



**СЕРПІЄНКО**  
**Іван Васильович** —  
академік НАН України,  
директор Інституту кібернетики  
ім. В.М. Глушкова НАН України

## КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ І НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ПРОГРЕС

*У статті розглянуто проблеми, пов'язані з розробленням сучасних комп'ютерних технологій. Відзначено важливу роль, яку відіграють при цьому математичне моделювання, методи оптимізації, алгоритмічні мови програмування, методологія захисту інформації в системах, досконалість сучасних комп'ютерів, на яких реалізуються комп'ютерні технології. Наведено короткий аналіз основних розробок у цій галузі, здійснених за останні 5–7 років ученими Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України.*

Одним із найдинамічніших напрямів розвитку науки і техніки сьогодні є створення комп'ютерних, зокрема інформаційних, технологій та методів і засобів, пов'язаних з розширенням їхніх застосувань. Завдяки інтенсивному розвитку методів оптимізації, математичного моделювання, розпізнавання образів, прогнозування та прийняття рішень з'являються нові можливості у розв'язанні складних задач, що виникають при прийнятті управлінських і державних рішень, бюджетному та макроекономічному плануванні і прогнозуванні, розміщенні об'єктів, проектуванні складних технічних систем і мереж, створенні нових засобів обчислювальної техніки, комп'ютерних систем моделювання інтелектуальної діяльності людини, інтелектуальних робототехнічних систем тощо.

Комп'ютерні технології (КТ) в Україні є одним з найперспективніших і найвагоміших чинників розвитку економіки. Третє місце (після металургії та агросектору) за внеском у ВВП країни — це серйозна заявка на те, щоб посісти чільне місце серед державних пріоритетів. Науковий потенціал у цій галузі в Україні є одним з найпотужніших у світі.

Стрімкий розвиток комп'ютерних технологій став можливим завдяки появі високорозвинених програмно-апаратних засобів обчислювальної техніки, зокрема суперкомп'ютерів, використанню ґрид-технологій та потужних локальних комп'ютерних мереж для виконання складних обчислень при обробленні великих та надвеликих масивів даних. Поява потужної комп'ютерної техніки, ефективних математичних методів та відповідного програмного забезпечення значно розширила спектр мож-

ливостей для проведення наукових досліджень з розроблення та використання комп'ютерних технологій [1].

При вивченні поведінки деякого процесу (неважливо якого — природного, технологічного, соціального, економічного тощо) надзвичайно важливо враховувати якомога більше різних, навіть найдрібніших, факторів, що впливають на цей процес. Зосередження уваги лише на одному окремо взятому об'єкті дослідження є не зовсім правильним — необхідний системний підхід, коли вивчається певна складна система, в якій взаємодіють між собою багато об'єктів та процесів. У зв'язку з неперервним зростанням складності досліджуваних систем виникла потреба в розробленні нових математичних моделей, які, з одного боку, дали б змогу досягнути максимальної точності в описанні поведінки досліджуваних процесів, а з іншого, — дозволяли б використовувати наявний математичний апарат.

Звісно, актуальним є й розроблення нових підходів, математичних методів та алгоритмів для розв'язання широкого кола математичних задач, які моделюють складні природні, технічні та соціальні процеси. Все це дає можливість проведення ефективнішого довго- та короткострокового прогнозування поведінки досліджуваних систем. При цьому чим більше ми знаємо про об'єкт дослідження і чим точнішу його математичну модель можемо побудувати, тим точніше ми зможемо спрогнозувати його поведінку, а отже, ефективніше ним керувати. Математичне моделювання поведінки процесів різної природи та оптимальне керування цими процесами мають ключове значення для проведення системних досліджень у багатьох сферах діяльності. Створення нових, дієвих методів дослідження моделей складних процесів та систем, розроблення теорії та методів системного аналізу сприяють розвитку багатьох галузей науки і техніки, зокрема суттєво розширюють можливості сучасних комп'ютерних технологій.

Надзвичайно актуальним є розроблення математичних моделей, методів та високоінтелектуальних інформаційних технологій для

аналізу і розв'язання проблем, що стосуються складних процесів у різних сферах людської діяльності, які відбуваються в умовах невизначеності та характеризуються багатокритеріальністю, неповнотою і можливими збуреннями вхідної інформації. Такий аналіз дає змогу враховувати фактори нестабільності ситуації та можливості ризиків шляхом встановлення меж надійності рішень, що приймаються. Результати досліджень у цьому напрямі можуть бути використані як основа при прийнятті рішень в умовах невизначеності та ризику, зокрема при математичному моделюванні перехідних процесів в економіці України, вивченні нових закономірностей функціонування як економіки в цілому, так і окремих її складових, а також у процесі прийняття управлінських рішень на різних рівнях господарювання.

Важливим напрямом досліджень, пов'язаним зі створенням наукового фундаменту в галузі побудови комп'ютерних технологій, є математичні методи оптимізації, зокрема дискретної оптимізації [2]. Ці методи мають особливо важливе значення при розв'язанні надскладних оптимізаційних задач (у тому числі задач великої розмірності), які виникають при прийнятті оптимальних рішень у різних сферах людської діяльності.

Слід зазначити, що в багатьох випадках засоби розв'язання оптимізаційних задач є невід'ємною складовою сучасних комп'ютерних технологій. З іншого боку, сам процес розв'язання задач можна розглядати як комп'ютерну технологію для дослідження прикладних проблем, які можна формалізувати у вигляді задач математичної оптимізації.

Роботи в галузі дискретної оптимізації інтенсивно ведуться як в Україні (Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київський, Запорізький, Ужгородський, Східноєвропейський національні університети та ін.), так і за кордоном (Обчислювальний центр РАН, Білоруський державний університет, університети Флориди, Колорадо, Техаський А&М університет в США та ін.). Складність і різноманітність прикладних дискретних оптимізаційних задач та пов'язаний з ними великий

обсяг обчислень потребують розроблення і дослідження нових обчислювальних методів дискретного програмування, призначених для задач трансобчислювальної складності, створення ефективних підходів до прискорення процесу їх розв'язання та відповідних програмних засобів.

В Інституті кібернетики дослідження в галузі дискретної оптимізації проводяться на світовому рівні [3–6]. Так, для підвищення ефективності роботи алгоритмів дискретної оптимізації на основі їх розпаралелювання запропоновано застосовувати об'єднання алгоритмів. Зокрема, створено і досліджено об'єднання алгоритмів глобального рівноважного пошуку для розпаралелювання процесу розв'язання задач про максимальний зважений розріз графу (WMAXCUT), задач булевого квадратичного програмування без обмежень (UBQP), які мають застосування при вивченні актуальних проблем медицини, фізики, фінансів, теорії графів, при аналізі великих масивів даних тощо. Створені об'єднання алгоритмів та відповідне програмне забезпечення у деяких випадках дають можливість прискорити процес розв'язання на суперкомп'ютерах складних оптимізаційних задач цих класів більш як у 100 разів (залежно від розмірності задач, кількості використаних процесорів) та розв'язувати задачі великої розмірності (наприклад, до 50 000 вершин графу для задачі WMAXCUT та 15 000 змінних для задачі UBQP).

Досягнення сучасної теорії графів дають можливість описати у вигляді відповідних математичних моделей і здійснити ефективне дослідження широкого спектру надскладних процесів. Особливо це стосується досліджень, пов'язаних з обробкою великих об'ємів даних, що, як правило, супроводжує розв'язання важливих задач у космічній галузі, екології, метеорології тощо. Важливо наголосити, що теорія графів інтенсивно розвивається і в Інституті кібернетики, а отримані результати мають важливі впровадження [7, 8]. На основі теорії графів розроблено метод направлено-го структурування, який дозволяє ефективно розв'язувати екстремальні задачі на комбінаторних конфігураціях [9]. Запропоновано гра-

фовий підхід до розв'язання задач комбінаторного розпізнавання [10].

