

НАУКОВІ ІДЕЇ АКАДЕМІКА В.М. ГЛУШКОВА ТА РОЗВИТОК СУЧАСНОЇ ІНФОРМАТИКИ*

Новаторська наукова діяльність засновника і першого директора Інституту кібернетики академіка Віктора Михайловича Глушкова справила величезний вплив на розвиток вітчизняної кібернетики і практику застосування її досягнень у науці, техніці, промисловому виробництві та інших сферах суспільного життя. Ідеї В.М. Глушкова сприяли розвитку кібернетики не лише в Україні, але й у світі, оскільки більшість напрямів сучасної інформатики свого часу перебувала в колі наукових інтересів ученого і почала розвиватися під його керівництвом або під впливом його фундаментальних праць.

В останні десятиріччя і в нашій країні, і за кордоном посилилась увага до можливостей використання комп'ютерних технологій для вивчення складних проблем економіки, медицини, біології, матеріалознавства, енергетики, екології та захисту навколишнього середовища, дослідження процесів у космосі й світовому океані. Саме застосування комп'ютерних технологій у цих напрямках наукової діяльності сприяло досягненню значних успіхів.

Аналізу наукової спадщини В.М. Глушкова вже присвячено чимало досліджень. У пропонованій публікації, роблячи ще один крок до її осмислення, автор наводить численні приклади творчого розвитку ідей В.М. Глушкова і ефективного практичного застосування створених завдяки цьому розробок.

МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ І РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ПРОГРАМУВАННЯ

Програмування та розвиток комп'ютерних технологій в Україні мають велику й багату історію, яка розпочалася в кінці 50-х років ХХ століття, коли послідовники та учні С.О. Лебедева створили обчислювальну машину «Київ». До її розроблення були залучені математики, які створили першу в Радянському Союзі алгоритмічну мову програмування — мову адресного програмування (В.С. Королюк та К.Л. Ющенко). Автори цієї мови цілком правильно визначили основні принци-

пи побудови мов програмування: використання формул та оператора присвоювання. Але головна ідея полягала в уведенні в мову поняття адреси й розділенні адреси та її вмісту разом із визначенням операції взяття вмісту за адресою.

Адресну мову створювали в характерному для того часу відриві від світової програмістської спільноти, де вже дозрівали ідеї АЛГОЛу та ФОРТРАНУ. Можливо, за наявності контактів із цією спільнотою адресна мова могла б стати однією з перших мов програмування, поширених у світі. Проте через відомі причини це було неможливо. Тому нам довелося прийняти і Алгол, і Фортран, і ЛІСП у вже готовому вигляді. А група К.Л. Ющенко, яка згодом виросла в одну з найвідоміших у Союзі наукових

* Публікацію підготовано на основі доповіді, виголошеної 11 вересня ц. р. на науковій конференції з нагоди 85-річчя від дня народження В.М. Глушкова.

шкіл, перейшла на розроблення трансляторів для загальноприйнятих мов програмування, а також теоретичних питань.

Паралельно з першими мовами і трансляторами В.М. Глушков та його учні заклали основи автоматного-алгебраїчних методів, які пізніше стали визначальними для української школи програмування. Роль автоматного-алгебраїчних методів у сучасній комп'ютерній науці визначена поширенням декларативних мов програмування, які широко застосовують як безпосередньо для створення програмного продукту, так і для специфікації та верифікації програмних систем. Необхідність точного визначення семантики мов програмування та її використання при побудові трансляторів і генераторів коду вимагає застосування алгебро-логічних та автоматних методів, підвищує їхню роль у теоретичному обґрунтуванні методів і технологій створення надійного софтверу. У сучасних технологіях комп'ютерної інженерії дедалі більшу роль відіграють формальні методи верифікації та розроблення програм. Зростання ролі моделей взаємодії системних компонент проти моделей обчислень і постійна інтелектуалізація софтверу потребує інтеграції різноманітних сучасних технологій, яку найбільш ефективно можна здійснювати саме на базі автоматного-алгебраїчних методів.

В Україні розвиток автоматного-алгебраїчних методів у програмуванні та проектуванні обчислювальних систем пов'язаний з відомими працями В.М. Глушкова, його учнів і послідовників з теорії автоматів, прикладної теорії алгоритмів та штучного інтелекту. Теоретичні дослідження представників школи В.М. Глушкова були завжди пов'язані з прикладними проектами і розвивалися в тісному взаємозв'язку з ними.

Основні праці з теорії автоматів В.М. Глушков написав у 1959-1960 рр. Він одночасно йшов у двох напрямках. Перший був орі-

єнтований на математиків. У ньому теорію абстрактних автоматів розглядали як математичну теорію, що використовує абстрактно-алгебраїчні побудови. Другий напрям був спрямований на прикладних математиків та інженерів — творців цифрової апаратури. У 1962 році вийшла монографія В.М. Глушкова [7], яка відіграла визначну роль у поширенні формалізованих методів проектування серед інженерів та сприяла підвищенню їхньої математичної культури. На цій книзі виховано декілька поколінь фахівців у галузі комп'ютерної техніки. У 1964 році за роботи з теорії автоматів В.М. Глушков був удостоєний Ленінської премії.

Важливу роль у становленні теорії автоматів відіграв профільний семінар, який розпочав роботу в 1959 р. і працює донині. Серед основних його учасників були П.І. Андон, Ю.В. Капітонова, О.А. Летишевський, В.Н. Редько та інші учні В.М. Глушкова. Згодом кожен із них створив свій науковий напрям, розвивав та збагачував автоматного-алгебраїчні методи як у теоретичних, так і в прикладних сферах інформатики, передусім у програмуванні.

Крім розроблення теоретичних проблем, колектив молодих учених уже на ранніх стадіях розвитку теорії автоматів розпочав роботи над її застосуванням. Усі основні алгоритми технології розроблення електронних схем на основі теорії скінченних автоматів були реалізовані на машині «Київ» і стали основою «Малої системи автоматизації синтезу цифрових автоматів» (Ю.В. Капітонова, П.І. Андон та ін.). Наступним етапом застосування теорії автоматів стала мала обчислювальна машина МІР (машина для інженерних розрахунків) — перший у світі прототип сучасних персональних комп'ютерів.

Проект машини, яка заклала основу майбутньої серії малих обчислювальних машин МІР, був унікальним поєднанням но-

вих ідей у програмуванні та архітектурі обчислювальних машин. Було поставлено завдання синтезувати у вигляді цифрового автомата електронний калькулятор, який уміє не тільки виконувати арифметичні дії, але й обчислювати інтеграли, розв'язувати (чисельно) диференційні рівняння тощо. Після того як стало зрозуміло, що потрібно зробити машину з достатньо розвинутою вхідною мовою, було вирішено застосувати ідею апаратної інтерпретації мови високого рівня, яку вже було використано в попередньому проекті машини «Україна» (В.М. Глушков, З.Л. Рабинович). При цьому розуміння апаратурою мови високого рівня розглядали як шлях до підвищення внутрішнього інтелекту обчислювальної машини.

Наступним етапом стало збагачення вхідної мови можливістю працювати не тільки з числами, але й із математичними виразами та формулами. Мова АНАЛІТИК була однією з перших мов комп'ютерної алгебри. Окрім розвинутого апарату маніпулювання символічною інформацією, у ній уперше було застосовано перетворення алгебраїчних виразів за допомогою систем переписувальних правил у семантично складній алгебрі, що включала фактично всі основні функції математичного аналізу аж до символічного інтегрування аналітичних виразів. Мова АНАЛІТИК була відомою в зарубіжному науковому співтоваристві і мала визначальний вплив на подальший розвиток засобів комп'ютерної алгебри. У 1968 році колектив авторів машин серії МІР відзначено Державною премією СРСР.

У мові АНАЛІТИК уперше реалізовано парадигму алгебраїчного програмування, тобто програмування з використанням переписувальних правил. Уже на початку 90-х років під керівництвом О.А. Летичевського було розроблено систему алгебраїчного програмування APS, що продовжила традиції машин серії МІР та знайшла ши-



В.М. Глушков

роке застосування в комп'ютерній алгебрі, верифікації програм і штучному інтелекті. Нині систему алгебраїчного програмування широко використовують як засіб для реалізації нових технологій проектування і розроблення програмного забезпечення, у тому числі й інерційного програмування та моделювання, про що буде сказано далі.

Наступні кроки розвитку прикладної теорії автоматів були зумовлені потребою формалізувати блочний та алгоритмічний етапи проектування комп'ютерів. Підхід до розв'язання цих проблем В.М. Глушков запропонував у 1965 році в низці своїх праць [7, 8]. У першій з них було запропоновано модель комп'ютера, складену з двох автоматів, що взаємодіють, — керувального та операційного. При цьому операційний автомат визначено як сукупність скінченних або нескінченних регістрів разом із заданими на них періодично-визначеними перетвореннями. Локальний характер таких перетворень та їхня періодичність щодо розрядів регістра наближають це поняття до конструкцій, які застосовують на практиці.

Використання нової моделі дало можливість сформулювати та розв'язати нові задачі, яких не можна було розв'язати за допомогою теорії скінченних автоматів. Друга робота поклала початок нового напрямку в теоретичній кібернетиці — теорії формальних перетворень програм та мікропрограм на базі алгебри алгоритмів.

Композиція двох автоматів, що взаємодіють, — це окремий випадок загального поняття дискретного перетворювача, яке було досліджене в працях В.М. Глушкова та його учнів. Ці дослідження розвивалися у двох напрямках: 1) дослідження абстрактно-алгебраїчних задач — розпізнавання еквівалентності, оптимізація за часом роботи, вивчення напівгрупових співвідношень і т. д.; 2) розроблення прикладних систем автоматизації проектування комп'ютерів, мов для описання алгоритмів функціонування пристроїв, методів та алгоритмів. У 70-х роках було створено систему ПРОЕКТ — автоматизація проектування комп'ютерів спільно з їхнім математичним (програмним) забезпеченням [9]. Теоретичне підґрунтя цієї розробки заклали теорія дискретних перетворювачів і алгебра алгоритмів.

Алгебра алгоритмів (у 1965 році В.М. Глушков називав її мікропрограмною алгеброю, вживають також термін система алгоритмічних алгебр — САА) — це двохосновна алгебра, що складається з алгебри операторів і алгебри умов. Внутрішня операція алгебри операторів — суперпозиція, а дві зовнішні операції, що пов'язують алгебру операторів з алгеброю умов, це умовний вибір та умовна ітерація. Справжнім відкриттям став винахід операції множення оператора на умову: $P\alpha$ істинне, якщо α буде істинним після завершення оператора P (зауважимо, що темпоральна логіка, до якої належить ця операція, ще тільки зароджувалася). Наявність такої операції дає можливість довести теорему аналізу: *усяку програму з переходами можна представити*

в регулярному вигляді, тобто як оператор алгебри алгоритмів із тим самим інформаційним середовищем, твірними операторами й умовами.

Великий внесок у розвиток алгебри алгоритмів та її застосувань до автоматизації та проектування програмних систем на основі формальних перетворень зробили К.Л. Ющенко та Г.О. Цейтлін. Монографію [10], яку вони написали разом із В.М. Глушковым, багато разів перевидавали, її також перекладено за кордоном.

