

А. ЗАГОРОДНІЙ, Г. ЗІНОВ'ЄВ, Є. МАРТИНОВ, С. СВИСТУНОВ, В. ШАДУРА

ГРІД — НОВА ІНФОРМАЦІЙНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ НАУКИ

Останнім часом ми стали очевидцями вибухового розвитку комп'ютерних систем та мережі Інтернет. Важко нині знайти освічену людину, яка б не чула про Інтернет, не була б його користувачем, не знайома з аббревіатурою WWW. Проте більшість із тих, хто послуговується комп'ютерами, навіть не підозрює, що ідея Інтернету народилася у лабораторії, головним завданням якої є вивчення елементарних частинок. Маловідомий також той факт, що п'ять років тому в цій самій лабораторії почали реалізовувати новий грандіозний проект, спрямований на стрімке збільшення комп'ютерних можливостей людства. Нова система обчислень дасть змогу виконувати завдання, які не під силу навіть найпотужнішим з існуючих суперкомп'ютерів. Це — Грід і Грід-комп'ютинг.

ЗАМІСТЬ ПЕРЕДМОВИ

Перш ніж викласти основну ідею Грід, показати, якого рівня розвитку і практичного втілення вона досягла, а також пояснити, чому ця ідея виникла там, де досліджуються елементарні частинки, доцільно стисло розповісти про згадану лабораторію. Вона сьогодні є європейським за статусом і світовим за значенням центром досліджень з фізики елементарних частинок. Це —

ЦЕРН (CERN, Conseil Européen de la Recherche Nucléaire). Офіційна назва англійською — European Organization for Nuclear Research (Європейська організація з ядерних досліджень), однак узвичаїлася французька аббревіатура "ЦЕРН".

Велика увага з боку ЄС, активна фінансова підтримка європейськими державами ЦЕРНу та досліджень у галузі фізики високих енергій визначаються такою обстави-

© ЗАГОРОДНІЙ Анатолій Глібович. Член-кореспондент НАН України. Директор Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України.

ЗІНОВ'ЄВ Геннадій Михайлович. Доктор фізико-математичних наук. Завідувач відділу фізики високих густин енергії цього ж інституту.

МАРТИНОВ Євген Сергійович. Доктор фізико-математичних наук. Провідний науковий співробітник цього ж інституту.

СВИСТУНОВ Сергій Ярославович. Кандидат технічних наук. Науковий співробітник цього ж інституту.

ШАДУРА Віталій Миколайович. Кандидат фізико-математичних наук. Старший науковий співробітник цього ж інституту (Київ). 2005.

ною. Фізика елементарних частинок, яка є у своїй основі експериментальною наукою, потребує постійного зростання матеріальних витрат. Проте, як свідчить історія її розвитку, ці витрати сторицею повертаються суспільству у вигляді нових наукових і промислових технологій, ефективних способів організації інформації та керування суспільством, нових методів освіти і засобів спілкування.

Ідея заснування ЦЕРНу належить французькому фізику, нобелівському лауреатові Луї де Бройлю. 1949 року на Європейській конференції з культури у Лозанні (Швейцарія) він запропонував створити міжнародну організацію для здійснення наукових досліджень. Де Бройль сказав тоді: "Наша увага зосереджується на створенні нової міжнародної організації для проведення науково-дослідницьких робіт, що виходять за межі національних програм... Ця організація могла б узяти на себе виконання таких завдань, обсяг і суть яких не під силу будь-якому одному національному інституту... Така ініціатива виправдає затрачені зусилля, ... зміцнить зв'язки між науковцями різних країн, розширить співробітництво, спростить розповсюдження результатів наукових розробок та інформації загалом. Окрім того, заснування наукового центру буде символом об'єднання інтелектуальних сил Європи". Ідею Луї де Бройля було підтримано урядами європейських держав, адже розорена повоєнна Європа не мала іншої можливості зберегти фундаментальну науку. І вже у 1952 році Європейська організація з ядерних досліджень була створена. Однак офіційним днем народження ЦЕРНу вважається 29 вересня 1954 року, коли 12 країн-учасниць ратифікували договір про її заснування.

