронних інформаційних ресурсів зумовив необхідність створення ефективних механізмів захисту інформації, інформаційної інфраструктури та науково-технологічного потенціалу країни. У цьому контексті інтегровані комп'ютерні системи, що функціонують у закладах вищої освіти та академічних установах України, відіграють важливу роль у забезпеченні інформаційної безпеки держави, оскільки саме в науково-освітньому середовищі формуються технологічні, кадрові та наукові основи безпечного розвитку інформаційного простору.

Інтегровані комп'ютерні системи в університетах і наукових установах є середовищем для створення нових інформаційних технологій, систем обробки даних, телекомунікаційних рішень та засобів захисту інформації. У межах цих систем проводяться дослідження у сфері криптографії, кібернетики, програмної інженерії, телекомунікацій та інформаційної безпеки.

Результати таких досліджень використовуються у державному управлінні, оборонній сфері, банківській системі, енергетиці, транспорті та інших стратегічних галузях, що безпосередньо впливає на рівень інформаційної безпеки держави. Таким чином, інтегровані комп'ютерні системи науково-освітніх установ виступають джерелом технологій, необхідних для захисту національного інформаційного простору.

Заклади вищої освіти та академічні установи, використовуючи інтегровані комп'ютерні системи, забезпечують підготовку фахівців у галузі інформаційних

технологій, кібербезпеки, захисту інформації, системного аналізу та управління інформаційними ресурсами.

Саме в освітньо-науковому середовищі формуються професійні компетентності спеціалістів, які в подальшому працюють у державних органах, силових структурах, спеціальних службах, на підприємствах критичної інфраструктури, у банківській та телекомунікаційній сферах. Від рівня їх підготовки залежить здатність держави протидіяти інформаційним загрозам, кібератакам, витоку даних та іншим ризикам у інформаційній сфері.

У закладах вищої освіти та академічних установах зосереджено значні обсяги наукової, технічної, освітньої та управлінської інформації, яка має стратегічне значення для держави. Інтегровані комп'ютерні системи забезпечують збереження, обробку та передачу цих даних, що потребує застосування сучасних засобів захисту інформації.

Захист наукових розробок, результатів досліджень, баз даних, електронних бібліотек, дисертаційних матеріалів та службової інформації є важливою складовою інформаційної безпеки, оскільки їх втрата або несанкціонований доступ може завдати шкоди науковому, економічному та оборонному потенціалу держави.

Інтегровані комп'ютерні системи у науково-освітніх установах стали основою створення локальних, регіональних та національних інформаційних мереж, які забезпечують обмін даними між університетами, науковими інститутами, державними органами та міжнародними організаціями.

Функціонування таких мереж потребує впровадження систем автентифікації, контролю доступу, криптографічного захисту, резервування даних та моніторингу кіберзагроз. У результаті формується безпечна інформаційна інфраструктура, яка є необхідною умовою стабільного функціонування держави та її інтеграції у світовий інформаційний простір.

Наукові та освітні установи, використовуючи інтегровані комп'ютерні системи, здійснюють дослідження у сфері інформаційної безпеки, розробляють

методологічні підходи до захисту інформації, беруть участь у створенні нормативно-правової бази та державних програм інформатизації.

Експертний потенціал науково-освітнього середовища використовується при розробці стандартів інформаційної безпеки, концепцій розвитку інформаційного суспільства, стратегій кібербезпеки та програм цифрової трансформації. Це забезпечує науково обґрунтований підхід до формування державної політики у сфері захисту інформаційного простору.

У сучасних умовах інформаційна безпека держави безпосередньо пов'язана з протидією кіберзагрозам, інформаційним атакам, дезінформації, несанкціонованому доступу до інформаційних систем та порушенню функціонування критичної інфраструктури.

Інтегровані комп'ютерні системи у закладах вищої освіти та академічних установах використовуються для дослідження кіберінцидентів, моделювання інформаційних загроз, розробки засобів захисту та підготовки спеціалістів, здатних забезпечити стійкість держави до сучасних викликів у інформаційній сфері.