Ще одним перспективним напрямом робіт є розроблення алгоритмів розв'язання задач великої розмірності на основі використання методів недиференційовної оптимізації, а саме субградієнтних методів з перетворенням простору в сполученні з різними схемами декомпозиції (за обмеженнями, за змінними) та їх комбінаціями [11, 12]. Такі алгоритми дають можливість ефективно розв'язувати прикладні задачі, які можна формалізувати структурованими моделями лінійного та нелінійного програмування. Йдеться про виробничо-транспортні задачі, багатопродуктові задачі на мережах з обмеженими пропускними здатностями дуг, задачі вибору оптимальної структури машинно-тракторного парку та ін. Слід зазначити, що виробничо-транспортні моделі активно використовуються при створенні сучасних систем логістики для великих холдингів України (гірничо-металургійних, машинобудівних, агропромислових тощо), служб доставки вантажів (Нова пошта, Ін-тайм, Delivery та ін.).

Розроблені в Інституті кібернетики методи недиференційовної оптимізації використовувалися для розв'язання задач оптимального проектування структур відмовостійких мереж у рамках досліджень, виконаних за проектом УНТЦ [13]. Зокрема, було розглянуто задачі проектування мережі мінімальної вартості за умови виходу з ладу окремих її ланок, знаходження пропускних здатностей дуг відмовостійкої орієнтованої мережі, проектування оптимальної логічної структури відмовостійкої мережі, модернізації відмовостійкої мережі, оптимізації мереж з урахуванням неповноти інформації, задачі перспективного планування перевезень та знаходження оптимальної номенклатури рухомого складу. Для відшукування оптимальних розв'язків цих задач застосовувалися методи недиференційовної оптимізації, локального дискретного пошуку з елементами послідовного аналізу варіантів та схеми декомпозиції за змінними та обмеженнями.

Субградієнтні методи з перетворенням простору покладено в основу програмного забез-

печення для розв'язання задач оптимального планування навантажень енергоблоків ТЕС на плановий період з можливим відключенням однієї групи енергоблоків та врахуванням маневреності іншої групи енергоблоків [14]. На їх основі створено веб-орієнтовану комп'ютерну систему Маневр-NEW, яка надає можливість користувачу оптимально перерозподіляти навантаження енергоблоків ТЕС, регулюючи їх потужності для покриття планового графіка споживання електроенергії. Аналіз результатів проведених обчислювальних експериментів дозволив визначити термін (2–3 хвилини) для розв'язання цих задач у масштабах всієї Об'єднаної енергосистеми України.

Моделі і методи недиференційованої оптимізації використано також при створенні комп'ютерної технології для планування структурних міжгалузевих економічних реформ [15] з урахуванням інтересів різних соціальних груп і прошарків, що сформувалися в суспільстві в перехідний період. Як цільові функції, які потрібно максимізувати, були вибрані сукупний дохід споживачів і мультиплікатор «приріст доходів – приріст споживачів». Оптимізаційні особливості побудованих моделей і підходи до їх дослідження об'єднують пряму і двоїсту моделі Леонтєва, що дає змогу використовувати для аналізу сингулярні числа і власні вектори невід'ємних матриць. З їх допомогою можна досліджувати зв'язки між витратами на виробництво продукції і цінами при розподілі продукції в економічній системі [16].

Починаючи з 2004 р. Інститут кібернетики розробив і впровадив чотири покоління високопродуктивних комп'ютерних систем СКІТ [17]. Кожна система СКІТ на момент введення в експлуатацію була найшвидшим комп'ютером України і посідала одне з перших місць в СНД (рис. 1). Реальна продуктивність комплексу СКІТ-4 при розв'язанні систем лінійних рівнянь (за тестом Лінпак) становить 18 трильйонів операцій на секунду (18 терафлопсів), а його сукупна пікова продуктивність – 43 терафлопси [18]. Сукупний об'єм оперативної пам'яті підвищено за останні три роки більш ніж удвічі – до 2,5 Тбайт.

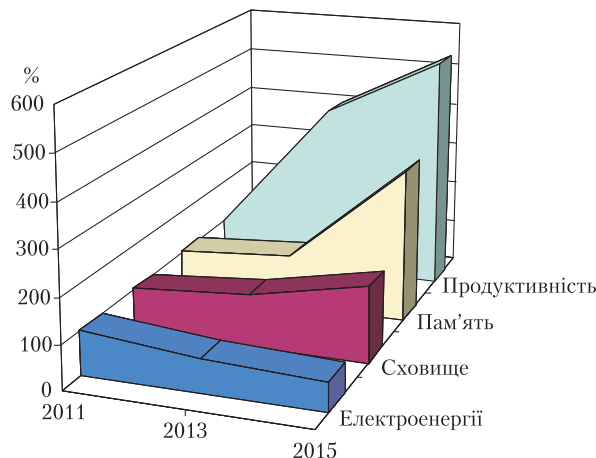


Рис. 1. Розвиток високопродуктивних комп'ютерних систем СКІТ

Це – найважливіший параметр, який визначає можливості щодо ефективного розв'язання задач тривимірного моделювання у метеорології, геофізиці, при проектуванні нової техніки і споруд, оскільки точність і детальність обчислювальних сіток обмежена насамперед об'ємом оперативної пам'яті. Об'єм паралельного файлового сховища підвищено за три роки на 70% до 170 Тбайт, а його швидкодію – у 8 разів до 1 ГБ/с. Від цього вдосконалення виграли задачі обробки великих об'ємів даних, таких як дані експериментів на Великому адронному колайдері, дані сейсмозвідки родовищ корисних копалин, великі економічні бази даних тощо [19].

З початку 2005 р. Інститут кібернетики надає доступ до комплексу СКІТ іншим інститутам НАН України, дослідникам з провідних університетів, державним установам і підприємствам, а з 2009 р. на основі СКІТ створено Ресурсний центр Українського національного гріду [20], який є складовою частиною Європейської грид-інфраструктури (EGI). У рамках інтеграції СКІТ пройшов сертифікацію EGI. Завдяки застосуванню суперкомп'ютерів СКІТ українські вчені отримали важливі фундаментальні та прикладні результати з біофізики, біохімії, фізичної хімії, квантової механіки, матеріалознавства, медицини, геології, геофізики, нанотехнологій тощо. Суперкомп'ютери

СКІТ застосовуються для розв'язання загальнодержавних задач (зовнішня розвідка, державний бюджет, оптимізація обслуговування державного боргу) і задач, що виникають на високотехнологічних державних підприємствах (АНТК «Антонов», УкрДГРІ, НВП «Карат»). Використовується СКІТ у дослідженнях з екології (зокрема, для моделювання впливів споруд глибоководного суднового ходу «Дунай — Чорне море» на гідрологічні та морфодинамічні параметри у транскордонному контексті, для прогнозування наслідків скидів вод АЕС у водосховища, затоплення прибережних зон і заплав), у енергозбереженні (у системі «Маневр» для оптимізації рішень щодо добового погодинного електричного і теплового навантаження енергоблоків теплоцентралі), геології і видобутку корисних копалин (для моделювання та обробки даних сейсморозвідки нафтогазових родовищ з наявністю ризикових геологічних розломів, зон тріщинуватості, соляних куполів тощо, у системі «Надра» для аналізу усталеного руху рідини в природних тривимірних багатокомпонентних ґрунтових об'єктах з повним чи частковим вологонасиченням), метеорології (з урахуванням супутникових даних) та ін.

Важливою перевагою СКІТ є його унікальна система енергозбереження, яка забезпечує низьке споживання електроенергії за допомогою програмно-апаратного комплексу енергозбереження, який здійснює управління чергами задач [21]. Коефіцієнт ефективності використання енергії досягає приблизно 1,05 в холодний період року і 1,15 у найтепліші місяці, що відповідає найкращому сучасному рівню.

У цій статті ми коротко зупинимося на різних класах КТ, які вже розроблені співробітниками Інституту кібернетики і широко використовуються на практиці або розроблення яких зараз активно здійснюється. Зазначимо, що значна частина новітніх КТ розроблена спільними зусиллями кібернетиків та фахівців інститутів інших відділень НАН України, а також спеціалістами державних органів влади — міністерств та відомств, Верховної Ради України, Кабінету Міністрів України.