Сьогодні на експериментальному обладнанні ЦЕРНу працює близько 7000 дослідників 80 національностей із 500 наукових центрів та університетів — це половина всіх

фізиків, що вивчають мікросвіт. ЦЕРН може пишатися численними видатними відкриттями у галузі фізики елементарних частинок та ядерної фізики, а також чималим переліком нобелівських лауреатів, відзначених цією премією за проведені тут дослідження. Цей унікальний, найбільший у світі науково-дослідницький центр розташований на захід від Женеви, на території Швейцарії і Франції, біля підніжжя гірського масиву Юра. Місцеві геологічні та сейсмічні умови дозволяють без побоювань будувати тут прискорювачі елементарних частинок.

Сьогодні до організації входять 20 країн-учасниць, є також країни-спостерігачі, серед яких — США, Японія, Росія та Китай. Їхні наукові центри беруть активну участь у роботі ЦЕРНу. Чимало країн, не будучи членами ЦЕРНу, є учасниками низки здійснюваних там наукових проектів. До таких країн належить й Україна. Зауважимо, що для розвитку не тільки вітчизняної фізики, а й інших природничих наук, було б необхідно підвищити статус нашої держави у цій організації.

ВІЗИТІВКА ЦЕРНу — ФІЗИКА ВИСОКИХ ЕНЕРГІЙ

За сучасними уявленнями такі елементарні частинки, як протони, нейтрони — складові елементи ядер атомів. Мезони — частинки, якими обмінюються протони і нейтрони при взаємодії, насправді не є елементарними. Вони складаються з більш фундаментальних частинок — кварків, що взаємодіють між собою, обмінюючись глюонами. Зусиллями теоретиків була створена теорія кварків і глюонів — квантова хромодинаміка, яка претендує на роль теорії сильних взаємодій.

Відомо, що у природі існують й інші типи взаємодій: електромагнітні, слабкі, гравітаційні. Вивчення їхніх властивостей і побудова теорії, яка б дала змогу описати ці взаємодії з єдиної точки зору, є головним

завданням теорії елементарних частинок. У цьому напрямі спостерігається значний поступ, однак залишається чимало нерозв'язаних проблем. Не вдаючись до їхнього обговорення, відзначимо дві важливі обставини. Правильність теорії завжди перевіряється експериментально, причому найбільшу цінність мають передбачення теоретиків, які згодом підтверджуються в експериментах. З другого боку, експериментальні результати, інколи несподівані, є потужним стимулом для розвитку теорії та джерелом нових, іноді фундаментальних, ідей.

Сучасна теорія передбачає кілька принципів явищ, що мають відбуватися при взаємодії адронів (загальна назва сильно-взаємодіючих частинок) високих енергій. Наведемо приклад. Перше — це існування нового стану речовини — кварк-глюонної плазми, коли "нормальні" частинки (протони, нейтрони тощо) розпадаються на складові — кварки та глюони, які вільно рухаються у тій ділянці, де утворилася надвисока густина ядерної речовини. Фізики сподіваються, що таких умов можна досягти під час зіткнення важких іонів — таких, зокрема, як ядра свинцю, котрі рухаються зі швидкостями, близькими до швидкості світла (тобто релятивістських). Інше принципове для перевірки теорії явище — передбачення існування нових, таких, що раніше не спостерігалися, важких частинок з масою, яка перевищує масу протонів більш як у сотню разів. Для утворення таких частинок потрібні зіткнення протонів (або ядер) дуже високих енергій.

З метою реалізації цих завдань і використовують прискорювачі елементарних частинок — головний, якщо не єдиний інструмент для експериментального дослідження взаємодії елементарних частинок та їхньої внутрішньої структури. Чим більше ми хочемо дізнатися про структуру речовини, чим "дрібніші" її складові ми прагнемо вивчати, тим з більшою енергією, а значить, і

швидкістю, ми повинні зіштовхувати взаємодіючі частинки. Тому в ЦЕРНі від самого його заснування будувалися дедалі потужніші прискорювачі елементарних частинок, розраховані на рекордні енергії зіткнення.

У 1999 році тут було ухвалено рішення про спорудження чергового прискорювача, який працюватиме на принципі зустрічних пучків частинок, що прискорюються. Два пучки (у кожному циклі прискорення пучки мають до 3000 протонів або ядер) будуть прискорюватися в одному кільці, але у протилежних напрямках. При цьому в кільці передбачаються чотири точки перетину траєкторій пучків, де розташовуватимуться детектори, які фіксуватимуть те, що відбувається при зіткненні частинок. Цей прискорювач, названий ЛНС (Large Hadron Collider — великий адронний зіштовхувач), має запрацювати у 2007 році. Прискорені в ЛНС два протони зіштовхуватимуться при сумарній енергії 14 Тераелектронвольт ($1,4 \cdot 10^{13}$ еВ), що у 14 тисяч разів перевищує повну енергію спокою протона ($\sim 10^9$ еВ). Цікаво навести деякі параметри ЛНС і детекторів, які характеризують масштабність проекту.