Загалом, інтегровані комп'ютерні системи у закладах вищої освіти й академічних установах України мають стратегічне значення для забезпечення інформаційної безпеки держави. Вони формують науково-технологічну основу захисту інформаційного простору, забезпечують підготовку висококваліфікованих кадрів, сприяють розвитку безпечної інформаційної інфраструктури, підтримують державну політику у сфері інформаційної безпеки та забезпечують здатність країни протидіяти сучасним інформаційним і кібернетичним загрозам. Саме тому науково-освітнє середовище є одним із ключових елементів системи національної та інформаційної безпеки України.

На початку XXI століття розвиток інтегрованих комп'ютерних систем у закладах вищої освіти й академічних установах України відбувається в умовах стрімкої цифровізації, зростання кіберзагроз, глобальної конкуренції у сфері інформаційних технологій та повномасштабної збройної агресії Російської

Федерації проти України. У цих умовах інформаційна інфраструктура науково-освітньої сфери набуває стратегічного значення, оскільки вона забезпечує підготовку кадрів, проведення наукових досліджень, функціонування державних інформаційних систем і підтримку національної безпеки. Сучасні тенденції розвитку інтегрованих комп'ютерних систем визначаються необхідністю підвищення їх стійкості, захищеності, автономності та здатності функціонувати в умовах воєнних і кібернетичних загроз.

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій характеризується зростанням кількості кіберзагроз, спрямованих на державні установи, наукові центри та заклади вищої освіти. Використання інтегрованих комп'ютерних систем поряд із перевагами створює ризики несанкціонованого доступу до даних, кібератак та порушення роботи інформаційних ресурсів, що потребує впровадження комплексних систем захисту інформації.

В умовах гібридної війни інформаційна безпека визначається як один із пріоритетних напрямів національної безпеки України, що передбачає розвиток стійкої системи кіберзахисту, впровадження сучасних технологій аналізу загроз та посилення контролю за цифровими комунікаціями.

У зв'язку з цим інтегровані комп'ютерні системи у закладах освіти та науки повинні відповідати вимогам кіберстійкості, включати механізми автентифікації, контролю доступу, резервування даних, моніторингу кіберінцидентів і швидкого відновлення після атак.

Однією з провідних тенденцій є створення інтегрованих мережевих середовищ, що об'єднують університети, академічні інститути, державні органи та міжнародні наукові центри. Використання хмарних технологій дозволяє забезпечити спільний доступ до ресурсів, організацію дистанційної освіти, проведення наукових досліджень і збереження даних у розподілених системах.

Формування хмароорієнтованого освітньо-наукового середовища сприяє інтеграції навчальних ресурсів, підтримці наукової співпраці та підвищенню

ефективності управління інформаційними процесами, що є важливою умовою сталого розвитку інформаційної інфраструктури держави.

У сучасних умовах такі системи повинні створюватися з урахуванням вимог інформаційної безпеки, захисту персональних даних і можливості функціонування в умовах обмеженого доступу до інфраструктури.

Російське вторгнення створило нові виклики для функціонування інформаційних систем закладів освіти і науки. Руйнування інфраструктури, переміщення університетів, відключення електроенергії, кібератаки та інформаційні операції проти України змусили науково-освітню сферу перейти до використання розподілених, резервованих і дистанційних інформаційних систем.

У сучасних умовах інтегровані комп'ютерні системи повинні забезпечувати:

- дистанційне навчання і віддалений доступ до ресурсів;
- збереження електронних архівів і баз даних;
- резервне копіювання інформації;
- можливість роботи у різних регіонах та за межами країни;
- захист від кібератак і інформаційних диверсій.

Досвід воєнного часу підтверджує, що стійкість інформаційної інфраструктури є важливою складовою обороноздатності держави, оскільки кібероперації є невід'ємною частиною сучасної війни.

В умовах глобальних загроз розвиток інтегрованих комп'ютерних систем у науково-освітній сфері України відбувається у напрямі активної інтеграції до міжнародного інформаційного простору. Це включає участь у міжнародних наукових мережах, освітніх платформах, програмах кібербезпеки та спільних дослідницьких проєктах.