**Інсерційне програмування, інсерційне моделювання та сфери їх використання.** Починаючи з 2000-х років в Інституті кібернетики активно ведуться дослідження з алгебраїчної теорії взаємодії інформаційних процесів. Ці роботи зумовлені загальними потребами розвитку інформаційних технологій, а саме: ускладненням програмних систем, інтенсивним розвитком розподілених та багатопроекторних обчислювальних систем, необхідністю застосування формальних методів при розробленні програмного забезпечення.

Важливі зрушення в теоретичних основах обчислень відбулися ще у 1990-х роках. Центр уваги перемістився від функціональних моделей до моделей взаємодії в розподілених паралельних системах. У середині 1990-х років виникла нова модель взаємодії агентів та середовищ (Д. Гілберт, О. Летичевський [22]), яка стала відгуком на актуальну тоді ідею «зсуву парадигм від обчислень до взаємодії» і мала на меті також уніфікацію різноманітних підходів у теорії паралельних взаємодіючих процесів.

В основу нової моделі було покладено поняття функції занурення агента в середовище, яка розглядається як неперервний оператор перетворення простору станів середовища. Функція занурення визначає композицію середовища і агента, результатом якої є нове середовище, готове до занурення інших агентів. Агенти й середовища розглядаються як об'єкти різних типів. Їх поведінка подається за допомогою транзиторних систем, які є узагальненням класичного поняття динамічної системи і стани яких розглядають з точністю до бісимуляційної або трасової еквівалентності (ці поняття вивчаються в алгебраїчній теорії взаємодії). Проте середовище обмежує і навіть може трансформувати поведінку агента. Ця обставина зумовлює нове визначення поняття еквівалентності агентів, слабше порівняно з бісимуляційною еквівалентністю: двох агентів називають еквівалентними щодо заданого середовища, якщо вони визначають одне й те саме перетворення поведінки середовища. Єдине обмеження, що накладається на функцію занурення агента в середовище і є необхід-



ним для конструктивності, — це неперервність (у придатній топології). Завдяки цьому обмеженню для визначення функції занурення можна використовувати системи переписування (алгебраїчне програмування), числення, рекурсивні визначення.

Одним з основних прикладів середовища може бути комп'ютер, якщо розглядати його як середовище для програмних агентів. Занурення програм у комп'ютер змінює його поведінку, перетворюючи на інше середовище. Перша програма (чи система програм), яка занурюється в комп'ютер, — це зазвичай операційна система (Windows, Unix тощо). Вона розширює можливості взаємодії комп'ютера з програмними агентами і зовнішнім середовищем користувача, яке надає програмні агенти для занурення в комп'ютер. Проста програма старого типу отримує деякі дані, відпрацьовує певний алгоритм і успішно завершує свою роботу, змінюючи поведінку середовища незначною мірою і лише на короткий час. Інша річ — пакети прикладних програм (інший тип агентів, що занурюються в обчислювальне середовище), які постійно готові до отримання запитів разом з вхідними даними для розв'язання задач деякого класу. Занурення таких пакетів чи інтерактивних програм, що взаємодіють із зовнішнім середовищем, істотно змінює поведінку початкового обчислювального середовища.

Іншим прикладом складного середовища є Інтернет. Агенти в цьому середовищі не тільки взаємодіють між собою, а й мають властивість мобільності — можуть переміщуватися в просторі, створюваному середовищем. У телекомунікаційному середовищі, що підтримує мобільний зв'язок, переміщення агентів (мобільних телефонів) здійснюється фізично, а в Інтернеті — віртуально. Агенти і середовища можуть бути побудовані ієрархічно.

На підґрунті алгебраїчної теорії взаємодії інформаційних процесів в Інституті кібернетики було побудовано нову технологію програмування — інсерційне програмування [23], яке полягає у розробленні програм на основі моделі взаємодії агентів і середовищ. Важливою ознакою інсерційного програмування є враху-

вання недетермінованості поведінки агентів і середовищ, притаманної реальним системам, які моделюються за допомогою інсерційних програм. У зв'язку з цим реалізація інсерційного програмування в загальному випадку потребує застосування моделюючих програм (симуляторів) замість інтерпретаторів, а також встановлення цілей для отримання конкретних результатів.

У системі інсерційного програмування, розробленій в Інституті кібернетики на базі системи алгебраїчного програмування APS, для опису агентів використовують мову дій. Основні конструкції цієї мови зводяться до кількох простих конструкцій, які містять, зокрема, послідовну й паралельну композиції поведінки агентів. Додається також можливість рекурсивних визначень з використанням систем переписування, а також усі можливості базової мови програмування (у цьому випадку — мов APLAN та C++).

Інсерційне програмування охоплює розроблення не лише програмних агентів для деякого заданого середовища, а й самого середовища.

Подальший розвиток моделі взаємодії агентів та середовищ у поєднанні з методами алгебраїчного програмування сприяв створенню нових технологічних підходів у галузі розроблення софтверу — інсерційного моделювання [24].

Ідея моделювання в комп'ютерній інженерії набула особливо великого значення в останні роки. Інсерційне моделювання застосовується у створенні системи VRS для верифікації вимог до програмних систем, розробленої на замовлення фірми Motorola за участю спеціалістів Інституту кібернетики. Подальший розвиток системи VRS здійснюється американською фірмою UniqueSoft, і тепер засоби системи покривають практично весь процес розроблення систем математичного забезпечення від верифікації вимог до тестування та генерації коду.

Систему VRS успішно застосовують для верифікації телекомунікаційних систем на різних рівнях керування, вбудованих систем та систем реального часу. Символьна верифікація

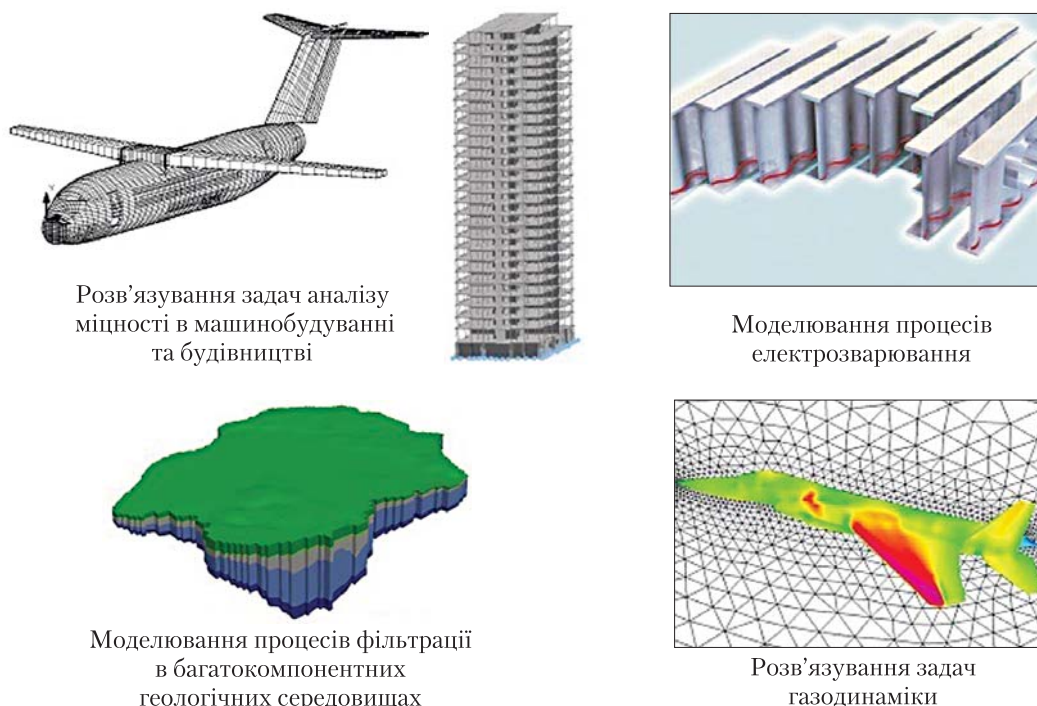


Рис. 2. Сфери застосування Інпарком

і моделювання підтримуються дедуктивними засобами, що використовують технологію автоматичного доведення або спростування тверджень на формальних логічних мовах.