Кільце прискорювача має довжину 27 км, розташоване на глибині близько 100 метрів на території Швейцарії і Франції. Використовуючи надпровідні технології і працюючи при температурі, близькій до абсолютного нуля, ЛНС буде найбільшою у світі надпровідною установкою. Кожен із чотирьох детекторів (ALICE — A Large Ion Collider Experiment, ATLAS — A Toroidal LHC Apparatus, CMS — Compact Muon Solenoid, LHCb) — це грандіозна за розмірами (до 35 м заввишки) і масою (кілька десятків тисяч тонн) установка, що містить безліч спеціальних детекторів і калориметрів та інших пристроїв, щільно насичених найсучаснішою електронікою. Усе це високоточне та високотехнологічне облад-

нання необхідне для реалізації сучасного підходу до експериментів у фізиці високих енергій. Для створення цих детекторів і подальших експериментів з ними організовано великі міжнародні колаборації, які об'єднали десятки наукових організацій і тисячі фізиків, інженерів та комп'ютерних фахівців.

Донедавна експериментальні установки призначалися для спостереження і вимірювання певних спеціальних подій та процесів, що відбуваються при взаємодії частинок, тобто вони були вузько функціональними. Вимірювалася лише мала частина з того, що можна було би виміряти і що задавалося метою експерименту та обмеженими можливостями експериментальної установки. Тепер у ЦЕРНі буде реалізовано нову технологію фізичного експерименту. У детекторах ALICE, ATLAS і CMS фіксуватимуть і вимірюватимуть майже всі події та процеси, які відбуваються при зіткненні пучків (при цьому зберігається і можливість налагодження окремих частин детектора задля спостереження особливих, найцікавіших з погляду фізики процесів). Щоб збагнути складність завдання, потрібно знати, що при такій енергії взаємодії у зіткненні тільки двох частинок (а в ділянці перетину пучків майже водночас відбуваються сотні, а то й тисячі індивідуальних зіткнень) може народжуватися до кількох тисяч частинок, які слід ідентифікувати. У кожному індивідуальному зіткненні потрібно визначити кількість і тип народжених частинок, виміряти їхні імпульси та енергії, кути розльоту тощо. Складність завдання у кілька разів зростає у випадку прискорення та зіткнення важких ядер, що містять сотні протонів і нейтронів.

Подальша робота з цими експериментальними даними виконується у три етапи:

- ♦ запис усієї інформації, одержаної від детектора (ці дані можна назвати "сирими", або первинними), у цифровому вигляді,

прийнятному для наступної комп'ютерної обробки;

- ♦ виділення з усіх зафіксованих подій індивідуальних, тобто тих, що відбулися при зіткненні двох протонів (або ядер), та їх реконструкція (це, образно кажучи, визначення портрета кожного зіткнення); запис цих подій у базі даних;
- ♦ відбір подій, цікавих з погляду фізики (подій спеціального виду зі специфічним розподілом народжених частинок за імпульсами і кутами розльоту); такі події можуть свідчити, наприклад, про утворення кварк-глюонної плазми та нових передбачуваних частинок або про інші цікаві процеси; запис цих подій в окрему базу даних для наступного, пильнішого і детальнішого, аналізу.

Ці вельми непрості завдання можна виконати лише за умови значного збільшення можливостей зберігання та комп'ютерної обробки всієї одержаної інформації. Досвід, набутий на інших прискорювачах, і засновані на ньому попередні оцінки числа подій (з урахуванням їх складності, зумовленої вищою енергією частинок), спонукали до таких висновків.