Учням В.М. Глушкова вдалося здійснити подальший розвиток теорії дискретних перетворювачів інформації. Якщо дискретний перетворювач спочатку розглядали як окремий процес оброблення інформації, то А.В. Анісімов додав до цієї моделі зовнішні взаємодії та можливість рекурсивного породження процесів. Детально досліджено алгоритмічні та обчислювальні можливості такої моделі. Таким чином, він сформулював потужну теорію рекурсивних перетворювачів інформації [11].

Для опису складних рекурсивно-паралельних процесів оброблення інформації А.В. Анісімов застосував підхід, при якому базові перетворювачі інформації прив'язані до комунікаційного простору, що задає топологію розвитку та взаємодії процесів. Якщо базові перетворювачі інформації описують у певній стандартній мові програмування, то, додаючи до цієї мови спеціально розроблені засоби опису комунікаційного простору та взаємодії процесів, отримаємо засіб опису складних рекурсивно-паралельних алгоритмів. Це так звані ПАРКС-системи програмування (ПАРКС — паралельні асинхронні рекурсивні керувальні системи) [12]. Під впливом робіт В.М. Глушкова та А.В. Анісімова [11, 12] було розроблено декілька конкретних розширень відомих мов програмування ПАРКС (Паскаль), ПАРКС (С), ПАРКС (Java).

А.В. Анісімов успішно застосував рекурсивний аналіз, тобто виділення базових складових частин і встановлення їхніх рекурсивних взаємодій, для лінгвістичних процесів і побудови систем штучного інтелекту. Було також розроблено низку ефективних алгоритмів комп'ютерних технологій: неоднорідне сортування, локальні алгоритми на графах, оброблення дерев і текстів на природній мові. Особливо слід відзначити алгоритми оброблення надвеликих чисел, які мають безпосереднє застосування для завдань захисту інформації [13].

Ідеї, висловлені В.М. Глушковым [5] стосовно перспективних методів автоматизації програмування, знайшли своє втілення і подальший розвиток при побудові автоматизованих систем оброблення даних [29].

У кінці 70-х та на початку 80-х років на основі ідей В.М. Глушкова розпочато роботу зі створення нових архітектур багатопроцесорних суперкомп'ютерів. Спочатку це була ідея рекурсивного комп'ютера, пов'язана з переглядом принципів фон Неймана, згодом її трансформовано до більш практичної ідеї макроконвеєрної обчислювальної системи. Цю ідею реалізовано у 80-х роках під керівництвом В.С. Михалевича вже після смерті В.М. Глушкова. Були створені промислові зразки макроконвеєрної ЕОМ ЕС-2701 — першої багатопроцесорної обчислювальної системи з розподіленою пам'яттю та високою ефективністю розпаралелювання процесів розв'язання задач. Розв'язано велику кількість науково-технічних, економічних, оптимізаційних задач із рекордними на той час показниками ефективності та продуктивності.

Успіх проекту зумовлено тим, що для його виконання було зібрано потужний колектив, який складався із фахівців різних профілів (інженери, системні математики, програмісти, спеціалісти з різних прикладних сфер). Багато з учасників уже

мали досвід співпраці при розробленні машини МІР. У проекті макроконвеєра потрібно було винайти нові методи й технології розпаралелювання задач на системі з новою архітектурою, що містила велику кількість процесорів і дозволяла працювати з великими об'ємами розподілених даних. Цьому значною мірою сприяла плідна співпраця системних і прикладних математиків. Так, наприклад, аналіз реалізації на макроконвеєрі скінченно-елементної схеми розрахунку формування напружено-деформованого стану корпусу літака в цілому, запропонованої В.С. Дейнекою, сприяв винайденню нових схем організації обчислень та переміщення даних у розподіленій пам'яті. Значний вплив на розроблення теоретичних засад макроконвеєрного програмування мали також нові схеми організації обчислень під час розв'язання задач дискретної оптимізації.

Значним кроком у розвитку технології паралельного програмування стало створення системного математичного забезпечення макроконвеєрного обчислювального комплексу, який включав мову паралельного програмування МАЯК та операційну систему для багатопроцесорної системи з розподіленою пам'яттю.

Теоретичну основу розробки становили автоматно-алгебраїчні методи та моделі розподілених обчислень, завдяки яким були створені нові методи розпаралелювання алгоритмів і програм, основи нової передової технології розв'язання задач. Апарат періодично-визначених перетворень виявився адекватним для моделювання обчислювальних систем не тільки на рівні апаратури та мікропрограм, але й специфікації перетворень структур даних у багатопроцесорних системах. Розроблена з цією метою алгебра структур даних стала основним засобом проектування ефективних програм для багатопроцесорних комп'ютерів із розподіленою багаторівневою пам'яттю.

Новим поштовхом до розвитку методів розв'язання задач, що потребують високої продуктивності, стало поширення кластерних систем і ґридових мереж. Активну роботу в цьому напрямі сьогодні проводить Інститут кібернетики.

Через деякий час після появи моделі автоматів, що взаємодіють, як основної моделі комп'ютера стало зрозуміло, що вона добре підходить також і для побудови моделей програм. Було встановлено зв'язки з теорією схем програм, розроблено підходи до розв'язання проблеми еквівалентності схем програм та їх формальних перетворень. Багато результатів із проблем еквівалентності, еквівалентних перетворень та оптимізації абстрактних моделей програм одержав О.А. Летичевський та його учні. Ці результати мали значний вплив на дослідження Новосибірської, Московської та Вірменської шкіл теоретичного програмування.

У 90-х роках переосмислено теоретичні основи обчислень. Центр уваги змістився від функціональних моделей до моделей взаємодії в розподілених паралельних системах. Нового життя набули створені раніше алгебри та числення, алгебра процесів, почали з'являтися нові моделі, орієновані, зокрема, на такі сфери, як, наприклад, біоінформатика (мобільні амбієнти). Модель взаємодії агентів та середовищ [15] виникла в середині 90-х років як відгук на актуальну в цей час ідею зміщення парадигм від обчислень до взаємодії. Вона мала на меті також уніфікацію різноманітних підходів у теорії паралельних процесів взаємодії й лягла в основу нової вітчизняної технології розроблення програмних систем — інерційного моделювання.

В основі моделі поняття функції занурення (insertion function) та перетворення поведінки середовища як результат рекурсивного занурення агентів до середовищ різних рівнів. Модель можна розглядати

як далекосяжне узагальнення поняття дискретного перетворювача. З інформаційним середовищем, яке було представлене операційним автоматом, тепер взаємодіє не один керувальний автомат, а декілька автоматів-агентів, представлених більш загальним поняттям розміченої транзиційної системи. Агенти взаємодіють між собою та з активним середовищем, також представленим транзиційною системою.

Функція занурення $\text{Ins}(e, u) = e[u]$ визначає композицію середовища e і агента u , результатом якої є нове середовище $e[u]$, готове для занурення інших агентів: $(e[u])[v] = e[u, v]$. Агенти і середовища розглядають як об'єкти різних типів, що мають поведінку, яку можна схарактеризувати за допомогою транзиційних систем, стани яких розглядають із точністю до бісимуляційної еквівалентності. Середовище обмежує поведінку агента й може навіть його трансформувати, тому поведінка агента в середовищі істотно відрізняється від його поведінки, визначеної незалежно від середовища, що зумовлює появу нової, слабшої стосовно бісимуляційної, еквівалентності агентів: агенти u і u' називають еквівалентними щодо заданого середовища, якщо для будь-якого стану e цього середовища $e[u]=e[u']$, де рівність означає бісимуляційну еквівалентність. Єдиним обмеженням на функцію занурення, необхідного для конструктивності, є неперервність (у придатній топології). Завдяки цьому обмеженню для визначення функцій занурення можна використовувати системи переписування (алгебраїчне програмування), числення, рекурсивні визначення.

Одним із основних прикладів середовища може бути комп'ютер, розглянутий як середовище для програмних агентів. Занурення програми в комп'ютер змінює його поведінку і перетворює в інше середовище. Так, занурення операційної системи пере-

творює середовище комп'ютера у Windows або Unix-комп'ютер. Проста програма старого типу, яка отримує дані, відпрацьовує певний алгоритм і успішно завершує свою роботу, незначно змінюючи поведінку середовища на короткий проміжок часу. Зовсім інше — пакети прикладних програм, постійно готові до отримання запитів (інший тип агентів, що занурюються в обчислювальне середовище) разом із даними для розв'язання задач відповідного класу. Занурення таких пакетів чи інтерактивних програм, що взаємодіють із зовнішнім середовищем, істотно змінює поведінку вихідного середовища. Іншим вражаючим прикладом складного середовища є Інтернет. Агенти в ньому не тільки взаємодіють між собою, але й також мають властивість мобільності, можуть переміщатись у віртуальному просторі, створюваному середовищем. У телекомунікаційному середовищі, що підтримує мобільний зв'язок, переміщення агентів (мобільних телефонів) відбувається фізично, а не віртуально, як в Інтернеті. Агенти й середовища можуть бути структуровані ієрархічно.

Подальший розвиток моделі взаємодії в поєднанні з методами алгебраїчного програмування зумовив створення нових технологічних підходів у сфері розроблення софтверу — інсерційного програмування та моделювання [16]. Засоби підтримки цих технологій сьогодні розробляють в Інституті кібернетики.

Ідея моделювання в комп'ютерній інженерії набула особливо важливого значення протягом останніх років. Від моделі до продукту — принцип, який дедалі ширше застосовують у софтверній індустрії. Інсерційне моделювання використовують при створенні системи VRS-верифікації програмних систем, розробленої для фірми «Моторола» за участю фахівців Інституту кібернетики.

СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА ЇЇ РОЛЬ У ПОБУДОВІ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Розроблення стандартів, які використовують при побудові інформаційних технологій (ІТ), називатимемо далі ІТ-стандартизацією.

Інтенсивно пропагуючи ідеї кібернетики, В.М. Глушков реально уявляв собі перспективи революційних перетворень суспільства внаслідок широкого впровадження ІТ. Він одним із перших відзначив характер цих перетворень і заговорив про безпаперові технології розв'язування переважної більшості професійних задач у різних сферах діяльності людини. Разом із розвитком математичного апарату як інструмента підтримки програмістських проєктів розроблення програмного продукту В.М. Глушков чітко розумів значущість ІТ-стандартизації з метою підвищення якості програмного продукту й перетворення програмістської праці з «мистецтва одинаків» у «програмну інженерію» злагоджених колективів.

Так, у 1971 р. В.М. Глушков високо оцінив зусилля члена-кореспондента АН УРСР К.Л. Ющенко та її учнів, які одночасно з міжнародним співтовариством для розв'язання проблеми мобільності програм активно започаткували стандартизацію мов програмування. Створений у 1977 р. Держстандарт мови КОБОЛ переглянуто в 1989 р. За особистої участі К.Л. Ющенко й інших представників Київської школи теорії програмування розроблено стандарти СРСР із мов ФОРТРАН-2, АЛГАМС, АЛГОЛ-68, Ада, ФОРТРАН-77, Паскаль, ПЛ/1, Сі.