Модельний підхід відіграє важливу роль у розробленні та проектуванні високонадійних програмних систем, особливо систем, критичних щодо безпеки. До них, зокрема, належать системи, що використовуються в аерокосмічній і медичній галузях, ядерній енергетиці, виробництві зброї. Відмови в таких системах пов'язані із загрозою для життя, втратою устаткування, руйнуванням навколишнього середовища тощо. Процес розроблення високонадійних систем ґрунтується на зменшенні ризику або повному виключенні можливості неспрацьовування умови безпеки в роботі системи. Розрізняють зовнішню і внутрішню надійність системи. Зовнішня надійність забезпечує захист системи від несанкціонованого втручання, а внутрішня — відсутність похибок, надійність та коректність внутрішньої взаємодії. В Інституті кібернетики про-

водяться дослідження, що стосуються всіх аспектів проблеми зовнішньої і внутрішньої надійності програмних систем. Зокрема, розроблена в Інституті система інсерційного моделювання IMS має потужні засоби для забезпечення внутрішньої надійності програмних систем: засоби символічного моделювання та верифікації, розробки тестів, які покривають майже 100% коду, засоби реінжинірингу та оптимізуючих трансформацій. У створенні системи IMS брали участь співробітники Інституту, які вже мали досвід розроблення системи VRS, а також співробітники Херсонського державного університету, з яким ми співпрацюємо впродовж багатьох років.

**Комп'ютерні технології в математичному моделюванні складних технологічних процесів.** Один із перспективних напрямів розвитку високопродуктивних обчислень лежить у площині створення інтелектуальних обчислювальних систем [26]. Інститут кібернетики спільно з ДНВП «Електронмаш» розробили концепцію та створили сімейство ін-

телектуальних комп'ютерів Інпарком [27, 28]. Інтелектуальні робочі станції призначені для дослідження та розв'язання наукових та інженерних задач (рис. 2) і покликані заповнити нішу між персональними комп'ютерами (з порівняно низьким обчислювальним ресурсом) та суперкомп'ютерами.

На відміну від традиційних інтелектуальні комп'ютери дають можливість досліджувати властивості задач, автоматизувати процес адаптивного налаштування алгоритмів, програм та архітектури комп'ютера на властивості задач з наближено заданими вхідними даними та отримувати розв'язки задач з оцінками їх вірогідності.

Звикористанням Інпарком розв'язано складні задачі в різних галузях інженерії [27, 28], в тому числі аеродинамічні задачі обтікання планера АН-148 (спільно з АНТК «Антонов»), проведено газодинамічні і міцнісні розрахунки деталей та вузлів авіадвигунів (спільно з ДП «Івченко Прогрес»), математичне моделювання процесів в'язкого руйнування товстостінних елементів трубопроводів з дефектами стоншення (спільно з Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України) [29], комп'ютерне моделювання процесу обтікання виробу і визначення аеродинамічних характеристик літальних апаратів (спільно з Державним Київським конструкторським бюро «Луч»), математичне моделювання процесів фільтрації в багатокомпонентних геологічних середовищах, зокрема водоносних шарів Чернігівського регіону з розгалуженою мережею поверхневих водотоків (спільно з Інститутом геологічних наук НАН України) [30], аналіз міцності будівельних конструкцій цивільного та промислового призначення тощо.

Яскравий приклад проблем, у розв'язанні яких ключову роль відіграють комп'ютерні технології, — прогнозування запасів підземних вод (це важливо не лише для нас, а й для всього світу). Дослідження українських учених підтвердили, що саме математичне моделювання дає можливість зрозуміти процеси руху підземних вод, а залучення надпотужних комп'ютерів — прогнозувати їх запаси [31].

**Комп'ютерні системи для математичного моделювання в умовах невизначеності.** На основі математичних методів керування в умовах невизначеності розроблено ряд комп'ютерних систем, моделюючих комплексів та тренажерів, пов'язаних з керуванням космічними апаратами, пошуком рухомих об'єктів та стаціонарних цілей, керуванням безпечним злетом та посадкою літаків, «м'якою посадкою», перехопленням цілей в конфліктній ситуації [32–35].

Зокрема, задачу про «м'яку посадку» було застосовано для моделювання процесу посадки літака на авіаносець. Робота виконувалася у співпраці з Національним інститутом стандартів і технологій (Гейтерсберг, США). Ця оригінальна розробка викликала інтерес і в Китаї (Нанкін, Харбін).

Задачі про перехоплення рухомих цілей та уникнення зіткнень завжди були центральними при виконанні важливих робіт державного значення, а задачі динамічного пошуку, важливі для ВМФ, можуть бути використані для пошуку об'єктів, що зазнали аварії і перебувають у важкодоступних місцях. Відзначимо, що повністю обґрунтоване правило паралельного зближення та метод переслідування за променем добре відомі проектувальникам ракетної та космічної техніки.

Особливо складними є задачі конфліктної протидії угруповань керованих об'єктів. Розроблені декомпозиційні методи застосовано до оптимізації таких процесів протидії та використано в програмі «зоряних війн».

Дослідження проблем керування пучками заряджених частинок з використанням рівняння Власова здійснено в рамках проекту УНТЦ в кооперації з Брукгейвенською національною лабораторією (США).

**Дослідження процесів прийняття управлінських рішень.** Прийняття коректних управлінських рішень дає гарантію успішного розвитку подій у будь-якій сфері діяльності, незалежно від типу чи характеру рішень. У зв'язку з цим розробляються інформаційні системи підтримки прийняття рішень, які ґрунтуються на сучасних підходах до проектування інформа-



ційних систем, існуючих методах і процедурах прийняття рішень, а також прогресивних технологіях обробки даних і експертних оцінок.

Успішність управління різного рівня — від управління компаніями чи організаціями і до керівництва державою — великою мірою визначається здатністю керівників оперативно відстежувати і вчасно реагувати на прискорений розвиток різних подій та на виклики, які при цьому виникають. Тому в наш час ефективність управлінських рішень безпосередньо залежить від наявності та ступеня використання інформаційного забезпечення разом з математичними і комп'ютерними засобами аналізу перебігу та передбачення тенденцій розвитку різних процесів (економічних, соціальних та ін.) як на глобальному, так і на національному рівні. Прийняття відповідальних рішень і аналіз їх можливих наслідків у розвинених країнах нині не можна уявити без використання одного з ключових компонентів комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень — інформаційно-аналітичних систем (ІАС) високого рівня. Завдання таких ІАС зумовлюють доцільність їх компонентів, які реалізуються у вигляді ряду спеціалізованих систем моніторингу макроекономічних і бюджетних процесів, засобів екстраполювання і прогнозування, а також моніторингу і контент-аналізу ЗМІ та Інтернету.

В останні роки фахівці Інституту кібернетики розробляють подібну ІАС [36, 37]. Теоретичною базою для її створення стали нові інформаційні технології та оригінальні математичні моделі, призначені для моніторингу і аналізу економічних процесів на макrorівні із застосуванням агрегованих та інтегральних індексів, засоби підтримки прийняття колективних (групових) рішень і вибору оптимальних стратегій за умов невизначеності та ризику, математичні моделі і методи прогнозування на основі статистичних та експертних даних [38, 39]. Однією з найважливіших функцій цієї ІАС є багатокритеріальний аналіз інформаційного простору (Інтернету, друкованих ЗМІ, телебачення і радіо). Сфера її застосування доволі широка, але передусім вона орієнтована

на ефективне використання при виробленні та аналізі відповідальних рішень вищих органів державної влади. Зрозуміло, що використання системи на державному рівні у реальному часі з необхідним ступенем захисту інформації вимагає впровадження потужного обчислювального комплексу вітчизняного виробництва, яким є сімейство суперкомп'ютерів СКІТ.