У режимі роботи ЛНС щосекунди відбуватиметься майже 40 млн зіткнень, однак тільки близько сотні з них після фільтрації подій буде ідентифіковано як цікаву подію. В електронній формі кожна подія — це 1 MBt (1 Мегабайт) даних. Отже, у робочому режимі необхідно записувати 0,1 GBt даних за секунду. Всі дані, які знімаються з чотирьох детекторів та записуються протягом року, — це 10^{10} подій, що загалом становить близько 10 PBt (петабайт, $1\text{PBt} = 10^3\text{TBt} = 10^6\text{GBt} = 10^9\text{MBt}$) оцифрованих даних. Для порівняння скажемо, що обсяг книг, які друкуються в усьому світі протягом року, оцінюється приблизно 1 TBt (терабайт). Обсяг ЛНС-даних відповідає 20 мільйонам стандартних компакт-дисків щорічно! Якщо ці диски покласти

один на одний, одержимо "стовпчик" високою близько 20 км. Аналіз ЛНС даних потребує комп'ютерної потужності, яка є еквівалентною ~ 100000 персональних комп'ютерів із сучасними швидкими процесорами!

Отже, виникають гострі запитання:

- де експериментатори зберігатимуть усі ці дані?
- як вони оброблятимуться?
- де експериментатори і теоретики можуть знайти для цього комп'ютерні потужності?

У ЦЕРНі є сучасний обчислювальний центр, який забезпечує інформаційно-обчислювальну підтримку наукових досліджень та інженерно-технічних робіт. Сьогодні він обладнаний більш як 3000 двопроцесорних комп'ютерів, а до 2008 року їхня кількість зросте до 8000. Будуть збільшені й ресурси для зберігання інформації, які тепер дають змогу записати близько 1 PВт інформації на дисках та інших носіях. Але цього зовсім недостатньо для повноцінної обробки даних, що надходитимуть від експериментів на ЛНС.

ГРІД — РОЗПОДІЛЕНА СИСТЕМА ОБЧИСЛЕНЬ

 Для розв'язання цієї проблеми було запропоновано об'єднати комп'ютерні ресурси багатьох фізичних центрів і лабораторій, розкиданих по всьому світу, в єдину обчислювальну мережу. Така мережа одержала назву "Грід" (Grid), що віддзеркалює аналогію з електромережами, які обплутують величезний простір (electric power grid). Саме поняття "Грід" з'явилося на початку 90-х років, коли у США виникла ідея створити із суперкомп'ютерних центрів надпотужний Метакомп'ютер. Концепцію такої інформаційно-обчислювальної інфраструктури було узагальнено і викладено американськими вченими Йеном Фостером і Карлом Кессельманом у праці "The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure" (Morgan Kaufmann, 1999; ISBN 1-55860-475-8), яку іноді називають біблією Грід.

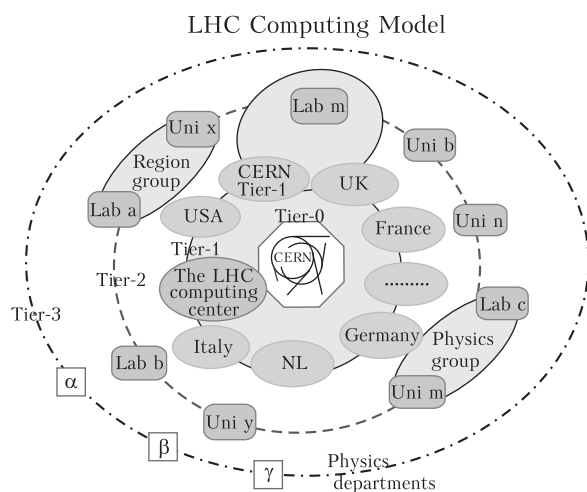
Сучасний стан обчислювальних інфраструктур можна порівняти зі станом електричних систем на початку ХХ століття. Тоді практично кожен користувач електроенергії мав свій власний генератор. А далі були революційні кроки: виникнення електромереж, створення технологій передачі та розподілу електроенергії, організація стандартизованої служби універсального і гарантованого доступу до електрики. Коли певна електростанція перевантажується споживачами, то у таких мережах електроенергія автоматично перекидається від недовантажених станцій.

Аналогічно працюють і комп'ютерні кластери у мережах Грід (кластер — сукупність комп'ютерів, з'єднаних певним чином; навіть один персональний комп'ютер може виступати як кластер). У випадку перевантаження певного кластера завдання автоматично передаються вільним кластерам. У комп'ютерних Грід-системах різні організації пов'язані між собою за допомогою Інтернету у такий спосіб, що їхні обчислювальні потужності об'єднуються. Система містить обчислювальні ресурси та ресурси зберігання даних, але при цьому кожна організація контролює використання своїх ресурсів. Користувачі можуть отримувати практично необмежені ресурси для обчислень і зберігання даних, не замислюючись над їхнім походженням.