На тлі очевидного недооцінення в СРСР значення ІТ-стандартизації, роботи з якої слабо фінансувала держава, особливо цінна думка В.М. Глушкова про актуальність ІТ-стандартизації. Тоді героїчними зусиллями окремих програмістських колективів і зацікавлених організацій набували чиннос-

ті поодинокі стандарти, тому на час розпаду СРСР нормативна база ІТ-стандартизації виявилася досить незначною. Наприклад, до 1990 р. розроблено держстандарти поширених мов ФОРТРАН-90, КОБОЛ, Паскаль, Сі, Ада, ПЛ/1. Проте набули чинності тільки два з них: КОБОЛ та Ада, а підготовані проекти стандартів ФОРТРАН-90 (спільне розроблення Росії й Білорусі), Сі (Росія й Україна) і ПЛ/1 (Росія) так і залишилися на папері через відсутність угоди про співпрацю країн СНД. Воістину в СНД зовсім не відчували потреби в мовах ФОРТРАН-90 і Сі, а завершеними проектами стандартів можна було знехтувати.

У незалежній Україні вже з 1993 р. планово розробляють нормативні документи з ІТ-стандартизації. Значну роботу в цій сфері виконано під керівництвом О.Л. Перевозчикової. Нині, коли ІТ стали невід'ємним знаряддям роботи багатьох керівників, зросло значення якості, надійності й доступності даних у різних предметних галузях. Підвищити цю якість не можна без розвиненої нормативно-правової бази, насамперед ІТ-стандартів. Нині в Україні набули чинності два десятки законів щодо інформатизації та постало питання про прийняття Кодексу законів про ІТ. Проте затягування з розглядом законопроектів, передусім про захист персональних даних, гальмує розвиток єдиного інформаційного простору країни та його інтеграції у всесвітній інформаційний простір. Крім того, наявність у статтях багатьох законів України перехідних норм не сприяє чіткій інтерпретації причинно-наслідкових зв'язків, що свідчить про недостатність досвіду застосування ІТ й ускладнює судочинство в цій сфері.

В Україні дотепер ще вкрай недостатня й неповна система національних ІТ-стандартів, гармонізованих із міжнародними, насамперед ISO/IEC- і CEN/CENELEC-стандартами. Сьогодні каталоги ISO нара-

ховують понад 1500 ІТ-стандартів, європейського комітету CEN/CENELEC — понад 400, а в Україні за 15 років набуло чинності лише близько 200 національних ІТ-стандартів. Причому не змінилося співвідношення кількості ІТ-стандартів до загальної кількості стандартів; воно становить близько 4 %, в інших країнах перевищує 10 %, а темпи розвитку міжнародної ІТ-стандартизації щорічно зростають на 10–15 %. Прийнятий Україною шлях гармонізації міжнародних ІТ-стандартів здешевлює і прискорює розроблення якісних ДСТУ. Проте негативну тенденцію відставання можна подолати не лише через зростання вартості і кількості проектів ІТ-стандартизації, але й через підвищення кваліфікації ІТ-фахівців і підготовки відповідних спеціалістів насамперед у вищій школі.

Як відомо, В.М. Глушков уважав справою свого життя створення Загальнодержавної автоматизованої системи управління економікою (ЗДАС), над розробленням якої він працював із 1962 року і фактично до кінця життя обстоював її створення [17, 18]. Головною метою побудови ЗДАС було забезпечення ефективного управління економікою завдяки автоматизації розв'язання основних класів задач: аналізу і прогнозування соціального, науково-технічного та економічного розвитку; перспективного і поточного планування економіки; оперативного управління ходом виконання програм і планами розвитку економіки для всіх ланок народного господарства країни в цілому, галузей, республік, економічних районів, організацій і підприємств.

Програму створення ЗДАС В.М. Глушков уважав технічно «не менш складною, ніж космічна й атомна програми разом узяті, а організаційно більш складною, оскільки вона стосується всього: промисловості, торгівлі тощо». Звичайно, В.М. Глушков набагато випередив свій час, а його концепції створення ЗДАС не було оцінено, хоч

вона на декілька десятиліть випередила інформаційні проекти створення електронного уряду як принципово нового механізму управління державою в постіндустріальному суспільстві, паростки якого з'явилися в економічно розвинутих країнах світу лише в 90-х роках.

В Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України розвивається напрям створення методичного і технологічного інструментарію розроблення розподілених ІТ, які забезпечують комплексну автоматизацію діяльності державних територіально-розподілених організаційних структур. Розроблено підхід до створення розподілених ІТ на основі концепції життєвого циклу оброблення електронних структурованих документів. У межах цього підходу розроблено типові інструментальні й функціональні компоненти створення розподілених ІТ, використані в реалізації низки проектів систем загальнодержавного призначення: для Верховного Суду України, Рахункової палати, Державної податкової адміністрації України, Фонду соціального страхування з тимчасової втрати працездатності (див. Табл. 1). Важливі роботи з цього напрямку виконані під керівництвом Ю.Г. Кривоноса.

Типові функціональні компоненти створення розподілених ІТ включають: інтегровану планово-бухгалтерську підсистему обліку фінансових потоків багаторівневої розподіленої організації; автоматизовану систему моніторингу за банківськими рахунками робочих органів багаторівневої розподіленої організації; бухгалтерську підсистему ведення фінансово-господарської діяльності бюджетних організацій; автоматизовану систему ведення реєстрів суб'єктів видів діяльності; інформаційно-аналітичну систему забезпечення організації та здійснення процедури закупівлі товарів, робіт і послуг у середовищі Інтернету; автоматизовану систему фінансового ана-

лізу суб'єктів підприємницької діяльності та інвестиційних проектів; автоматизовану систему діловодства.

Створено технології та системи з упровадження й супроводу типових автоматизованих систем:

- технологію конфігурації типових програмно-технічних комплексів (ПТК) із встановленим системним і прикладним програмним забезпеченням, тиражуванням і постачанням ПТК у регіони України;
- технологію супроводження, створення та розповсюдження нових версій компонентів розподілених ІТ;
- систему постійного формування у фахівців навичок роботи з розподіленою ІТ;
- технологію переходу зі «старих» засобів автоматизації на роботу з типовими автоматизованими системами із збереженням накопичених даних у «старих» системах.

У процесі реалізації інформаційних проектів сформувався колектив розробників, також створено службу впровадження та супроводу компонентів інформаційних технологій, яка включає фахівців Інституту кібернетики НАН України та інших інститутів і підприємств із різних міст України.

Як приклад успішних розробок наведемо короткі характеристики деяких реалізованих і розроблюваних фахівцями Інституту кібернетики, Інституту програмних систем та Інституту космічних досліджень інформаційних проектів для державних організацій України.

ЄДИНА РОЗПОДІЛЕНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ФОНДУ СОЦІАЛЬНОГО СТРАХУВАННЯ З ТИМЧАСОВОЇ ВТРАТИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

Головною організацією-розробником розподіленої інформаційної технології Фонду соціального страхування з тимчасової втрати працездатності (далі — Фонду) є Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України.

Таблиця 1. Список інформаційних технологій і систем, створених фахівцями Інституту кібернетики для державних організацій України

Дата створення	Назва
1992–1994	Розподілена інформаційна технологія моніторингу за поширенням ВІЛ-інфекції в Україні
1994–1997	Комплексна інформаційна система Державного інноваційного фонду України – система КАСІФ
1997–1998	Розподілена інформаційна система обліку податкових пільг Державної податкової адміністрації України
1999–1999	Веб-сайт Рахункової палати України й інформаційна технологія його супроводу
1997–2008	Єдина інформаційна технологія Фонду соціального страхування з тимчасової втрати працездатності – ЄРІТ ФСС
1997–2003	Інформаційна технологія підтримки розгляду звернень фізичних і юридичних осіб до Верховного Суду України – автоматизована інформаційна система КАРС
2003–2006	Інформаційна технологія редакції інформаційно-аналітичного бюлетеня «Вісник державних закупівель» – ІТ ВДЗ
2003–2008	Інформаційно-аналітична система проведення електронних державних закупівель у мережі Інтернет – ІАС ТЕНДЕР
2003–2008	Інформаційно-аналітична система для здійснення електронних державних закупівель у мережі Інтернет у режимі он-лайн з використанням електронного документообігу та електронного цифрового підпису – ІАС ТЕНДЕР ON-LINE
2003–2008	Типова інформаційно-аналітична система забезпечення організації та здійснення процедур закупівлі товарів, робіт і послуг за державні кошти – ТІАС ДЕРЖЗАКУПІВЛЯ
2004 – 2008	Типові інформаційно-аналітичні системи Національної академії наук України: планування й аналіз виконання наукових програм і НДР; планування та розподіл бюджету; планування штатного розкладу; наукові й керівні кадри; інтегрована система електронного документообігу

Створена протягом 1997–2003 рр. єдина інформаційна технологія дала можливість уніфікувати роботу всіх робочих органів Фонду в межах його трирівневої структури: центральний (Виконавча дирекція Фонду), регіональний (27 виконавчих дирекцій відділень Фонду) і районний (395 міжрайонних, районних, міських виконавчих дирекцій відділень Фонду) рівні. Це дало можливість оперативно і своєчасно проводити модифікацію діяльності робочих органів Фонду відповідно до змін законодавчої та нормативно-методичної бази й суттєво спростити розв'язання численних проблем у процесі реорганізації Фонду соціального страхування України і створення на його базі Фонду соціального страхування з тимчасової втрати працездатності в 2001 р.

Систему впроваджено у Виконавчій дирекції Фонду, 27 виконавчих дирекціях його відділень, 395 районних, міжрайонних

та міських робочих органах Фонду та в 150 районних представництвах від його міжрайонних робочих органів. Вона забезпечує комплексну автоматизацію роботи фахівців Фонду в усіх його робочих органах.

За рівнем технічних рішень, складністю завдань і масштабом упровадження ця система унікальна в Україні.

На початку 2004 року її прийняла Міжвідомча комісія, яка, зокрема, рекомендувала «проводити інформатизацію соціальної сфери (Пенсійний фонд, Фонди соціального страхування тощо) на базі основних технічних рішень, типових компонентів і досвіду створення розподіленої інформаційної технології Фонду».

Досвід реорганізації Фонду соціального страхування України у Фонд соціального страхування з тимчасової втрати працездатності у 2001 році та пов'язані з цим зміни в законодавчо-нормативній базі показали, що використання єдиної інформаційної

технології може суттєво спростити й прискорити вирішення завдань перехідного періоду без істотного впливу на виконання основних функцій робочих органів.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ РОЗГЛЯДУ ЗВЕРНЕНЬ ФІЗИЧНИХ ТА ЮРИДИЧНИХ ОСІБ ДО ВЕРХОВНОГО СУДУ УКРАЇНИ

Колектив фахівців Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України протягом 1997–2006 років розробив і впровадив у Верховному Суді України (ВСУ) автоматизовану інформаційну систему КАРС (КАРґотека Скарґ), яка забезпечує інформаційну технологію підтримки розгляду звернень фізичних та юридичних осіб до суду, справ і скарг у судовій інстанції. Система КАРС забезпечує інформаційну підтримку оброблення всіх основних етапів розгляду справ, звернень і скарг у судові інстанції. Її використовують у Кримінальній, Цивільній, Господарській судових палатах і Військовій колегії Верховного Суду України з 1998 року.