Ця ІАС може бути ефективно використана також у великих комерційних і фінансових структурах, банках, промислових об'єднаннях, бізнесових структурах. Розроблені математичні та програмно-апаратні засоби дають змогу також розширювати межі застосування інформаційних технологій і можуть бути ефективним інструментом аналізу громадської думки для політичних партій, громадських об'єднань, інформаційних агенцій, дослідницьких і моніторингових інституцій та організацій.

**Моделювання та дослідження економічних процесів.** За ініціативою Бюджетного комітету Верховної Ради України та за узгодженням з Міністерством фінансів України у 2007–2012 рр. у НАН України виконувався комплексний проект «Інтелектуальна автоматизована інформаційно-аналітична система супроводження бюджетного процесу на базі вітчизняної суперЕОМ». Мета проекту полягала у створенні ефективного сучасного інструментарію для розрахунку різних варіантів бюджетно-податкової політики на державному та регіональному рівнях і прогнозування середньострокових наслідків прийнятих рішень. Співвиконавцями цього надзвичайно важливого для держави проекту були Інститут кібернетики, Інститут економіки та прогнозування, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору та Інститут економіки промисловості.

У результаті було розроблено інформаційно-аналітичне забезпечення для коротко- і середньострокового аналізу, планування і контролю виконання регіональних бюджетів з метою обґрунтування вибору варіантів бюджету областей на основі врахування впливу фінансово-економічних регуляторів (процентної ставки НБУ, курсу гривні, ставки акцизного збору,

ставки податків на прибуток для фізичних осіб, ПДВ та ін.) [39–41]. Основою створеного інформаційно-аналітичного забезпечення є комплекс взаємодіючих математичних моделей, які описують реальний фінансовий, соціальний та суспільний сектори, а також місцеві ринки праці, фінансів, товарів та послуг. Під час виконання проекту на єдиній методологічній основі було зібрано й класифіковано статистичну інформацію, проаналізовано структуру і особливості функціонування регіональних економік, проведено прогнози розрахунки щодо формування місцевих бюджетів для всіх областей України. На жаль, недостатнє фінансування проекту не дало змоги виконати його в запланованому обсязі.

Одним із напрямів застосування розроблених в Інституті кібернетики засобів математичного моделювання стало їх використання при інформаційно-аналітичному супроводженні законотворчого процесу у вітчизняній інформаційно-аналітичній системі «Електронний парламент» [36, 39, 42]. Складність завдань, що стоять перед інформаційними системами, які використовуються у Верховній Раді України, потребує інтелектуалізації наявних і розроблення нових програмних засобів у форматі систем підтримки прийняття рішень. Створено відповідну інформаційну технологію, основу на застосуванні математичних моделей моніторингу і аналізу економічних процесів на макрорівні, групових експертних оцінок, моніторингу динаміки інформаційних процесів у глобальних мережах на базі інтеграції компонент систем підтримки прийняття рішень з відповідними національними реєстрами.

Актуальною проблемою сьогодення є створення інформаційного суспільства і на його основі — суспільства знань. На цьому шляху інформатика перетворюється на системоутворюючу галузь науки, головним завданням якої стає інфраструктурна підтримка процесів інтеграції, конвергенції, уніфікованого представлення знань та операцій над ними [43]. В результаті багаторічних досліджень установи НАН України — Інститут кібернетики

та Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору — створили першу чергу інформаційної технології та комплексу програмно-інформаційних засобів опрацювання знань. Центральною функцією цього комплексу є консолідація та інтеграція корпоративних знань з використанням інструменту «формальних комп'ютерних онтологій» та інтернет-ресурсів. Цю технологію було використано у формуванні єдиного навчально-інформаційного простору Міністерства освіти і науки, при виконанні проектів Малої академії наук та Програми інформатизації НАН України [44]. На черзі її впровадження в галузеві та корпоративні структури.

**Захист інформації в системах.** Вагомий внесок інститути НАН України і зокрема Інститут кібернетики зробили у вирішенні фундаментальних і прикладних питань захисту інформації в лініях зв'язку будь-якого виду, в локальних і глобальних мережах, у системах електронного документообігу та електронної звітності [45–52].

Співробітники Інституту кібернетики розробили національний стандарт ДСТУ 4145-2002 «Цифровий підпис, що ґрунтується на еліптичних кривих» [53]. Використання такого цифрового підпису в електронному документі є вкрай важливим з огляду на неможливість його підроблення. Згідно з законодавством України електронні документи мають юридичну силу, якщо виконується низка вимог, серед яких обов'язкове застосування цифрового підпису, що відповідає ДСТУ 4145-2002. Розроблено основи побудови в Україні інфраструктури центрів сертифікації відкритих ключів, які є невід'ємною складовою систем електронного документообігу.

Створено програмний комплекс генерування і тестування псевдовипадкових і випадкових послідовностей для побудови ключової інформації, що використовується в засобах криптографічного захисту. Здійснено експертизу і доопрацювання до дослідних зразків системи ідентифікації об'єктів у будь-якому середовищі на території України (системи «свій-чужий»).

Розробляються ефективні за швидкістю алгоритми обчислення основних криптопримітивів. Це дає змогу підвищити продуктивність систем двоключової криптографії та контролювати процес накопичення похибки заокруглення при розв'язанні задач трансобчислювальної складності. В інтересах Міністерства оборони України в рамках держзамовлення створено програмно-апаратний комплекс «Арифметика» [45].

Існує необхідність захисту різних інформаційних систем, зокрема локальних мереж державних та комерційних закладів, від загрози витоку інформації, порушення авторських прав і особистих таємниць. Не можна виключати й можливість використання засобів стеганографії антидержавними терористичними структурами. Це актуалізує створення та реалізацію ефективних методів стеганоаналізу. В Інституті кібернетики розробляються методи стеганографічного захисту інформації, сумісні зі світовими досягненнями в цій галузі. В інтересах державних органів розроблено нові оригінальні алгоритми розв'язання задач комп'ютерної стеганографії, які дають можливість приховано передавати інформацію по відкритих каналах зв'язку, а також, не знаючи таємного стеганоключа, робити висновки щодо наявності прихованої інформації в цифрових аудіо- та відеоконтейнерах і зображеннях. Варто зазначити, що розроблені в Інституті кібернетики алгоритми криптистеганографії дозволяють підвищити стеганостійкість алгоритмів комп'ютерної стеганографії завдяки поєднанню позитивних рис криптографії та стеганографії. Отримані результати посилять оборонний комплекс України в галузі забезпечення захисту інформації, даючи можливість використовувати власні розробки, які відповідають світовому рівню.

На основі досягнень у розвитку загальної теорії оптимальних алгоритмів [46–49] розробляються сучасні комп'ютерні технології розв'язання задач прикладної та обчислювальної математики з наперед заданими значеннями характеристик якості наближених розв'язків задач за точністю та швидкістю.

Такі технології затребувані при розв'язанні високоточних задач, задач, які розв'язуються в режимі реального часу, в умовах неточного задання вхідної інформації, задач інформаційної безпеки.

**Цифрова обробка сигналів та відеосистеми різного призначення.** Цифрова обробка сигналів є однією з галузей комп'ютерної науки, яка останнім часом найбільш стрімко розвивається. Без цього практично неможливо уявити сучасні комунікаційні технології — цифрове телебачення, мобільний зв'язок тощо. Основу успіху в цій галузі становить безперервний розвиток технічних засобів обробки сигналів. В Інституті кібернетики також ведуться теоретичні і прикладні дослідження в цьому напрямі. Серед найвагоміших теоретичних результатів слід відзначити розроблення узагальнених теоретико-числових перетворень та обґрунтування їх основних теорем [54]. На основі цих перетворень вдалося сформулювати і обґрунтувати теоретичні основи машинної алгебри [55] та її представлень, основи редукційного паралелізму в обчисленнях, спосіб організації обчислювальних процесів та систему команд. Можливість проектувати процесори машинним шляхом дозволила створити новий напрям у розвитку сигнальних процесорів, пов'язаний з процесорами супернейманівської архітектури, які не мають аналогів у світі. На основі проведених досліджень разом з НДІ гідроапарату створено радіоелектронний комплекс малої гідролокаційної системи з антеною, що опускається, електронний комплекс низькочастотної акустичної вимірювальної системи, який уже передано для експлуатації замовнику з Китаю, а також розроблено сигнальний процесор з високим рівнем внутрішньої мови, що не має аналогів у світі.