Отже, Грід — це технології з гнучким і потужним обчислювальним середовищем, що може розглядатися як еволюційне продовження Інтернету. У цьому сенсі Грід відіграє таку саму роль для обчислювальних ресурсів, як і Всесвітня павутина WWW для вільного доступу до мережі документів, які містять інформацію.

Концепція Грід базується на таких основних засадах:

- швидке і постійне збільшення продуктивності мікропроцесорів масового виробництва; сучасний персональний комп'ютер на



Ієрархічний принцип організації інформаційно-обчислювальної системи LHC

базі процесора Pentium 4 зрівняється за швидкістю обчислень із суперкомп'ютерами десятирічної давнини;

- поява швидкісних оптоволоконних ліній зв'язку; сьогодні базові лінії зв'язку у мережі Інтернет мають пропускну здатність 10 Гігабіт/с і вище, а підключення до мережі багатьох наукових організацій відбувається на швидкості 1-2 Гігабіт/с;
- феномен Інтернету, глобалізація процесу обміну інформацією та інтеграція світової економіки;
- безперервне вдосконалювання технологій і засобів інформаційної безпеки.

У 2001 році стартував проект розробки та реалізації інформаційно-обчислювальної системи, яка одержала назву LHC Computing Grid (LCG). Проект передбачає створення регіональних центрів та розробку специфічних комп'ютерних програм для забезпечення розрахунків.

Результатом моделювання системи LHC, проведеного наприкінці 90-х років у межах міжнародного проекту MONARC, стала розподілена модель архітектури. Повний обсяг інформації з детекторів LHC після обробки у реальному часі та первинної реконструкції (тобто відновлення треків час-

тинок, їхніх імпульсів та інших характеристик з набору сигналів від детекторів) має спрямовуватися для подальшої обробки та аналізу до регіональних центрів.

Ієрархічний принцип організації інформаційно-обчислювальної системи LHC (ілюструється на рисунку) припускає створення центрів різних ярусів (tier): Tier-0 (ЦЕРН) → Tier-1 → Tier-2 → Tier-3 + комп'ютери користувачів. Яруси розрізняються як за масштабом обчислювальних та архівних ресурсів, так і за виконуваними функціями.

Tier-0 — первинна реконструкція подій, калібрування, зберігання копій повних баз даних; **Tier-1** — повна реконструкція подій, зберігання актуальних баз даних про події, створення та зберігання наборів проаналізованих подій, моделювання, аналіз; **Tier-2** — реплікація та зберігання наборів проаналізованих подій, моделювання, аналіз; **Tier-3** — кластери окремих дослідницьких груп, навіть окремі персональні комп'ютери.

Планується створення чотирьох-шести центрів Tier-1 для кожного із чотирьох експериментів LHC. Передбачувана кількість центрів Tier-2 — близько 25 для кожного з експериментів. Розподіл комп'ютерних ресурсів по ярусах Tier-0, Tier-1 й Tier-2 має бути приблизно рівномірним. ЦЕРН створює комплекс Tier-0+Tier-1 у вигляді єдиної обчислювальної системи, яка спільно використовуватиметься всіма чотирма колабораціями LHC.

З розвитком проекту уточнюватимуться архітектура системи та її параметри. За попередніми оцінками, для кожного експерименту LHC обчислювальні потужності мають включати близько 10 тис. двопроцесорних комп'ютерів Pentium 4/2ГГц. Якщо ж до кінця 2006 року потужність процесорів зросте на порядок, то для кожного з експериментів LHC потрібна буде обчислювальна потужність, яка відповідає кластеру приблизно з тисячі двопроцесорних комп'ютерів. Такий рівень видається цілком

реалістичним, тим паче, що дві третини цієї потужності планується розмістити у регіональних центрах. Однак тут основна проблема — організація когерентної роботи системи регіональних центрів із розподіленою по них базою даних подій. Ідеться про те, що всі операції з окремою подією (реконструкція, перетворення на різні формати, аналіз) виконуються на ПК досить швидко, причому операції з кожною подією здійснюються незалежно від інших подій. Звичайно, потік або набір простих та однотипних задач легко розпаралелюється, тож використання суперкомп'ютерів, безперечно, призведе до істотного збільшення продуктивності. Проте для багатьох задач аналогічного ефекту можна досягти, використовуючи прості набори персональних комп'ютерів, об'єднаних локальною мережею, — кластерів, де один із комп'ютерів розподіляє завдання за принципом "одна задача — один процесор". У фізиці високих енергій такі обчислювальні кластери називають фермами. Практика останнього десятиліття засвідчила, що використання ферм у кілька разів дешевше, ніж суперкомп'ютерів, і дає такий самий ефект продуктивності для більшості прикладних завдань. Але найголовніше те, що ферми можна будувати на основі обладнання масового виробництва.