Міжнародна співпраця дозволяє:

- отримувати доступ до сучасних технологій;
- підвищувати рівень кіберзахисту;

- забезпечувати збереження даних за межами зони бойових дій;
- готувати фахівців відповідно до світових стандартів;
- зміцнювати інформаційну стійкість держави.

У сучасних умовах міжнародна кооперація у сфері кібербезпеки розглядається як один із ключових елементів колективної системи захисту інформаційного простору.

Інтегровані комп'ютерні системи у закладах вищої освіти є основою підготовки спеціалістів у галузі кібербезпеки, комп'ютерних наук, телекомунікацій та інформаційних систем. Зростання кількості кіберзагроз і інформаційних операцій під час війни значно підвищило потребу у фахівцях, здатних забезпечити захист державних інформаційних ресурсів.

Освітні програми з кібербезпеки, комп'ютерної інженерії та інформаційних систем розширюються, а інтегровані комп'ютерні середовища використовуються для моделювання кіберзагроз, навчання захисту мереж та розробки нових засобів інформаційної безпеки.

У перспективі розвиток інтегрованих комп'ютерних систем у закладах вищої освіти й академічних установах України буде спрямований на:

- створення стійкої та захищеної національної інформаційної інфраструктури;
- впровадження технологій штучного інтелекту та великих даних;
- розвиток національних науково-освітніх мереж;
- посилення кіберзахисту критичної інформаційної інфраструктури;
- інтеграцію з європейськими та світовими інформаційними системами;
- створення резервованих і розподілених центрів обробки даних;
- підвищення ролі науки і освіти у системі національної безпеки.

Умови воєнного часу показали, що науково-освітнє середовище є не лише сферою підготовки кадрів, а й важливим елементом інформаційної оборони держави, здатним забезпечувати стійкість суспільства до зовнішніх інформаційних і кібернетичних впливів.

Сучасні тенденції розвитку інтегрованих комп'ютерних систем у закладах вищої освіти й академічних установах України визначаються необхідністю функціонування в умовах глобальних безпекових викликів, цифрової трансформації та російської військової агресії. Такі системи стають ключовим елементом національної інформаційної інфраструктури, забезпечують підготовку фахівців, розвиток наукових технологій, захист інформаційного простору та підтримку стійкості держави в умовах війни, що визначає їх стратегічне значення для сучасної та майбутньої системи національної безпеки України.

Висновки. У результаті проведеного монографічного дослідження процесу формування та розвитку інтегрованих комп'ютерних систем у закладах вищої освіти й академічних установах України у другій половині XX – на початку XXI століття встановлено, що еволюція цих систем є складовою загального процесу інформатизації суспільства та одним із важливих чинників формування національної інформаційної інфраструктури і забезпечення інформаційної безпеки держави. Аналіз історичних, технічних і організаційних аспектів розвитку автоматизованих, мережевих і розподілених інформаційних систем дозволяє сформулювати такі узагальнені висновки.

1. Формування інтегрованих комп'ютерних систем у закладах вищої освіти й академічних установах України має витоки у розвитку кібернетики, обчислювальної техніки та автоматизованих систем управління 50–70-х років XX століття, пов'язаних із діяльністю наукової школи В.М. Глушкова та створенням перших проєктів державних і міжвідомчих інформаційних мереж. Саме ці розробки заклали теоретичні та технологічні основи майбутніх телекомунікаційних і комп'ютерних мереж.

2. У другій половині XX століття розвиток комп'ютерних систем у науково-освітній сфері відбувався переважно у формі централізованих обчислювальних центрів та автоматизованих систем обробки даних, що забезпечували виконання наукових і виробничих завдань. Ці системи стали

прообразом сучасних інтегрованих інформаційних середовищ і створили передумови для переходу до мережевих технологій.

3. Вирішальним етапом становлення інтегрованих комп'ютерних систем стало створення в 1990-х роках науково-освітніх телекомунікаційних мереж, зокрема UARNet та УРАН, які забезпечили об'єднання університетів і наукових установ у єдиний інформаційний простір, відкрили доступ до глобальної мережі Інтернет і започаткували формування національної інформаційної інфраструктури у сфері науки й освіти.