Використовуючи результати досліджень зорово-аналізуючої системи людини як прототипу, в Інституті кібернетики розроблено методи інтелектуального сприйняття відеоінформації, грубо-точні методи пошуку об'єктів у зображенні за різними ознаками, методи стеження за рухомими об'єктами, панорамування навколишньої обстановки, паралельної обробки

відеоінформації безпосередньо на сенсорі, які значно зменшують надлишковість в обробці інформації та підвищують продуктивність систем технічного зору різного призначення [56–59].

Створено і впроваджується на ДП НВК «Фотоприлад» Укроборонпрому (Черкаси) алгоритмічно-програмне та апаратне забезпечення для цифрової обробки відео та тепловізійних зображень (рис. 3) з метою поліпшення якості, фільтрації, виділення та розпізнавання частково спотворених контурів об'єктів в умовах завад та афінних перетворень, а також для стеження за рухомими об'єктами при використанні цього забезпечення у комплексі зі штатною апаратурою бронетанкової техніки. Інтерес до цих розробок виявили також підприємства і компанії провінції Гуандун (Китай).

На базі нових інформаційних технологій в Інституті було створено низку інтелектуальних відеосистем різного призначення, зокрема:

- перші в Україні інтелектуальні відеокамери ІВК-1;
- пристрій для візуального контролю якості продукції (за ознаками кольору, розмірів, форми) та її ідентифікації;
- пристрій для візуального контролю статичних і динамічних параметрів фізичних, хімічних та біологічних об'єктів;
- цифровий оптичний капілярскоп (рис. 4) з автоматизацією вимірювання статичних і динамічних параметрів мікроциркуляції крові людини;
- гемодинамічна лабораторія «МакроМікроПотік» (рис. 5) для контролю стану серцево-судинної системи людини на макро- і мікрорівнях;
- система електронного голосування на виборчій дільниці з інтерактивними аудіо/відео підказками та паперовим підтвердженням результатів волевиявлення для забезпечення чесних і прозорих виборів та підвищення довіри до влади;
- системи виявлення рухомих об'єктів та стеження за ними.

На жаль, жодна з цих високоінтелектуальних і перспективних розробок не була впрова-



Рис. 3. Система наведення і стеження за рухомими об'єктами



Рис. 4. Цифровий оптичний капілярскоп

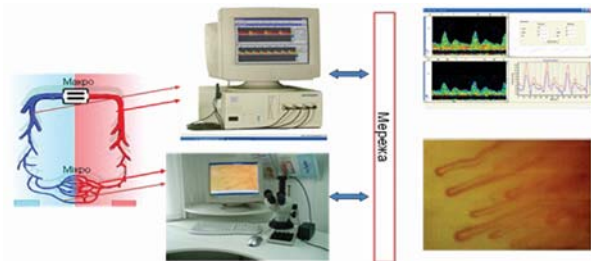
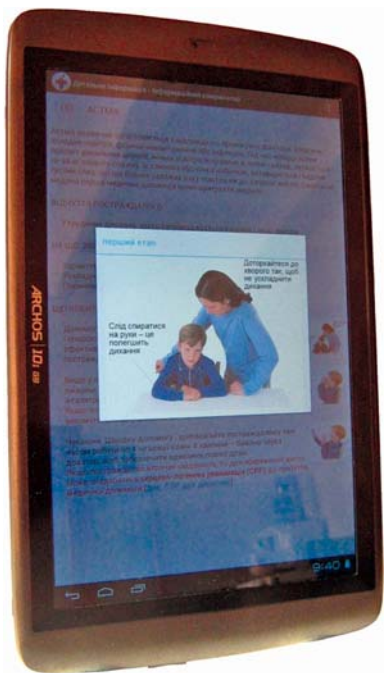


Рис. 5. Гемодинамічна лабораторія «МакроМікроПотік» на базі доплерографа та цифрового оптичного капілярскопа

джена в серійне виробництво в Україні, хоча в Китаї вони виявилися надзвичайно затребуваними, про що й підписано відповідні угоди. Слід також зауважити, що зазвичай такі інтелектуальні відеопристрої доволі коштовні (від тисяч до десятків тисяч доларів). А запропо-





**Рис. 6.** Інформаційний комунікатор для медицини

новані розробки при невисокій вартості їх апаратної частини мають алгоритмічно-програмне забезпечення, яке тиражується досить просто, що й забезпечує їх високу рентабельність та доцільність освоєння в Україні.

**Комп'ютерні технології в генетиці та медицині.** Починаючи з 2003 р. в Інституті кібернетики за допомогою комп'ютерних розрахунків було проведено статистичний аналіз понад 100 геномів (зокрема людини, шимпанзе, миші, щура, риби Tetraodon, хробака, рослин, бактерій і вірусів) з метою виявлення важливих закономірностей у записі генетичної інформації на рівні ДНК-хромосом. Отримано фундаментальні правила симетрії у записі генетичної інформації для двох ланцюгів ДНК. Ці правила істотно доповнюють сучасні уявлення про запис генетичної інформації в ДНК і білках. За допомогою визначених правил симетрії розроблено ефективні комп'ютерні методи розпізнавання просторової структури білків на основі інформації з Всесвітнього банку білкових структур. Отримані результати перевершують можливості відомих сучасних методів, які застосовувалися раніше. На основі

оптимальних процедур розпізнавання побудовано комп'ютерну технологію для діагностики прогресу гліом головного мозку. Розроблено ефективні програмні засоби для обробки інформації про швидкість осідання еритроцитів. Дослідження проводилися спільно з Інститутом нейрохірургії ім. академіка А.П. Ромоданова НАМН України [60].

Ми знаємо, що практично всі відомі захворювання людини є генетичними, тобто пов'язаними з точковими мутаціями нуклеотидів у певних генах ДНК. Є хвороби, спричинені змінами десятків генів. На основі принципу симетрії в ДНК запропоновано метод дослідження стійкості генетичних кодів при мутаціях у нуклеотидах, який дозволяє визначити оптимальний симетричний код відносно полярності амінокислот. Завадостійкість цього коду на порядок перевищує завадостійкість стандартного генетичного коду. Математичне моделювання з використанням сучасних баз даних, які містять інформацію щодо десятків тисяч генетичних захворювань, дало можливість з'ясувати, що порушення полярності амінокислот при мутаціях спричиняє зміну структури білка і виникнення тяжких захворювань. За допомогою байєсівських процедур розпізнавання стандартний і симетричний коди можна використовувати для комп'ютерної діагностики генетичних захворювань, у тому числі мультифакторних. Використовуючи моделі Маркова високих порядків з прихованими станами, побудовано доволі прості комп'ютерні методи розпізнавання фрагментів генів, що мають переваги над зарубіжними підходами [61].

**Інформаційний комунікатор для невідкладної та сімейної медицини.** Взаємовідносини та спілкування між лікарем і пацієнтом — одна з важливих проблем медицини. Правильне спілкування допомагає вирішити труднощі, пов'язані зі встановленням діагнозу і прогнозуванням розвитку захворювання, сприяє скорішому одужанню хворого. Проблеми у спілкуванні лікаря і пацієнта можуть впливати на точність діагнозу, швидкість і якість лікарської допомоги, а також позначатися на перебігу лікувального процесу.