Проект MONARC дав також й оцінки пропускну здатності ліній зв'язку у межах жорсткої ієрархічно розподіленої моделі. Лінії зв'язку Tier-1—Tier-0 повинні мати пропускну здатність не менше 1,5 Гбіт/с для кожного з експериментів ALICE, ATLAS і CMS і не менше 0,3 Гбіт/с — для експерименту LHCb. Відповідно для лінії зв'язку Tier-2—Tier-1 пропускну здатність має бути не меншою від 0,622 Гбіт/с. Звичайно, ці оцінки з часом також змінюватимуться. Сьогодні ж для ліній зв'язку ЦЕРНу з регіональними центрами та між основними з них вважається необхідною пропускну здатність 1—2 Гбіт/с.

Проект LCG реалізується у два етапи. 2003 року почав працювати прототип LCG, що об'єднав у тестовому режимі Tier-1, Tier-2 центри в Італії, Франції, Великій Британії, Німеччині, США, Росії. Цьогоріч перша фаза проекту LCG (створення повномасштабного прототипу та робочої системи LCG) завершується і можна буде стверджувати, що ідея Грід утілена у життя. Другою фазою є доведення робочої інформаційно-обчислювальної системи LHC до стану готовності до обробки й аналізу експериментальних даних на момент початку їхнього надходження у 2007 році.

Всебічно досліджуючи сучасні прикладні проблеми, досить часто доводиться розв'язувати безліч обчислювальних задач, кожна з яких сама по собі нескладна. І в цьому плані Грід, як глобальне об'єднання процесорів, є, радше, обчислювальною фермою, ніж суперкомп'ютером. Але, крім продуктивності (швидкості обчислювань у реальному часі), він має й іншу "родзинку", пов'язану з можливістю використання географічно розподілених даних для розв'язання сформульованої задачі без транспортування даних в одне місце. Справді, задача може мігрувати від сайту до сайту відповідно до того, де зберігаються необхідні дані або програми, а остаточний результат користувач отримує після завершення всіх обчислень.

Технологія Грід спрямована на використання всіх видів комп'ютерних ресурсів, незалежно від типів операційних систем і технічних засобів. Це означає, що підготовлена за вказаною технологією задача не прив'язана до конкретного виду техніки, тобто може бути легко перенесена з однієї платформи на іншу.

Грід — це набір стандартизованих сервісів, які виконуються у фоновому режимі за універсальними оптимізуючими алгоритмами через використання спеціальних протоколів і стандартних програмних засобів проміжного рівня (middleware). У цьому

Грід нагадує Всесвітню павутину, де інформація з певного сайту надходить згідно з протоколом (http) і з використанням програм — Web-браузерів, сама ж інформація записується за певним стандартом (html). Для Грїду набір таких протоколів, стандартів і служб виявляється значно ширшим.

Грїд передусім є сервісом для сумісного доступу до географічно віддалених гетерогенних комп'ютерних ресурсів. Важлива обов'язкова вимога — це забезпечення надійності доступу до обчислювальних ресурсів. При цьому має гарантуватися безпека як для завдання, що виконується (завдання і дані не повинні губитися і мають бути захищені від несанкціонованого доступу до них), так і для використовуваного комп'ютерного ресурсу.

Велика увага у функціонуванні нової технології приділяється сервісу зі створення та обслуговування віртуальних обчислювальних організацій або лабораторій (virtual organizations/laboratories). Саме на рівні віртуальної організації і здійснюються колективізація ресурсів та конкретні заходи безпеки.

Цей, далеко не повний, перелік вимог до Грїду свідчить, що реалізація ідеї "обчислень через Інтернет" не може бути простим розширенням Web-технології. Грїд потребує низки принципово нових рішень. Проте цілком закономірно вважається, що "Грїд — це наступний революційний етап розвитку WWW у XXI столітті". З'явилося навіть нове словосполучення: "World Wide Grid — WWG".