Основні результати, досягнуті завдяки впровадженню системи КАРС у судових палатах Верховного Суду України, такі:

- створено безпаперову технологію реєстрації, обліку, планування та контролю звернень до ВСУ;
- уніфіковано технологію роботи судових палат ВСУ;
- у базі даних (БД) на початок 2006 року накопичено більше ніж 400000 звернень, об'єднаних у 300000 справ;
- розроблено формалізовану систему представлення і класифікації звернень до ВСУ;
- розроблено механізм автоматичного розрахунку статистики для Міністерства юстиції України;
- створено систему повідомлень й діагностики стану БД і технологічного процесу реєстрації звернень та розрахунку статистики;

- досягнуто надійного функціонування системи в промисловому режимі роботи.

Сучасна архітектура і якісне розроблення прикладного програмного та інформаційного забезпечення системи КАРС дають можливість адаптувати її згідно з вимогами судів першої, апеляційної та вищої інстанцій з одночасним розширенням функціональних і технологічних можливостей.

ЄДИНА ДЕРЖАВНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЦТВА, ПОСТАЧАННЯ, ТРАНСПОРТУВАННЯ, СПОЖИВАННЯ ТА ОПЛАТИ ЗА ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ І ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНІ ПОСЛУГИ

Інститут кібернетики спільно з іншими інститутами НАН України, МОН України й іншими організаціями пропонує створити та впровадити в Україні Єдину державну систему моніторингу виробництва, постачання, транспортування, споживання та оплати за паливно-енергетичні ресурси і житлово-комунальні послуги (ЄДСМ) [19].

Упровадження ЄДСМ дасть можливість безпосередньо, протягом короткого проміжку часу, з'ясувати реальні показники постачання, транспортування, споживання та сплати за паливно-енергетичні ресурси й житлово-комунальні послуги, відслідковувати цінову політику при формуванні тарифів на житлово-комунальні послуги в чіткій відповідності до методики, а також уникнути зловживань і злочинів у цій сфері.

ЄДСМ сформує реальний дієвий механізм для зведення загального енергетичного балансу держави та врахування його під час розроблення відповідних прогнозів енергобалансу на наступні роки, істотно вплине на рівень економічної, соціальної, енергетичної та екологічної безпеки держави.

Упровадження ЄДСМ сприятиме створенню ефективного ринку енергоресурсів країни, прозорих ринкових механізмів зниження енергоємності ВВП, збільшенню

надходжень до бюджетів усіх рівнів, створенню ринкових механізмів енергозаощадження, умов залучення інвестицій в енергетику та комунальне господарство України, зменшенню соціальної напруги, а також створенню сприятливих умов для ефективного впровадження програми «Електронна Україна».

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРИКОРДОННОГО ТА МІГРАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ В УКРАЇНІ

Незаконна міграція, контрабанда озброєння та наркотиків, перевезення й продаж краденого автотранспорту — усе це в очах міжнародної спільноти асоціюється, на жаль, сьогодні з Україною. Безумовно, що тільки після подолання цих негативних явищ наша держава може розраховувати на належний рівень національної безпеки та на вступ до Євросоюзу. Одним із пріоритетних напрямів розв'язання цієї проблеми є створення та впровадження інтегрованої інформаційно-телекомунікаційної системи Державної прикордонної служби України — системи «Гарт».

У 1998 році спільним наказом Національної академії наук України та Державної прикордонної служби України Інститут програмних систем НАН України було визначено головним розробником системи «Гарт».

Нині в межах системи «Гарт» на єдиних концептуальних засадах під керівництвом П.І. Андона розроблено та впроваджено близько двох десятків інформаційно-телекомунікаційних систем, що взаємодіють, забезпечуючи автоматизацію основних напрямів оперативно-службової діяльності Державної прикордонної служби України.

Компоненти системи «Гарт» представлені по всій Україні на всіх рівнях організаційної структури Державної прикордонної служби — заставах, пропускних пунктах, відділах, загонах, регіональних управліннях та адміністрації.

На сьогодні майже на всіх пропускних пунктах впроваджено стаціонарні та мобільні компоненти програмно-технічного комплексу автоматизації прикордонного контролю «Гарт-1/П». У процесі прикордонного контролю однієї особи ці комплекси дають можливість опрацювати близько 400 тисяч записів оперативно-розшукової інформації, наданої централізовано з інтегрованого сховища даних. Слід відзначити, що в середньому за рік зі 100 % правопорушників на пропускних пунктах 78 % виявляють за допомогою комплексів «Гарт-1/П».

У контексті державної політики інтеграції з Євросоюзом відбувається модернізація комплексів «Гарт-1/П» для забезпечення гармонізації технології прикордонного контролю в Україні з європейськими стандартами, зокрема, щодо біометричного контролю осіб за «електронними паспортами».

Крім пропускних пунктів, в останні два роки активно автоматизують підрозділи «зеленого» кордону — застави та відділи. Уже розроблено й впроваджено близько 100 комплексів автоматизації прикордонної служби, які містять як стаціонарні, так і мобільні компоненти.

За допомогою мобільних компонентів цього комплексу, використовуючи засоби радіо- та супутникового зв'язку, можна фактично миттєво отримати, умовно кажучи «в полі», первинну оперативно-розшукову інформацію про затриманих осіб та автотранспортні засоби з центрального сховища даних, розташованого в Києві в Адміністрації Держприкордонслужби.

Слід відзначити, що концепція функціонального розвитку розглянутих програмно-технічних комплексів системи «Гарт», які безпосередньо представлені на кордоні, передбачає мінімізацію «людського фактора», зокрема, завдяки впровадженню сучасних інтегрованих технічних засобів охоро-

ни кордону — тепловізорів, радарів, відеосистем та інших сенсорів.

Крім того, ця концепція передбачає створення єдиного інформаційного простору відображення ситуації на кордоні та оперативно-службової діяльності підрозділів Державної прикордонної служби на електронних картах.

Компоненти такої геоінформаційної системи дають можливість автоматизовано:

1) формувати схеми охорони ділянок кордону та відображати місцезнаходження задіяних засобів і сил (технологія GPS);

2) висвітлювати надводну ситуацію (інформація радарів);

3) відображати результати оперативно-службової діяльності (первинна та аналітична інформація баз даних);

4) планувати проведення операцій з охорони кордону (спеціалізовані засоби відображення ситуації).

При цьому завдяки використанню насамперед супутникової телекомунікаційної системи можна забезпечити фактично синхронне відображення інформації на електронних картах як у підрозділах, так і в Центрі оперативного управління Держприкордонслужби.

Головний складник системи «Гарт» містить сучасні потужні сервери баз даних і досконале програмне забезпечення, які дають змогу аналітично опрацьовувати облікову й оперативно-розшукову інформацію, зокрема, виявляти правопорушників та потенційних нелегальних мігрантів — осіб, які порушили визначений термін перебування в Україні.

Наступним кроком розвитку аналітичного складника системи «Гарт» є розроблення та впровадження на базі теперішнього центрального сховища даних системи «Гарт» підсистеми аналізу ризиків, яка відповідає концепції Спільної інтегрованої моделі аналізу ризиків держав-членів Євросоюзу (CIRAM).

На базі інформаційного ресурсу системи «Гарт» з 2003 року Інститут започаткував розроблення та впровадження інтегрованої міжвідомчої інформаційно-телекомунікаційної системи щодо контролю осіб, транспортних засобів і вантажів, які перетинають державний кордон України (система «Аркан»). Ця система передбачає своєчасне, об'єктивне та функціонально повне інформаційне забезпечення діяльності центральних органів виконавчої влади України (СБУ, СЗРУ, МВС, МЗС, Держмитслужби та Державної податкової адміністрації) щодо реалізації державної політики у сфері контролю за міграційними процесами на державному кордоні України.

На сьогодні в межах системи «Аркан» створено програмно-технічне середовище та започатковано обмін профільною оперативно-довідковою інформацією між Державною прикордонною службою та СБУ, МВС і МЗС, зокрема, у межах державної програми «Контрабанда-Стоп».

За своїми потенційними можливостями зазначена система може стати основою для побудови Єдиної інформаційно-телекомунікаційної системи правоохоронних органів з питань боротьби зі злочинністю.

КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РЕГІОНАЛЬНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ПОГОДИ

Проблема безпечної навколишньої середовища для сучасного світу є однією з найактуальніших. Країни світу прагнуть до якнайповнішого розв'язання цієї проблеми як на національному, так і на міжнародному рівнях. Для України з її немалою часткою населення і значною територією проблеми навколишнього середовища, пов'язані з можливістю виникнення небезпечних стихійних природних явищ, зумовлені різноманітністю географічних, геологічних, гідрологічних, кліматичних та інших природних чинників. Висока ймовір-

ність виникнення в Україні надзвичайних ситуацій техногенного характеру спричинена такими факторами, як наявність розвиненої хімічної і металургійної промисловості, надвисока концентрація в окремих регіонах великих промислових комплексів, розвинута мережа всіх видів транспортних комунікацій, а також нафто-, газо- та продуктопроводів, велика кількість енергетичних, у тому числі ядерних, об'єктів, а також значна військова інфраструктура й великі обсяги накопичених на складах боєприпасів і озброєння. Тому розроблення систем аналізу та прогнозування надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру, що дасть можливість досить точно й ефективно проводити моніторинг навколишнього середовища, є актуальною прикладною науково-технічною проблемою, розв'язання якої пов'язане передусім із застосуванням математичних моделей і чисельних методів прогнозування погоди, метеорологічних явищ та зростання промислових викидів у атмосферу від постійних і миттєвих джерел. Найбільш адекватним підходом до створення таких систем є регіоналізація прогнозування з можливостями прогнозування погодних умов з урахуванням місцевих особливостей та застосування високоточних методів і швидкісних обчислень на паралельних обчислювальних системах [20].

В Україні силами вчених Українського гідрометеорологічного інституту НАН України, Інституту програмних систем НАН України та МНС України розроблено оригінальну гідротермодинамічну модель циркуляції атмосфери, вискоефективні обчислювальні схеми та програмні засоби для мультипроцесорних ЕОМ, що дають змогу отримати належного ступеня точності, повноти і своєчасності прогнози погодних умов як для країни в цілому, так і для окремих її регіонів [21]. Модель використовує найбільш адекватні математичні моде-

лі складних фізичних процесів у атмосфері і методи їх високоточного моделювання та реалізації сучасними засобами паралельного програмування високопродуктивної обчислювальної техніки, що, порівняно із зарубіжними аналогами, мають перевагу в точності й оперативності прогнозу, а також економічній ефективності реалізації. Модель пройшла виробничні випробування і з жовтня 2004 р. впроваджена в Гідрометцентрі України.