4. Створення Академічної мережі обміну даними НАН України стало важливим кроком у розвитку високошвидкісних телекомунікаційних систем, що забезпечили об'єднання наукових центрів, використання суперкомп'ютерних ресурсів, розвиток грід-технологій та інтеграцію української науки до європейського і світового інформаційного простору.

5. Розвиток інтегрованих комп'ютерних систем у закладах освіти і науки відбувався у тісному зв'язку з державними програмами інформатизації, підтримкою з боку Міністерства освіти і науки України, Національної академії наук України та міжнародних організацій, що забезпечило можливість створення сучасної телекомунікаційної інфраструктури та впровадження нових інформаційних технологій.

6. Важливим етапом еволюції інтегрованих комп'ютерних систем стало впровадження розподілених програмно-апаратних середовищ і грід-технологій, які дали змогу об'єднати обчислювальні ресурси різних установ у єдину віртуальну систему та забезпечити виконання складних наукових і технічних завдань із використанням високопродуктивних обчислень.

7. Інтегровані комп'ютерні системи закладів вищої освіти й академічних установ стали важливим елементом формування національної інформаційної інфраструктури, оскільки саме в науково-освітньому середовищі створювалися нові інформаційні ресурси, програмні комплекси, мережеві технології та системи

управління, які згодом використовувалися в державному управлінні, економіці, оборонній сфері та соціальній галузі.

8. Значення інтегрованих комп'ютерних систем суттєво зросло у зв'язку з переходом до інформаційного суспільства, коли наукові та освітні інформаційні ресурси стали стратегічним фактором розвитку держави, а їх захист – важливою складовою національної безпеки. Системи, створені у закладах освіти і науки, забезпечують збереження наукових даних, функціонування електронних бібліотек, баз знань, дистанційного навчання та інформаційних сервісів.

9. У сучасних умовах інтегровані комп'ютерні системи відіграють ключову роль у забезпеченні інформаційної та кібернетичної безпеки держави, оскільки на їх базі здійснюється підготовка фахівців у сфері інформаційних технологій, кібербезпеки, телекомунікацій та системного аналізу, розробляються засоби захисту інформації та проводяться дослідження з протидії сучасним інформаційним загрозам.

10. Глобалізація інформаційного простору та розвиток міжнародних наукових мереж зумовили необхідність інтеграції українських науково-освітніх інформаційних систем у світову інфраструктуру, що було реалізовано через підключення до європейських і міжнародних мереж, участь у спільних дослідницьких проєктах та використання сучасних телекомунікаційних технологій.

11. Повномасштабне російське вторгнення в Україну істотно підвищило значення інтегрованих комп'ютерних систем у забезпеченні стійкості держави, оскільки вони дозволяють підтримувати безперервність освітнього процесу, зберігати наукові дані, забезпечувати дистанційну роботу, здійснювати захист інформаційних ресурсів та протидіяти кібернетичним і інформаційним атакам.

12. Сучасні тенденції розвитку інтегрованих комп'ютерних систем у закладах вищої освіти й академічних установах пов'язані з переходом до хмарних технологій, розподілених обчислювальних середовищ, штучного інтелекту, великих даних, високошвидкісних телекомунікаційних мереж та

створення захищених інформаційних платформ, здатних функціонувати в умовах глобальних безпекових викликів.

13. Перспективи подальшого розвитку інтегрованих комп'ютерних систем в Україні пов'язані зі створенням стійкої та захищеної національної інформаційної інфраструктури, поглибленням міжнародної наукової співпраці, розширенням використання високопродуктивних обчислень, а також підвищенням ролі науково-освітнього середовища у формуванні інформаційної та кібернетичної безпеки держави.

14. Таким чином, інтегровані комп'ютерні системи у закладах вищої освіти й академічних установах України є не лише результатом розвитку інформаційних технологій, але й стратегічним чинником забезпечення національної інформаційної інфраструктури, науково-технічного потенціалу та інформаційної безпеки держави в умовах глобальних викликів і воєнної агресії.