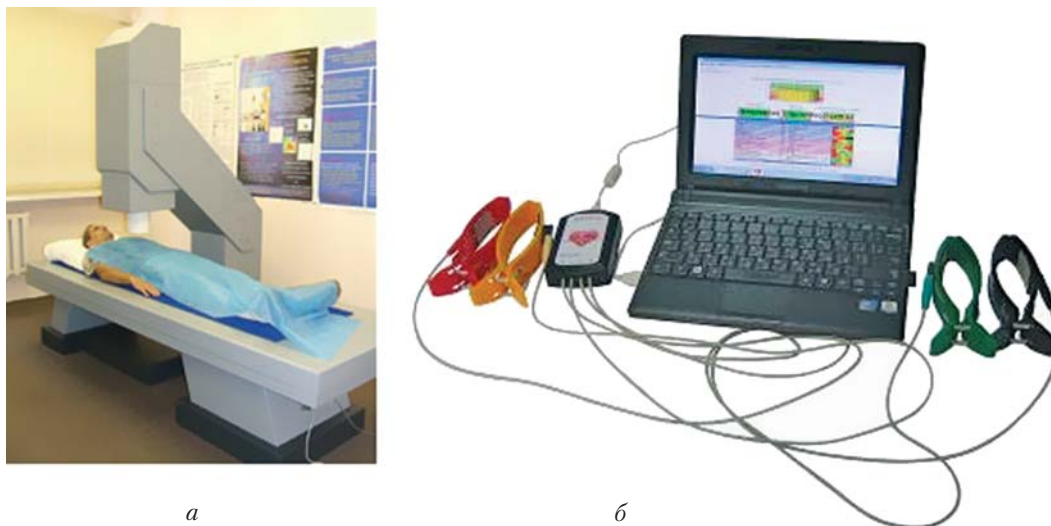


Рис. 7. Зовнішній вигляд кардіомагнітного сканера (а) і автоматизованого ЕКГ-комплексу (б)

В Інституті кібернетики у співпраці з Національною медичною академією післядипломної освіти ім. П.Л. Шупика розроблено інформаційний комунікатор [62] (програмно-апаратний засіб) для застосування в медицині (особливо у невідкладній та сімейній медицині) з метою усунення проблем спілкування лікаря з хворим, який тимчасово чи постійно втрапив можливість говорити або має певні мовні обмеженнями, для підвищення ефективності першого контакту лікаря з хворим. Попередні тестування цього інформаційного комунікатора (рис. 6) були проведені в Національній медичній академії післядипломної освіти ім. П.Л. Шупика.

**Інформаційні технології в медицині.** Відомо, що серцево-судинні захворювання є головною причиною високої смертності населення в Україні. На їх частку припадає більше половини усіх смертей, тому актуальним є створення нових медичних інформаційних технологій для ранньої діагностики серцево-судинних захворювань, а також нової високотехнологічної техніки. У нашій країні цей напрям наукових досліджень динамічно розвивається завдяки зусиллям учених Інституту кібернетики. Яскравим прикладом здобутків вітчизняних фахівців у цій галузі є нові технології аналізу електричної діяльності серця (рис. 7).

По-перше, це магнітокардіографія (МКГ), тобто безконтактна реєстрація та аналіз магнітної компоненти електромагнітного поля серця над грудною кліткою людини за допомогою надчутливого SQUID-сенсора (SQUID – Superconducting QUantum Interference Device) [63, 64]. По друге, технологія з умовною назвою «Нова електрокардіограма (ЕКГ)», призначена для здійснення глибокого і всебічного аналізу звичайної електрокардіограми.

Магнітокардіографія дає змогу в безпечний для пацієнта спосіб прогнозувати виникнення аритмій, виявляти на дуже ранній стадії ішемію міокарда та інші найнебезпечніші захворювання серця. «Нова ЕКГ» різко підвищує інформативність електрокардіографічного обстеження. У поєднанні з використанням мініатюрного портативного електрокардіографа (теж розробка вчених НАН України) вона робить електрокардіограму доступною не лише в стінах лікувального закладу, а й у домашніх умовах.

Зараз МКГ-комплекс використовують у Національному військово-медичному клінічному центрі «ГВКГ» МО України. В 2015 р. виготовлено вдосконалену 9-канальну модифікацію кардіомагнітного сканера, який поставлено фірмі Oxford Cardiomox Ltd у рамках партнерського проекту між цією фірмою, УНТЦ і Ін-

ститутом кібернетики. Наступні дві розробки будуть поставлені цій фірмі в 2016 р., а четверта — у 2017 р. В Україні на основі досліджень у кардіології розроблено методичні рекомендації «Магнітокардіографія: методика проведення обстеження, діагностичні показники, алгоритми клінічного застосування». Ці рекомендації схвалено головним кардіологом МОЗ України і затверджено МОЗ та НАМН України, що підтверджує готовність створеної кардіомагнітної системи до впровадження.

За останні роки в Інституті кібернетики було виготовлено пілотні серії різних прототипів створеного електрокардіографічного програмно-апаратного комплексу. Клінічні випробування проводили в кількох провідних наукових та клінічних закладах України: ННЦ «Інститут кардіології ім. М.Д. Стражеска», Інститут педіатрії, акушерства та гінекології, Інститут урології, Інститут медицини праці, Інститут фізіології, 5-та міська клінічна лікарня в місті Києві. Комплекс продемонстрував свою корисність у різних клінічних та позаклінічних умовах для вирішення низки діагностичних проблем. Особливо слід відзначити випробування у ГВКГ МО України та Українській військово-медичній академії, присвячені аналізу посттравматичного пошкодження серцево-судинної системи у пацієнтів з різними бойовими травмами. За допомогою комплексу у вересні-листопаді минулого року проведено масштабний кардіоскринінг у Хмельницькій області, який охопив 565 населених пунктів. Ініціаторами цього проекту стали Перший добровольчий мобільний шпиталь імені Миколи Пирогова (ПДМШ) і Благодійний фонд «Зміцнення громад». ПДМШ — широко відома в Україні добровольча медична організація, яка у своїй роботі використовує створену вченими НАН України електрокардіографічну технологію, зокрема й у зоні проведення АТО. За короткий час було зроблено майже 23 тис. електрокардіограм, що є офіційно визнаним національним рекордом. У 2016 р. проведено скринінг у найбільш постраждалих районах Луганської області, розташованих найближче до

лінії розмежування (Станично-Луганському районі та кількох інших). Дослідження були виконані в тісній співпраці з ПДМШ ім. Миколи Пирогова і охопили майже 2500 осіб. Проводилося обстеження цивільного населення, а також військовослужбовців, які виконують завдання в зоні АТО, зокрема у 28-й ОМБ. Нині фахівці Інституту кібернетики, застосовуючи потужні комп'ютери та методи data mining, здійснюють глибокий аналіз отриманих даних з метою визначення ресурсу (в контексті здоров'я) серцево-судинної системи людей в обстежених регіонах.

За фінансової підтримки УНТЦ створено надчутливу SQUID-магнітометричну систему, здатну досліджувати процеси, що відбуваються в органах дрібних тварин, для моделювання різних патологічних станів, вивчати вплив токсичних матеріалів на живі системи, досліджувати і контролювати транспорт ліків на наноносіях до різних органів тварин, вивчати магнітні властивості зразків матеріалів, зокрема ліків, вугільну речовину [65] тощо.

Зазначимо, що дослідження за цією тематикою виконуються в Інституті кібернетики разом з фахівцями Інституту медицини праці НАМН України, Національного інституту раку, Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Інституту фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України. За програмою НАН України «Сенсорні системи для медико-екологічних та промислово-технологічних потреб» за участю Інституту молекулярної біології і генетики НАН України в Інституті кібернетики створено пілотні серії зразків портативних приладів для неінвазивного вимірювання гемоглобіну і кровонаповнення в живих тканинах, для дослідження стану мікроциркуляції крові і пульсових хвиль у кровоносних судинах, для діагностики стану рослин і навколишнього середовища. Створено також портативні прилади на основі плазмонного резонансу [66] для біохімічних досліджень та контролю якості продуктів, прилади для визначення концентрації газів. Частина з них уже має сертифікати метрологічної атестації і готові для подальшого впровадження.