ВИСОКОПРОДУКТИВНІ ОБЧИСЛЕННЯ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Глобальні зміни клімату в сучасному світі визначили актуальними завдання раціонального природокористування, екологічного моніторингу, прогнозування природних і техногенних катаклізмів. Основою для вирішення цих завдань є використання суперкомп'ютерної техніки й даних різної природи: безпосередніх вимірювань і непрямих спостережень, як-от супутникові дані й дані моделювання. Однак взаємна неузгодженість різномірних даних і технологій вимірювань, представлень даних, просторова та часова неузгодженість спостережень, складність моделей суттєво обмежують потенціал сучасних технологій у розв'язанні практичних завдань екологічного моніторингу та прогнозування. Тому й актуальна проблема розроблення ефективних інформаційних технологій інтеграції даних різної природи. Найефективнішою платформою для реалізації зазначених технологій є Grid — програмне забезпечення середнього рівня (middleware), що дає можливість забезпечити інтеграцію розподілених інформаційних та обчислювальних ресурсів, які належать різним адміністративним доменам, у єдину віртуальну організацію (ВО) — об'єднання географічно розподілених організацій для спільного вирішення складних завдань.

Серед складних прикладних завдань, які розв'язують фахівці Інституту космічних досліджень НАН України — НКА України, виокремимо такі: моніторинг і прогнозування повеней, посух і врожайності [22]. Необхідно зазначити, що для ефективного розв'язання цих завдань використовують супутникові дані, отримані в різних спектральних діапазонах електромагнітного випромінювання з різними просторовими й часовими характеристиками, а також дані наземних вимірів і моделювання. При цьому оброблення та інтеграцію великих обсягів даних виконують, використовуючи паралельні кластерні обчислення й високопродуктивну суперкомп'ютерну техніку [23].

В умовах нинішнього глобального потепління до найбільш масштабних природних стихійних лих, що призводять до значних матеріальних і людських втрат, належать повені. Тому завдання моніторингу та прогнозування ризиків, пов'язаних із повенями, надзвичайно важливе. Інститут космічних досліджень НАН України — НКА України разом з Інститутом кібернетики НАН України розробили інформаційну технологію для моніторингу та прогнозування повеней [24] (<http://floods.ikd.kiev.ua>). Для прогнозування параметрів повеней (рівні та витрати води, затоплені території) використовують каскад таких моделей: регіональна модель чисельного прогнозу погоди (NWP) та гідрологічна модель. Залучають також дані наземних метеорологічних станцій, наземних вимірювань і регулярних супутникових спостережень.

Розв'язання цієї задачі передбачає складні математичні обчислення, воно неможливе без використання суперкомп'ютерної техніки. На сьогодні названі моделі сконфігуровані й адаптовані для роботи на території країни з просторовим розрізненням 10 км; на суперкомп'ютерах родини SKIT регулярно, 4 рази на добу, пропонують метеорологічні прогнози для території України

строком на 72 години. Використання кластерів дало змогу значно прискорити виконання обчислень, при цьому спостерігаємо майже лінійне зростання продуктивності обчислень зі зростанням числа вузлів, що виконують обчислення. Зокрема, при використанні 8 вузлів кластера SKIT-3 прискорення, порівняно з одним вузлом, становить 7,09 (з 8 можливих), а при використанні 64 вузлів робота моделі прискорюється в 43,6 разу. Крім того, використання високопродуктивної техніки дало можливість у 10 разів зменшити час на оброблення супутникових радіолокаційних зображень (зокрема, супутника Європейського космічного агентства Envisat/ASAR) для картографування затоплених територій. Створена інформаційна технологія поширена на території інших країн, зокрема Мозамбіку (лютий 2008 р.), Китаю (липень 2007 р.), Індії та Непалу (серпень 2008 р.), Лаосу і Таїланду (серпень 2008 р.).

Для моніторингу посух і прогнозування врожайності використовують різні параметри земної поверхні, отримані на основі оброблення супутникових даних і даних моделювання: температура земної поверхні, вологість, типи земного покриття, вегетаційні індекси тощо. Ця інформація доступна через мережу Інтернет за адресою <http://land.ikd.kiev.ua>.

Описані прикладні задачі ресурсоємні й потребують високопродуктивних обчислень. Апаратна платформа для розв'язання цих задач не обмежується можливостями одного кластера. Їх розв'язують у межах Grid-інфраструктури [23], яка інтегрує ресурси Інституту космічних досліджень НАН України — НКА України, Інституту кібернетики НАН України та Центру спостереження Землі Китайської академії наук (CEODE-CAS) й інтегрована з Українським академічним Grid-сегментом (<http://uag.bitp.kiev.ua>) (Рис. 1). Використання Grid-технологій зумовлене необ-

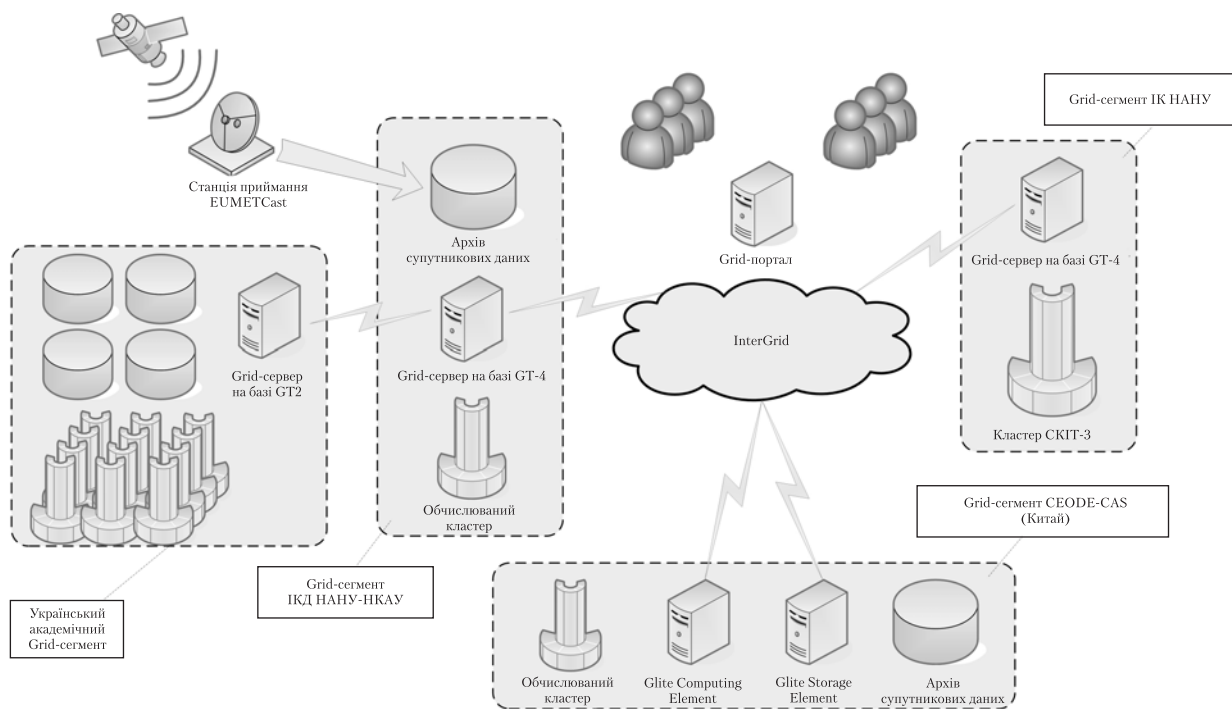


Рис. 1. Архітектура міжнародної Grid-системи екологічного моніторингу на основі супутникових даних.

хідністю виконувати обчислення в режимі реального часу для швидкого реагування на надзвичайні ситуації та ефективного управління великими обсягами даних. Для інтеграції ресурсів, побудованих на різних платформах GT-4 і gLite-3, використовують портал, реалізований на платформі GridSphere.

Розроблені інформаційні технології використовують для потреб міжнародних організацій – ООН, Червоного Хреста й International Charter «Space and Major Disaster».

Зазначені інформаційні технології розробляють у межах проектів УНТЦ–НАН України «Розроблення Grid-технологій інтеграції даних різної природи» та «Розроблення ефективних Grid-технологій екологічного моніторингу на основі супутникових даних», які спільно виконують Інститут космічних досліджень НАН України – НКА України та Інститут кібернетики НАН України. Супутникові радіоло-

каційні дані надало Європейське космічне агентство (ESA) в межах проекту Category-1 «Wide Area Grid Testbed for Flood Monitoring using Spaceborne SAR and Optical Data».

РОБОТИ З ОПТИМІЗАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ

Підтримка прийняття управлінських рішень є одним із головних завдань економічної кібернетики. Для формування «найкращих» (у певному розумінні) рішень часто використовують оптимізаційний підхід, коли чисельні параметри такого рішення визначають як точку умовного чи безумовного екстремуму (мінімуму або максимуму) певної функції однієї або багатьох змінних. Моделі, побудовані на цій основі, називають *оптимізаційними*. Слід зазначити, що оптимізаційні моделі також часто використовують у теоретико-економічних дослідженнях для опису поведінки окремих

суб'єктів господарювання. Наприклад, вважають, що монополіст-виробник діє таким чином, щоб максимізувати свій прибуток, а споживач намагається максимізувати корисність від споживання тощо. Відомі приклади аналогічного використання оптимізаційних моделей в інших сферах людської діяльності, зокрема, у технічному проектуванні, суспільних науках, для управління дорожнім рухом.

Ураховуючи сказане, в Інституті кібернетики протягом останнього десятиліття приділяють значну увагу розробленню методів розв'язання оптимізаційних задач (або *методів оптимізації*). У цьому напрямі одержано фундаментальні результати з дискретної та комбінаторної, стохастичної і недиференційованої оптимізації, які дають можливість констатувати факт наявності *київської школи оптимізації* як однієї з провідних наукових шкіл серед тих, що працюють у цьому напрямі.

Дослідження з дискретної та комбінаторної оптимізації, розпочаті в Інституті кібернетики в 60-і роки, були зосереджені на двох напрямках — розвитку ітеративних алгоритмів поліпшення розв'язків та методів послідовного аналізу варіантів. За першим напрямом активно працює відома науковій спільноті школа з дискретної оптимізації, що охоплює широке коло сучасних проблем дискретного програмування та системного аналізу. У цій галузі вчені Інституту отримали фундаментальні наукові результати й провели дослідження практичних проблем, для яких існують реальні економічні, технічні, соціальні та інші характеристики і обмеження. Для таких реальних проблем побудовано математичні моделі, створено методи, які дають можливість розв'язувати задачі з достатньою для практики точністю, не перевищуючи при цьому допустимих ресурсів за часом, кількістю ітерацій алгоритму та іншими критеріями. Виконані теоретичні й прикладні

дослідження становлять основу для створення інформаційних технологій у різних напрямках.

У роботі І.В. Сергієнка [25] запропоновано підхід до побудови алгоритмів наближеного розв'язання задач дискретної оптимізації загального вигляду. Створено нову алгоритмічну схему — так звану схему методу вектора спаду. Вона дає змогу побудувати спектр алгоритмів локального пошуку для розв'язання конкретної задачі, а також, провівши відповідний аналіз, вибрати найбільш придатний алгоритм. Метод вектора спаду отримав значний розвиток у низці спеціальних досліджень [25–29], його використано для побудови різноманітних комп'ютерних технологій, призначених для розв'язання багатьох типів задач дискретного програмування.