References:

Foster I. The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure / Ian Foster and Carl Kesselman. San Francisco, Morgan Kaufmann Publishers. 1998. 286 p. [Електронний ресурс] URL: https://dl.acm.org/doi/10.5555/289914

Nordugrid. 2012. [Електронний ресурс] URL: http://www.nordugrid.org

Ukrainian National Grid: Basic Coordination Centre (Grid achieve) [Електронний ресурс] URL: http://ung.bitp.kiev.ua/

URAN. [Електронний ресурс] URL: http://www.uran.net.ua

Блощинський І.Г. Історія створення, структура та аналіз сучасного стану впровадження дистанційної форми навчання у вищих навчальних закладах України. *Збірник наукових праць (педагогічні науки)*. 2011. 59. с. 7–11.

Бойко Ю.В., Зінов'єв М.Г., Свістунов С.Я., Судаков О.О. Український академічний Grid: досвід створення і перші результати експлуатації. *Математичні машини і системи*. 2008. 1. С. 68. [Електронний ресурс] URL: https://surl.lu/skbkkf

Галаган В., Домбругов М. Українська науково-освітня мережа «УРАН»: мета, завдання, топологія, організаційна структура, перспективи розвитку. «Інтернет-Освіта – Наука – 2002», третя міжнародна конференція ІОН–2002, 8–12 жовтня 2002 року. Збірник матеріалів конференції, том 1, Вінниця, УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002, с. 1–7. [Електронний ресурс] URL: https://uran.ua/archives/2002oct-vinnica/mido&gal-uran2002.pdf

Галаган В., Домбругов М., Журавков П., Тимофєєв В., Якименко Ю. Розбудова Національної науково-освітньої мережі «УРАН» в рамках державної програми «Інформаційні та комунікаційні технології в освіті та науці» на 2006-2010 роки. *Інформаційні технології в освіті.* 2009. 4. с. 18–30. [Електронний ресурс] URL: https://surl.li/cpglpz

Глушков В.М. Кибернетика (Краткий исторический очерк развития кибернетики в АН УССР). 1977. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://surl.li/arrzmc