ПЕРСПЕКТИВИ ГРІДУ

Сьогодні Грїд — не тільки революційна концепція, це вже працюючі технології. Сотні університетів із десятків країн світу об'єднують зусилля для спільного дослідження наукових проблем, які потребують надзвичайно великих обчислень з використанням безпрецедентного обсягу даних. У

багатьох державах існують національні програми, виділено чималі кошти на розробку національних "Грїдів". Уже створюються Грїд-проекти, спрямовані на використання нової комп'ютерної технології не тільки для фізики високих енергій, а й для інших наук та сфер діяльності. Це зокрема:

- медицина й охорона здоров'я (спостереження, діагностика, лікування);
- біоінформатика (дослідження геному людини для розуміння генетичних хвороб);
- нанотехнологія (розробка нових матеріалів на молекулярному рівні);
- інженерія (оптимізація, стимуляція, аналіз відмов, віддалений доступ до інструментів та контроль);
- природні ресурси і навколишнє середовище (моніторинг, прогноз погоди, моделювання та прогнози для складних систем).

Найважливішим з-поміж таких проектів є європейський проект EGEE (Enabling Grids for E-science in Europe). Його мета — об'єднати національні, регіональні і тематичні Грїд-розробки, що вже ведуться, у єдину цілісну Грїд-інфраструктуру для підтримки наукових досліджень; забезпечити цілодобовий Грїд-сервіс для європейської науки; стати першим "мультинауковим" виробником Грїд-послуг.

Від самого початку роботи EGEE в 2004 році у проекті брали участь не тільки європейські, а й американські університети, 8 російських науково-дослідних інститутів, лабораторії з Ізраїлю. Загалом у ньому задіяно 70 лабораторій із 27 країн світу. Важливо зазначити, що Європейський Союз тільки для розробки цього проекту і його розгалужень виділив 100 млн євро терміном на чотири роки.

Прикладами застосування Грїд-технологій в інших галузях науки є такі дочірні до EGEE проекти, як ASTROGRID, BIO-INFORMATICS, CROSSGRID, EURO-GRID, Earth System Grid II, MAM-

MOGRID. Безліч спеціалізованих проєктів розробляються також в інших частинах світу, найчастіше вони спільно здійснюються багатьма країнами. Велику зацікавленість у використанні Грід-технологій демонструють потужні промислові корпорації, ділові та фінансові структури. Існують проєкти застосування Грід-технологій у системі освіти (віртуальні аудиторії та конференції).

Грід-технології тільки входять у наше життя, але, безсумнівно, невдовзі суспільство переконається у винятковій цінності розподіленого метакомп'ютерингу і самої Грід-концепції — об'єднанні можливостей усіх для розв'язання завдань кожного. Сьогодні науковий світ уже почав інтенсивно використовувати концепцію Грід-технологій для створення інфраструктури, що забезпечує глобальну інтеграцію інформаційних та обчислювальних ресурсів.

Україна має можливість долучитися до цього процесу в повному обсязі. Наявний досвід участі вітчизняних наукових організацій у міжнародних проєктах, зокрема у галузі фізики високих енергій, дає підстави для такої кооперації. Досить важливою уявляється участь України у найбільших міжнародних наукових проєктах LHC та

LCG, де майже завершено формування унікальної комп'ютерної інфраструктури на основі Грід-технологій. Це співробітництво відкриє реальні перспективи для практичного використання Грід-технологій не тільки у сфері фізики високих енергій, а й для поширення його на інші напрями досліджень, які здійснюються у Національній академії наук України. Ми вважаємо, що НАН України може і повинна стати ініціатором розгортання загальнонаціональної мережі Грід. Початком такої мережі може бути мінімальна Грід-платформа, яка вже інстальована і проходить тестування в Інституті теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України. Цю платформу найближчим часом буде модифіковано та посилено. Отже, вона стане першим в Україні працюючим Грід-вузлом.

Зацікавленим читачам пропонуємо такі веб-сайти, де можна знайти детальнішу інформацію про ЦЕРН, фізику високих енергій, Грід та його застосування в різних галузях науки, а також посилання на інші веб-сайти відповідної тематики:

- ✦ <http://www.cern.ch>;
- ✦ <http://gridcafe.web.cern.ch/gridcafe/>;
- ✦ <http://www.gridclub.ru>.