Широке використання методів дискретного програмування стимулювало дослідження в галузі опуклого аналізу, пов'язані з побудовою моделей опуклості на дискретних множинах. Розроблено єдину схему, яка дає змогу певною мірою узагальнити моделі опуклості, запропоновані різними авторами для розв'язання тих чи інших задач дискретної оптимізації. Для дискретних множин доволі загальної структури визначено поняття, аналогічні загальновідомим поняттям опуклих (квазіопуклих) множин і функцій. Запропоновано розширення цих понять, яке підтверджує відому гіпотезу про збіг локального і глобального мінімумів для задач опуклої оптимізації. Досліджено питання про умови збігу різних моделей опуклості.

В останні роки в Інституті кібернетики проведено значну дослідницьку роботу, пов'язану з порівняльним аналізом наявних і розроблених нових, досконаліших методів локальної дискретної оптимізації. Найефективнішими виявились алгоритми, у яких комбінуються різноманітні ідеї, що розвиваються в теорії локальної оптимізації.

Один із таких методів запропонував В.П. Шило, назвавши його новим методом глобального рівноважного пошуку (ГРП) [27] для розв'язання дискретних оптимізаційних задач складної природи. Він фактично розвиває метод вектора спаду, використовуючи ідеї методу відпалу. При побудові алгоритмів на основі методу ГРП застосовують правила, які забезпечують використання інформації, одержаної під час розв'язання задачі, роблять можливими інтенсифікацію та диверсифікацію пошуку оптимуму, використання принципів РЕ-СТАРТ-технології, об'єднання різних мета-евристик, створення «команди» алгоритмів, що дозволяє якнайкраще використовувати переваги алгоритмів, що входять до її складу, і специфіку задачі.

За останні роки метод ГРП поширено на такі класи задач дискретної оптимізації: багатовимірну задачу про ранець із булевими змінними, задачі знаходження максимальної незалежної множини вершин графа, задачі про максимальний розріз орієнтованого графа, максимальну виконуваність, пошук розбиття вершин графа на незалежні множини або кліки, складання розкладів, r -медіану, задачі квадратичного програмування з булевими змінними без обмежень, квадратичну задачу про призначення.

Численні експериментальні й практичні розрахунки за допомогою варіантів методу глобального рівноважного пошуку показали, що він на сьогодні найефективніший засіб дискретного програмування, причому його ефективність особливо проявляється під час розв'язання задач великої розмірності. Метод ГРП має стійку поведінку порівняно з відомими методами щодо отримання кращих за попередні розв'язків із меншими затратами часу.

Проведено також дослідження питань стійкості векторних задач дискретної оптимізації, розроблено методологію аналізу стійкості до збурень вхідних даних у век-

торному критерії та обмеженнях і підходи до регуляризації вказаних задач, зроблено порівняльний аналіз різних типів стійкості в просторі критеріїв та альтернатив, досліджено питання еквівалентності цих понять. Виділено ряд підкласів стійких задач у класі векторних задач цілочислової оптимізації.

В останні роки створено теоретичні основи для прискорення процесу розв'язання складних задач дискретної оптимізації. Розроблено, зокрема, згадувану вище РЕ-СТАРТ-технологію, що базується на використанні нових понять РЕ-СТАРТ-розподілу і РЕ-СТАРТ-критерію зупину алгоритму. Перспективний новий підхід до розпаралелювання процесу оптимізації, коли замість операцій, виконуваних на основі алгоритму, розпаралелюють його копії.

На основі проведених теоретичних досліджень і розпаралелювання операцій розроблено інформаційну технологію для розв'язання задач побудови перешкодозахищених кодів максимального об'єму, яка дала змогу вперше розв'язати або істотно зменшити час розв'язання на кластерному комп'ютері СКІТ важливих задач побудови перешкодозахищених кодів максимального об'єму. Уперше точно розв'язано задачу знаходження перешкодозахищеного коду максимального об'єму для деяких графів. Знайдено нові нижні оцінки максимального об'єму перешкодозахищеного коду з мінімальною асиметричною відстанню 2 для низки графів. На основі запропонованих алгоритмів отримано й нові розбиття графів, які використовують для знаходження нижніх оцінок.

В Інституті кібернетики розроблено пакети прикладних програм (ППП) серії ДИСПРО для розв'язання різних типів задач дискретної оптимізації [25], ППП Планер, призначені для розв'язання задач виробничо-транспортного планування ве-

ликої розмірності [30] та ін. Ці пакети реалізували широкий спектр оптимізаційних методів, їх використовували для дослідження широкого кола питань планування розміщення і реконструкції виробництва, проектування технічних пристроїв та машин, складання розкладів виконання робіт при обмежених ресурсах тощо. Вони мають ефективне системне забезпечення, у тому числі засоби, які дають можливість користувачеві брати активну участь в обчислювальному процесі (досліджувати математичні моделі й застосовувати методи, здійснювати пошук розв'язків у режимі діалогу).

Розроблення пакетної проблематики покликала до життя нові ідеї щодо глибокого вивчення предметних галузей пакетів. Вони стосуються, наприклад, досліджень у галузі стійкості реалізованих у пакетах моделей та алгоритмів, проведення пост-оптимального та параметричного аналізу розв'язуваних задач, вибору принципу оптимальності в багатокритеріальних задачах. Усю інформацію, що з'являється в результаті таких робіт, використовують потім у базах знань пакетів. Створені ППП надають також суттєву допомогу в процесі проведення обчислювального експерименту.

Метод послідовного аналізу варіантів, запропонований В.С. Михалевичем, широко застосовують під час розв'язання низки народногосподарських та оборонних завдань, серед яких проектування автомобільних доріг, залізниць (зокрема БАМу), електричних та газових мереж, теорії розкладів тощо. В основу методу було покладено узагальнення відомого принципу оптимальності Белмана, що дало змогу значно розширити межі застосування підходу, який дістав назву «динамічне програмування».

Загальнознані наукові здобутки наукової школи з недиференційованої оптимізації, засновником і керівником якої був

Н.З. Шор. Роботи з недиференційованої оптимізації розпочали в 60-і роки з дослідження методу узагальненого градієнтного спуску, на основі якого розроблено схеми декомпозиції, що дали можливість розв'язати виробничо-транспортні задачі великої розмірності, зокрема задачу планування виробництва та перевезення металевого прокату [30]. На основі узагальненого градієнтного спуску було розроблено метод стохастичних квазіградієнтів, який застосовували для розв'язання багатоетапних задач. Цей метод можна розглядати як поширення методів стохастичної апроксимації на задачі з обмеженнями, схеми Монте-Карло на задачі оптимізації, а також як розвиток методів випадкового пошуку.

Системний аналіз процесів управління, які полягають у прийнятті оптимальних рішень, передбачає облік і врахування чинників невизначеності та ризику, що потребує застосування і вдосконалення моделей і методів стохастичної оптимізації, де враховано ймовірнісний характер досліджуваних процесів. Засновниками української школи стохастичної оптимізації та керування були академіки В.С. Михалевич та Ю.М. Єрмольєв, роботи яких стали визначальними при створенні багатьох сучасних напрямів досліджень. У роботах Ю.М. Єрмольєва [31, 32] розроблено стохастичні квазіградієнтні методи розв'язання задач стохастичного програмування для доволі широких класів цільових функцій та функцій обмежень. Головна особливість цих методів полягає в тому, що вони не потребують обчислення точних значень цільових функцій і функцій обмежень, а використовують реалізації підінтегральних функцій та їхніх узагальнених градієнтів. Це зумовило широке практичне застосування зазначеного методу під час розв'язання задач управління запасами за умов ризику та невизначеності, виробничо-транспортних задач і задач теорії надійності.

На початку 70-х років Н.З. Шор та його учні запропонували субградієнтні методи зі змінною метрикою, що дало змогу значно пришвидшити їхню збіжність, особливо для задач пошуку екстремуму «яружних» функцій. Широке визнання здобули такі методи цього класу, як алгоритм еліпсоїдів, на базі якого були розроблені поліноміальні алгоритми розв'язання задач опуклого й дискретного програмування, та g -алгоритм, що дає можливість знаходити точки мінімуму та максимуму широкого класу негладких функцій. Для задач мінімізації опуклих функцій він виявився цілком конкурентоздатним стосовно найбільш вдалих реалізацій квазіньютонівських методів та інших найефективніших алгоритмів. Нині в Інституті кібернетики розроблено декілька модифікацій g -алгоритму, які застосовують у схемах декомпозиції для розв'язання оптимізаційних задач частково блочної структури, мінімаксних та матричних оптимізаційних задач, для обчислення двоїстих (лагранжевих) оцінок у багатоекстремальних та комбінаторних задачах.

В останні десятиліття Н.З. Шор та його учні запропонували нові методи поліноміальної оптимізації й нові підходи до розв'язання багатоекстремальних та NP-складних задач. Зокрема, встановлено зв'язок між поліноміальними задачами та 17-ою проблемою Гільберта, у якій ідеться про представлення невід'ємних раціональних форм у вигляді суми квадратів довільних раціональних форм. Цікаві результати одержані для NP-складної комбінаторної задачі знаходження зваженої максимальної множини вершин графа. Лагранжеві оцінки для неї виявилися тісно пов'язаними з відомими числами Ловаса $\vartheta(G, w)$ та $\vartheta'(G, w)$. Крім цього, методи недиференційованої оптимізації застосовували для розв'язання різноманітних прикладних проблем. На основі цих мето-

дів створено програми Shor-1 і Shor-2 для розв'язання двоетапних стохастичних задач із простою та фіксованою рекурсією. Вони використовують схеми декомпозиції за змінними та застосовують g -алгоритм до координувальної задачі. Ці програми ввійшли до складу системи моделювання для задач стохастичного лінійного програмування SLP-IOR, яку розроблено в Інституті дослідження операцій (Цюрих, Швейцарія). Методи недиференційованої оптимізації покладені в основу алгоритмічного та програмного забезпечення, створеного для оптимального проектування телекомунікаційних мереж з урахуванням можливого виходу з ладу окремих компонент мережі та зміни інформаційних потоків у ній [29]. Зазначені методи також застосовують для проектування енергетичного устаткування і моделювання наслідків економічних реформ.

Подальшого розвитку ідеї системного аналізу й теорії оптимізації набули в роботах М.З. Згуровського та його учнів [33–35]. Так, зокрема, досліджено проблему розкриття концептуальної невизначеності як певну модифікацію задачі системної оптимізації в трактуванні В.М. Глушкова. Особливість цієї задачі визначена потребою пошуку раціонального компромісу між суперечливими цілями, наприклад такими, що виникають під час створення нового виробу, виявлення його переваг і недоліків стосовно пропозицій конкурентів, оцінювання і прогнозування можливих факторів ризику. У змістовому формулюванні задачу розкриття концептуальної невизначеності можна звести до задачі системно узгодженого розкриття множини різно-рідних невизначеностей на основі єдиних принципів, прийомів і критеріїв. Ця множина містить невизначеності цілей розроблення, перспектив конкурентоспроможності виробу, зміни ринків попиту та збуту, активної протидії конкурентів, а також си-

туаційну невизначеність ризиків у процесі розроблення, виробництва, збуту й експлуатації виробу. Такий вид невизначеності належить до концептуального в тому сенсі, що, на відміну від інформаційної невизначеності, він відображає єдиний комплекс невідомості, неоднозначності й суперечливості взаємопов'язаних і взаємозалежних елементів зазначеної множини різнорідних невизначеностей.