Загородній А. Grid – нова інформаційно-обчислювальна технологія для науки. А. Загородній, Г. Зінов'єв, Є. Мартинов, С. Свистунов, В. Шадура. *Вісник НАН України*. 2005. 6. С. 20. [Електронний ресурс] URL: https://surl.li/dyjecv
Загородній А.Г. Б.Є. Патон і розвиток міжнародних наукових зв'язків. *Вісник НАН України*. 2012. 2. С. 106. [Електронний ресурс] URL: https://surl.li/bfnnqx
Згуровський М.З., Петренко А.І. Grid-технології для Е-науки і освіти. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2009. 2. с. 10–17. [Електронний ресурс] URL: https://surl.li/ibfalx
Інформаційні технології в НТУ «ХПІ». [Електронний ресурс] URL: https://www.kpi.kharkov.ua/ukr/tag/informatsijni-tehnologiyi/
Інститут теоретичної фізики імені М.М. Боголюбова НАН України, 2012. [Електронний ресурс] URL: https://bitp.kiev.ua/about
Історія Інституту фізики конденсованих систем. 2014. [Електронний ресурс] URL: https://surl.lt/vcsqnz
Історія Національного наукового центру Харківський фізико-технічний інститут. 2012. [Електронний ресурс] URL: https://www.kipt.kharkov.ua/ua/bhr.html
Лучук А.М. Устройства передачи дискретной информации. Київ, Техніка. 1978. 260 с.
Малиновський Б.Н. Історія обчислювальної техніки в особах. Київ, Фірма «Кит», ПТОО А.С.К. 1995. 384 с. [Електронний ресурс] URL: https://surl.li/owhjdf
Мартинов Є. То чи є Grid в Україні. Є. Мартинов, С. Свистунов. *Дзеркало тижня*. 2007. 10. [Електронний ресурс] URL: https://zn.ua/ukr/science/to_chi_e_grid_v_ukrayini.html
Мартинов Є. Український національний Grid – учасник міжнародного об'єднання NorduGrid. Є. Мартинов, О. Смірнова. *Вісник НАН України*. 2011. 12. С. 31. [Електронний ресурс] URL: https://surl.li/ftfcnk
Онопрієнко В.І., Соловйов В.П., Онопрієнко М.В. Інформатика в Україні: історія, наукові школи, сучасні проблеми. *Наука та наукознавство.* 2004. 4. с. 148–150. [Електронний ресурс] URL: https://surl.li/kvhweh
Петренко А.І. Національна Grid-інфраструктура для забезпечення наукових досліджень і освіти. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2008. 1. С. 79–92. [Електронний ресурс] URL: https://surl.li/mfgpgf
Положення про Український національний грід, 2010. [Електронний ресурс] URL: http://ung.bitp.kiev.ua/ua/ua/documents/
Постанова Кабінету Міністрів України від 07.12.2005 р. № 1153 «Про затвердження Державної програми «Інформаційні та комунікаційні технології в освіті і науці» на 2006-2010 роки» [Електронний ресурс] URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1153-2005-%D0%BF
Постанова Кабінету Міністрів України від 23.09.2009 р. № 1020 «Про затвердження «Державної цільової науково-технічної програми впровадження і застосування Grid-технологій на 2009-2013 роки» [Електронний ресурс] URL: https://surl.li/kojpax
Програма інформатизації Національної Академії наук України на 2010–2014 роки (результати за проектами 2010 року) [Електронний ресурс] URL: https://surli.cc/uvrkrl
Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми впровадження і застосування грід-технологій на 2009-2013 роки [Електронний ресурс] URL: https://surli.cc/qitcmv
Процикевич І. ДП УАРНЕТ ми починали з нуля. 2012. [Електронний ресурс] URL: https://surl.lu/bjeawa
Процикевич І.А. Державне підприємство Науково-телекомунікаційний центр «Українська академічна і дослідницька мережа» ІФКС НАН України». 2014. [Електронний ресурс] URL: https://surl.li/mmmegp
Ріжняк Р.Я. Історія розвитку розподілених програмно-апаратних комп'ютерних середовищ (GRID-інфраструктури) вищої освіти та науки України. *Історія науки і біографістика*. 2012. 4. [Електронний ресурс]. URL: https://surl.li/cvhxqj

Ріжняк Р.Я. Розвиток інформатики та інформаційних технологій у вищих навчальних закладах України у другій половині XX – на початку XXI століття. Кіровоград, Код. 2014. 436 с. [Електронний ресурс]. URL: https://surl.li/cpnihs

Ріжняк Р.Я. Роль інституту фізики конденсованих систем у розвитку науково-освітніх комп'ютерних мереж закладів вищої освіти та науки України. *Наукові записки. Серія: Історичні науки*. Випуск 23. Кропивницький, РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка, 2018. С. 216–226. [Електронний ресурс]. URL: https://surl.lu/bxnzyz

Ріжняк Р.Я. Створення та функціонування науково-освітніх комп'ютерних мереж закладів вищої освіти та науки України. *Історія науки і біографістика*. 2012. 3. [Електронний ресурс]. URL: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/INB/2012-3/12_riznyak.pdf

Сергієнко І. Наукові ідеї академіка В.М. Глушкова та розвиток сучасної інформатики. *Вісник НАН України*. 2008. 12. с. 9–29. [Електронний ресурс] URL: https://surl.lu/zefmfs

Сергієнко І.В. Становлення і розвиток досліджень з інформатики. Київ, Наукова думка. 1998. 204 с. ISBN 966-00-0400-1.

Спільна Постанова Президії Національної Академії наук України і Колегії Міністерства освіти України від 20 червня 1997 року «Про створення асоціації користувачів телекомунікаційної мережі і «Центру Європейської інтеграції». [Електронний ресурс] URL: http://www.uran.net.ua/archives/97jun-postanova/index.htm

Стріха М.В., Гладков О.В. Забезпечення доступу до електронних наукових видань через мережу УРАН. *Вісник НАУ*. 2009. 3. с. 188–194. [Електронний ресурс] URL: https://surl.li/amzifx

Хоменко Л.Г. История отечественной кибернетики и информатики. Киев, Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины. 1998. 455 с.