Однією з найважливіших задач, що виникає під час розкриття концептуальної невизначеності, є задача відтворення функціональних залежностей за експериментально отриманою дискретною вибіркою. Для цього функції наближення формують у вигляді ієрархічної багаторівневої системи моделей. На першому ієрархічному рівні реалізують модель, що визначає в класі адитивних (мультиплікативних) функцій залежність функцій наближення від їхніх змінних. Гіпотетичні функції формують і зображають у вигляді суперпозиції функцій від змінних. На другому ієрархічному рівні формують моделі, що визначають залежність функцій наближення від компонентів розглядуваних змінних, котрі є векторами. На третьому ієрархічному рівні розв'язують задачу вибору класу і структури функцій наближення, вибору критеріїв і методів їхньої побудови.

Зазначена проблема впроваджена, зокрема, у системі технічного діагностування складних технічних об'єктів та систем на прикладі авіаційного газотурбінного двигуна з урахуванням запропонованої стратегії гарантованої безпеки, яка полягає в забезпеченні функціонування складної системи в реальних умовах на основі своєчасного та вірогідного виявлення, розпізнавання, оцінювання факторів ризиків упродовж визначеного періоду експлуатації, усунення причин можливих відмов і прогнозування основних показників живучості об'єкта.

Запропоновано підхід до формування множини Парето на основі системного взаємного узгодження області визначення і множини значень цільових функцій за умови, що апріорно невідомо, чи існує непорожня множина можливих компромісів суперечливих цілей. Важлива особливість використаної формалізації полягає у виборі принципу раціональності розв'язку замість типового принципу оптимальності. Суть підходу до формування такої множини полягає в послідовному ітераційному коригуванні вихідних множин внутрішніх конструктивних і зовнішніх якісних характеристик із використанням обчислювальних та інтерактивних процедур для досягнення взаємного узгодження області визначення й множини значень цільових функцій. Перший підхід за наявності незмінюваних обмежень на показники зовнішніх впливів забезпечує формування «вигляду» виробу. Другий — реалізовує протилежну послідовність: від задання якості виробу до вибору структури і внутрішніх показників.

Важливий внесок у розвиток теорії оптимізації вніс Б.М. Пшеничний та його учні [36]. В Інституті кібернетики, а пізніше в Інституті прикладного системного аналізу проведено фундаментальні й прикладні дослідження з проблем теорії оптимального управління та диференціальних ігор, чисельних методів нелінійного аналізу та оптимізації, опуклого аналізу й багатозначних відображень, необхідних і достатніх умов екстремуму в загальних задачах оптимізації, моделей економічної динаміки та задач розподілу потоків.

Модифіковано і створено нові методи гладкої та негладкої оптимізації, здійснено моделювання оптимізаційних процесів за допомогою варіаційних нерівностей та розроблено ефективні методи розв'язання оптимізаційних задач.

При побудові конструктивних методів розв'язання диференціальних ігор уведено і вивчено різні узагальнення опуклості. Для лінійних ігор досліджували Н-опуклі та матрично-опуклі множини і функції, які є підкласами звичайної опуклості [36].

Розроблено нові ігрові моделі соціологічних та економічних процесів. Такі задачі, як проблема боротьби партій за електорат, а фірм за ринки збуту, можна вдало описати термінами безкоаліційних ігор.

Досліджено проблеми моделювання потоків у мережах, які задовольняють різні закони збереження: класичний та узагальнений закони Кірхгофа. Побудовано нові моделі руху потоків у мережах та розроблено нові алгоритми знаходження оптимальних потоків на основі лінійних і нелінійних методів оптимізації і методів вилучення невідомих. Найповніше задачі розподілу потоків з узагальненим принципом збереження досліджено в монографії [37].

Використання в оптимізаційних задачах на мережах нелінійних цільових функцій певного вигляду дозволило охопити за допомогою єдиного підходу достатньо широкий спектр мереж. У результаті розвинуто загальну теорію для мереж різного типу, хоч у практичних розрахунках враховано специфічні властивості функцій, що описують функціонування реальних систем. Завдяки застосуванню вказаного підходу розв'язано такі прикладні проблеми: задачу розподілу потоків газу в газопроводах із урахуванням пропускної спроможності ділянок і мінімізацією загальних витрат на транспортування; розрахунки газопотоків із оптимальним перерахуванням навантаження компресорних станцій; оптимізацію режимів роботи газотранспортних систем із урахуванням реальних характеристик обладнання компресорних станцій.

Практичне значення одержаних результатів зумовлене можливістю використання

концептуальних підходів, моделей, методів і алгоритмів під час розроблення ресурсоощадних технологій та екологозахисних заходів у процесі проектування й експлуатації різноманітних гідротехнічних та енергетичних систем.

Цікавим напрямом розвитку і застосувань методів системного аналізу й оптимізації є роботи А.М. Гупала [38, 39], у яких досліджено складні біологічні процеси. Так, для дискретних задач доведено оптимальність байєсівської процедури розпізнавання на таких структурах, як ланцюги Маркова та незалежні ознаки. Цій процедурі властиві такі особливості: вона має поліноміальні оцінки похибки залежно від вхідних параметрів задачі, ця похибка достатньо швидко прямує до нуля при зростанні розмірів навчальних вибірок [38]. Є досить вагомим підстави вважати, що саме байєсівські процедури розпізнавання можуть відігравати істотну роль у живій природі зокрема, у механізмах роботи головного мозку людини.

Починаючи з 2003 року, в Інституті кібернетики під керівництвом А.М. Гупала проведено статистичний аналіз понад ста геномів (зокрема, людини, шимпанзе, миші, щура, риби *Tetraodon*, хробака, рослин, бактерій і вірусів) з метою виявлення закономірностей у записі генетичної інформації на рівні ДНК хромосом. За допомогою мультипроцесорного комп'ютера СКІТ було перевірено й уточнено друге правило Чаргаффа, яке ще досі не знайшло свого наукового пояснення. Доведено, що частоти комплементарних нуклеотидів у всіх хромосомах одного генома майже однакові. Виявлено співвідношення для пар і трійок, а також для довших послідовностей нуклеотидів у одному ланцюзі ДНК. З'ясовано, що в одному ланцюзі ДНК хромосоми кількість нуклеотидів певної послідовності дорівнює кількості комплементарної до неї послідовності. Звідси випливає, що нуклео-

тиди в обох ланцюгах ДНК хромосоми записані за аналогічною схемою, а молекулярні ваги обох ланцюгів рівні.

Результати проведених досліджень істотно доповнюють сучасні уявлення про запис генетичної інформації в геномах. На основі аналізу отриманих статистичних даних можна зробити висновок про те, що існують чіткі правила формування структури ДНК хромосом, які справджуються для всіх видів організмів (крім деяких вірусів) [39].

Останнім часом проводять також дослідження, пов'язані з прогнозуванням просторової структури білків. Одне з основних питань сучасної молекулярної біології: яку функцію виконує той чи інший ген, тобто певна частина молекули ДНК, що кодує один білок. У процесі синтезу послідовності амінокислот білок згортається в певну просторову конфігурацію, і саме просторова конфігурація білка впливає на його функції, оскільки білки в живих організмах взаємодіють як тривимірні просторові об'єкти.

Проведені дослідження математичних закономірностей запису послідовностей ДНК і білків на основі методів математичного й комп'ютерного моделювання та статистичного аналізу становлять початковий етап розроблення нової інформаційної технології, необхідної для успішного вивчення генетичної інформації, закладеної в геномах живих організмів. Оброблення і детальний аналіз такої об'ємної і складної інформації можна здійснювати тільки за допомогою потужних комп'ютерів на зразок кластерного комп'ютера СКІТ. Використання досягнень сучасної кібернетики є запорукою успіху наукового пізнання на шляху до відкриття таємниць живої природи.

Економічна ситуація другої половини 80-х — початку 90-х років ХХ століття надала нового поштовху роботам із розроблення методів оптимізації та їх застосу-

вання, які проводили в Інституті кібернетики НАН України. Необхідність дослідження процесів, що відбуваються під час проведення ринкових перетворень та підтримки прийняття управлінських рішень у процесі проведення реформ, зумовила, починаючи з кінця 80-х років ХХ століття, розвиток в Інституті робіт із моделювання перехідної економіки. Особливу увагу при цьому приділено таким актуальним проблемам, як пошук шляхів фінансової стабілізації, гармонізації відносин між суб'єктами господарювання, органами державної влади та місцевого самоуправління всіх рівнів, удосконалення фіскальної політики держави, визначення шляхів структурно-технологічних перетворень економіки, інтенсифікації енерго- та ресурсозаощадження, варіантне середньота довгострокове економічне прогнозування. З метою розв'язання цих проблем розроблено оптимізаційні моделі, які дістали високу оцінку під час їх обговорення на численних міжнародних наукових конференціях та відображені в науковій літературі, зокрема в монографії М.В. Михалевича й І.В. Сергієнка [28]. У ході створення цих моделей постали складні завдання врахування в них чинників ризику та невизначеності, слабкоструктурованих аспектів модельованих процесів, також розв'язано певні технічні проблеми. Це вимагало подальшого розвитку моделей та методів оптимізації, оскільки зазначеним моделям були властиві велика розмірність, спеціальна структура функцій мети й обмежень, а також трансобчислювальна складність. Цілком закономірно, що побудову й дослідження методів розв'язання складних задач великої розмірності, задач трансобчислювальної складності розглядають з початку ХХІ століття як один із перспективних напрямів розвитку дискретної та неперервної (у тому числі недиференційованої) оптимізації.

В Інституті кібернетики розроблено ефективні методи, які становлять підґрунтя для створення високоефективної технології процесу оптимізації під час розв'язання дискретних оптимізаційних задач трансобчислювальної складності. Ітеративна структура цих методів, по-перше, дає можливість використовувати їх для підтримки прийняття управлінських рішень у режимі реального часу, коли необхідно одержати оптимальний за часом розв'язок. По-друге, полегшує реалізацію методів на кластерних ЕОМ шляхом їх розпаралелювання. Іншою особливістю створених методів є можливість їх реалізації в діалоговому режимі з метою врахування багатокритеріальності задач і деяких слабкоструктурованих аспектів. Діалогові процедури дають змогу суттєво підвищити дієвість та обґрунтованість управлінських рішень.

В Інституті кібернетики НАН України розроблено економіко-математичні моделі та методи дискретної оптимізації, призначені для підтримки управлінських рішень при формуванні фіскальної, фінансової та промислово-технологічної політики як на рівні держави в цілому, так і в окремих вертикально інтегрованих фінансово-виробничих структурах. Головними споживачами результатів цього розроблення будуть органи державного управління, відповідальні за проведення такої політики (Агентство з питань енергозаощадження, Мінекономіки, Мінпромполітики тощо) та бізнесові структури, зацікавлені в ефективності цієї політики.

Оптимізаційні моделі визначення шляхів структурно-технологічних перетворень і методи розрахунків за ними, розроблені останнім часом в Інституті кібернетики НАН України, разом із необхідним інформаційним забезпеченням та інтерфейсом користувача становлять основу спеціалізованої системи підтримки прийняття рішень, яка може бути використана тими

органами виконавчої влади та державного управління, до функцій яких входять аналіз і вибір пропозицій із вдосконалення технологічної структури економіки, а також розроблення рекомендацій щодо технічної та технологічної політики. Зазначена система передбачає використання сучасної багатопроекторної обчислювальної техніки, зокрема створених в Інституті кібернетики кластерів СКІТ-2 і СКІТ-3.

Нині на базі сучасних математичних методів та багатопроекторної техніки розробляють оптимізаційні моделі соціально-економічних процесів, які відбуваються в перехідній економіці на завершальній стадії ринкових перетворень.

У зв'язку з необхідністю розв'язання нових важливих класів задач оптимізації та керування в останні роки свого подальшого розвитку набули методи стохастичної оптимізації. Одним із них, який широко застосовують під час розв'язання важливих задач теорії ідентифікації, параметричного, непараметричного та робастного оцінювання, є метод емпіричних середніх [40]. Тісно пов'язана з теорією стохастичної оптимізації й проблема знаходження оптимального керування стохастичними системами з дискретним та неперервним часом. Уперше розглянуто керовані стохастичні системи з локальною взаємодією, які широко застосовують у теорії розпізнавання, економіці, теорії комутаційних мереж тощо. Основні результати цих досліджень надруковані в роботах П.С. Кнопва. В останні роки значну увагу приділено також науковим дослідженням, пов'язаним із необхідністю розв'язання важливих проблем економетрики, фінансової та страхової математики. Розроблення нових методів стохастичної оптимізації та керування дає можливість знаходити оптимальні рішення під час прогнозування макроекономічних показників, у банківській справі, у процесі функціонування

страхових та інших об'єктів фінансової і господарської діяльності.

Крім цього, в Інституті кібернетики тривають дослідження, які мають на меті розроблення спеціалізованих методів розв'язання окремих класів задач комбінаторної оптимізації, тобто задач пошуку розв'язків на множинах комбінаторних конфігурацій (перестановок, розміщень, розбиттів, сполучень тощо). Спираючись на відомі евристичні підходи до розв'язання таких задач, розроблено математично обґрунтовані чисельні методи, що застосовують специфічні впорядкування зазначених конфігурацій. Створено модифікації цих методів, пристосовані до особливостей вхідних даних. За швидкодією зазначені методи в багато разів перевершують традиційні алгоритми дискретної оптимізації (зокрема, методи Гоморі), які спираються на лінійне програмування. Переваги запропонованих методів дають можливість ефективно застосовувати їх під час розв'язання задач логістики та управління портфелями інвестицій, у проектному менеджменті та при формуванні інвестиційної політики.

Одним зі специфічних класів комбінаторних задач, які традиційно розглядають у теорії оптимізації, є задачі на графах. Інститут кібернетики НАН України має великий досвід робіт у цій сфері. Одним із перших він почав розроблення та впровадження сітьових методів управління та прогнозування (системи PERT, PATTERN тощо). В.С. Михалевич у 60-і роки ХХ століття здійснював координацію впровадження цих методів на всесоюзному рівні. Роботи з розв'язання прикладних задач на графах тривають в Інституті й сьогодні.

Багато задач теорії графів та комбінаторного аналізу досить прості й наочні, тому переважно більшість із них давно застосовують, розв'язуючи теоретичні та прикладні проблеми в економічних, виробничих,

соціологічних, технологічних процесах різних галузей народного господарства.

Сьогодні Інститут кібернетики — визнаний науковий центр із розроблення та застосування оптимізаційних підходів до розв'язання багатьох важливих економічних, технічних, технологічних та інших проблем. З ним активно співпрацюють відомі зарубіжні фахівці в цій галузі, зокрема, Ф.Гловер, П. Пардалос, Ю. Євтушенко, В. Ємелічев, а досягнення провідних фахівців Інституту проходять апробацію на численних міжнародних наукових конференціях та семінарах.

1. *Сергієнко І.В.* Информатика та комп'ютерні технології. — К.: Наук. думка, 2004. — 432 с.
2. *Деркач В.П., В.М. Глушков* — пионер кібернетики. — К.: ЮНИОР, 2003. — 384 с.
3. *Малиновский Б.Н.* История вычислительной техники в лицах. — К., 1995. — 379 с.
4. *Капитонова Ю.В., Летичевский А.А.* Парадигмы и идеи академика В.М. Глушкова. — К.: Наук. думка, 2003. — 456 с.
5. *Глушков В.М.* Об одном методе автоматизации программирования. //Сб. «Проблемы кибернетики». М.: Физматгиз, 1959. — Вып. 2.
6. *Гнеденко Б.В., Королюк В.С., Ющенко Е.Л.* Элементы программирования. — М.: Физматгиз, 1961. — 348 с.
7. *Глушков В.М.* Синтез цифровых автоматов. — М.: Физматгиз, 1962. — 476 с.
8. *Глушков В.М.* Теория автоматов и вопросы проектирования структур вычислительных машин // Кибернетика. — 1965. — №1. — С. 3–11.
9. *Глушков В.М., Капитонова Ю.В., Летичевский А.А.* Автоматизация проектирования вычислительных машин. — К.: Наук. думка, 1975. — 231 с.
10. *Глушков В.М., Цейтлин Г.Е., Ющенко Е.Л.* Алгебра. Языки. Программирование. — К.: Наук. думка, 1978. — 318 с.
11. *Анисимов А.В.* Рекурсивные преобразователи информации. — К.: Вища школа, 1987. — 231 с.
12. *Глушков В.М., Анисимов А.В.* Управляющие пространства в асинхронных параллельных вычислениях. // Кибернетика. — 1981. — №5. — С. 3.
13. *Анісімов А.В.* Алгоритмічна теорія великих чисел. — К.: Академперіодика, 2001. — 153 с.
14. *Капитонова Ю.В., Летичевский А.А.* Математическая теория проектирования вычислительных систем. — М.: Наука, 1988. — 296 с.

15. *Letichevsky A., Gilbert D.* Model for Interaction of Agents and Environments // In D.Bert, C. Choppy, P. Moses (Eds). Resent Trends in Algebraic Development Techniques, Lecture Notes in Computer Science. – Vol. 1827 (1999). – P. 311–328.
16. *Letichevsky A.* Algebra of behavior transformations and its applications // In Structural Theory of Automata, Semigroups and Universal Algebra, NATO Science Series, II Mathematics, Physics and Chemistry. – 2005. – Vol. 207.
17. *Глушков В.М.* Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС. – М.: Статистика, 1975. – 340 с.
18. *Глушков В.М.* ДИСПЛАН – новая технология планирования // УсиМ.– 1980. – №6. – С. 5–10.
19. *Кривонос Ю.Г., Люборевич А.Ю., Ивлиев В.П.* Единая государственная система мониторинга энергорынка, как развитие концепции академика В.М. Глушкова по созданию общегосударственной автоматизированной системы управления // 50 років Інституту кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України. Праці міжнародної конференції. – К.: Ін-титут кібернетики, 2008. – С. 285–292.
20. *Андон Ф.И., Дорошенко А.Е., Цейтлин Г.Е., Яценко Е.А.* Алгеброалгоритмические модели и методы параллельного программирования. – К.: Академперіодика, 2007. – 634 с.
21. *Прусов В.А., Дорошенко А.Ю.* Моделювання природних і техногенних процесів в атмосфері. – К.: Наук. думка, 2006. – 541 с.
22. *Куссуль Н.Н., Шелестов А.Ю., Скакун С.В., Кравченко А.Н.* Интеллектуальные вычисления в задачах обработки данных наблюдения Земли. – К.: Наук. думка, 2007. – 196 с.
23. *Куссуль Н.Н., Шелестов А.Ю.* Grid-системы для задач исследования Земли. Архитектура, модели и технологии. – К.: Наук. думка, 2008. – 452 с.
24. *Kussul N., Shelestov A., Skakun S.* Grid System for Flood Extent Extraction from Satellite Images // Earth Science Informatics. – 2008. – Doi:10.1007/s12145-008-0014-3.
25. *Сергиенко И.В.* Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации. – К.: Наук. думка, 1988. – 471 с.
26. *Сергиенко И.В., Козерацкая Л.Н., Лебедева Т.Т.* Исследование устойчивости и параметрический анализ дискретных оптимизационных задач. – К.: Наук. думка, 1995. – 170 с.
27. *Сергиенко И.В., Шило В.П.* Задачи дискретной оптимизации: проблемы, методы решения, исследования. – К.: Наук. думка, 2003. – 464 с.
28. *Михалевич М.В., Сергиенко И.В.* Моделирование переходной экономики: модели, методы, информационные технологии. – К.: Наук. думка, 2005. – 672 с.
29. *Сергиенко И.В., Парасюк И.Н., Тукалевская Н.И.* Автоматизированные системы обработки данных. – К.: Наук. думка, 1976. – 256 с.
30. *Михалевич В.С., Трубин В.А., Шор Н.З.* Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования. Модели, методы, алгоритмы. – М.: Наука, 1986. – 260 с.
31. *Ермольев Ю.М.* Методы стохастического программирования. – М.: Наука, 1976. – 240 с.
32. *Ermoliev Y., Wets R.* (eds.). Numerical techniques of stochastic optimization. // Computational Mathematics, Berlin: Springer-Verlag, 1988. – 572 p.
33. *Zgurovsky M.Z., Pankratova N.D.* System analysis: Theory and Applications. – Berlin: Springer-Verlag, 2007. – 475 p.
34. *Згуровський М.З., Панкратова Н.Д.* Основи системного аналізу. – К.: ВНУ, 2007. – 544 с.
35. *Згуровський М.З., Панкратова Н.Д.* Системний аналіз: проблеми, методологія, приложення. – К.: Наук. думка, 2005. – 744 с.
36. *Пишечный Б.Н., Остапенко В.В.* Дифференциальные игры. – К.: Наук. думка, 1992. – 260 с.
37. *Остапенко В.В., Скопечкий В.В., Фінін Г.С.* Розподіл ресурсів у просторі та часі – К.: Наук. думка, 2003. – 322 с.
38. *Гупал А.М., Сергиенко И.В.* Оптимальные процедуры распознавания. – К.: Наук. думка, 2008. – 240 с.
39. *Гупал А.М., Вагис А.А.* Комплементарность оснований в хромосомах ДНК // Проблемы управления и информатики. – 2005. – № 5. – С. 90–94.
40. *Кнорр P.S., Kasitskaya E.J.* Empirical Estimates in Stochastic Optimization and Identification. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. – 250 p.

Закінчення — у наступному номері.