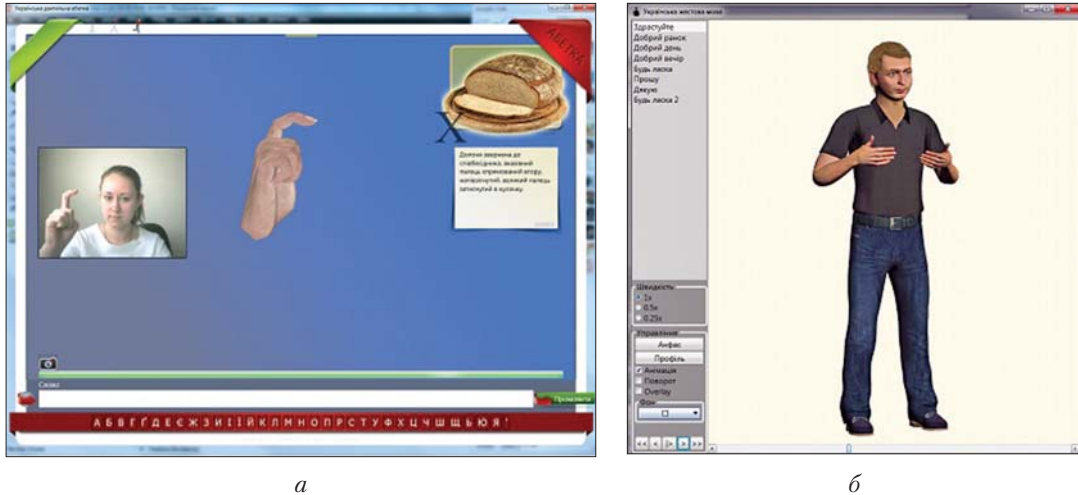


Рис. 8. Інформаційна технологія моделювання, показу і вивчення жестової інформації: а — демонстрація знаків абетки жестової мови; б — демонстрація жестів

**Реалізація можливостей жестової мови в комп'ютерній технології.** Сучасний науково-технічний прогрес у галузі обчислювальної техніки характеризується наявністю надпотужної елементної бази і надвеликих об'ємів пам'яті, загальною доступністю бездротових широкосмугових мереж, використанням високороздільних екранів, розробленням нових людино-комп'ютерних інтерфейсів. Саме побудова нових засобів взаємодії користувача з комп'ютером у способах і формах, звичних для людини, є одним із ключових завдань, які стоять перед дослідниками.

У цьому сенсі значний інтерес викликає науковий напрям, пов'язаний зі створенням методів передачі інформації за допомогою рухів людини. Його надзвичайно важлива складова — спілкування жестовою мовою людей з вадами слуху між собою і з іншими людьми. Згідно зі статистикою Всесвітньої асоціації глухих, від 4% до 10% населення Європи страждають від проблем зі слухом. В Україні близько 0,4 млн людей має вади слуху, а загальна потреба знати жестову мову є у понад 5 млн людей. Навчання дітей цієї категорії здійснюється у 59 спецшколах та 20 університетах, зокрема, групи студентів з вадами слуху навчаються у НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», Національному педагогічному університеті

ім. М.П. Драгоманова, університеті «Україна» та ін. Створено також передумови для запровадження інклюзивного навчання у загальноосвітніх навчальних закладах. Подолання труднощів у спілкуванні жестовою мовою має велике соціальне значення, оскільки незнання і невикористання жестової мови залишає поза активним громадським життям багатьох людей. Крім того, з огляду на те, що проблеми зі слухом суттєво не впливають на фізичний, інтелектуальний, психологічний та інші стани людини, залучення цих людей у виробничі відносини матиме значний економічний ефект.

Розвиток сучасної науки, комп'ютеризація суспільства, використання мультимедійних та інтернет-технологій забезпечили достатні умови для розроблення комп'ютерних технологій, які реалізують мову жестів на просторових моделях людини з можливостями точної передачі рухів людини — носія жестової мови [67, 68]. Ці комп'ютерні технології дозволяють подолати психологічний бар'єр сприйняття жестової інформації під час її вивчення та доволі легко й швидко розуміти і запам'ятовувати як самі жести, так і інформацію, яку ними передають. Відзначимо, що перенесення рухів, що відображують жестову інформацію, на модель є дуже складним завданням, яке потребує значних інтелектуальних і обчислювальних ре-



сурсів [69, 70]. Тільки можливості сучасних суперкомп'ютерів СКІТ дозволили реалізувати такі технології (рис. 8).

**Інформаційна технологія експрес-оцінювання стану рослин на великих територіях в умовах дії стресових факторів.** Одним з основних завдань у сучасному промисловому землеробстві та екологічному моніторингу є експрес-оцінювання стану рослин на великих територіях за умов дії стресових факторів (мороз, посуха, спека, засолення і підвищена кислотність ґрунту, внесення добрив, біодобавок, пестицидів і гербіцидів, викиди шкідливих елементів в атмосферу тощо). Таке експрес-оцінювання дозволяє своєчасно вживати необхідних заходів для збереження майбутнього врожаю у сільському господарстві, для захисту зелених насаджень мегаполісів і лісопаркових зон від захворювань та антропогенних впливів.

На сьогодні для групової діагностики стану рослин в умовах дії різноманітних стресових факторів застосовують в основному лабораторні технології, які є довготривалими, мають невисоку продуктивність, потребують застосування різних технічних засобів, лабораторного обладнання, методичного забезпечення та залучення необхідного кваліфікованого персоналу. Для усунення цих недоліків в Інституті кібернетики розроблено і доведено до серійного виробництва бездротові сенсори, здатні оцінювати стан рослин в експрес-режимі з використанням методу індукції флуоресценції хлорофілу. На базі цих сенсорів створено нову

інформаційну технологію для оцінки стану рослин на великих (до кількох квадратних кілометрів) територіях сільськогосподарських угідь і лісопаркових зон [71]. Складовими цієї технології є бездротові сенсори, які самоорганізуються в бездротову сенсорну мережу для одночасного збору даних про стан рослин на великій території, а також методичне забезпечення, яке дає можливість використовувати цю мережу для вирішення таких завдань:

- експресне оцінювання стану рослин після посухи, морозу, щеплень, внесення пестицидів тощо;
- експресне визначення оптимальних доз хімічних добрив та добавок з метою зменшення вмісту шкідливих речовин, зокрема нітратів, у фруктах і овочах;
- експресне визначення рівня забруднення води, ґрунту і повітря пестицидами, важкими металами і промисловими викидами;
- керування штучним поливом з метою економії водних та енергетичних ресурсів;
- використання у прецизійному землеробстві для підвищення якості аграрної продукції.

На цьому ми завершимо короткий огляд і аналіз розробок Інституту кібернетики в галузі комп'ютерних технологій. Він, звісно, є далеко не повним і найближчим часом буде продовжений. На завершення лише зазначимо, що доволі широкий список цитованої літератури, наведений нижче, дає читачам можливість детальніше ознайомитися з відповідними розробками і, можливо, використати їх у своїй роботі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сергієнко І.В. *Наукові ідеї В.М. Глушкова та розвиток актуальних напрямів інформатики*. К.: Наук. думка, 2013. (Sergienko I.V. *Topical directions of informatics. In memory of V.M. Glushkov*. New York, Heidelberg, Dordrecht, London: Springer, 2014).
2. Сергієнко І.В. *Методи оптимізації та системного аналізу для задач трансобчислювальної складності*. К.: Академперіодика, 2010. (Sergienko I.V. *Methods of optimization and systems analysis for problems of transcomputational complexity*. New York, Heidelberg, Dordrecht, London: Springer, 2012).
3. Сергієнко І.В., Шило В.П. *Задачі дискретної оптимізації: проблеми, методи рішення, дослідження*. К.: Наук. думка, 2003.
4. Шило В.П. Метод глобального рівновесного пошуку. *Кібернетика і систем. аналіз*. 1999. Т. 35, № 1. С. 74–81.

5. Shylo V.P., Glover F., Sergienko I.V. Teams of global equilibrium search algorithms for solving weighted MAXIMUM CUT problem in parallel. *Кибернетика и систем. анализ.* 2015. Т. 51, № 1. С. 20–29.
6. Сергиенко И.В., Шило В.П. Современные подходы к решению сложных задач дискретной оптимизации. *Проблемы управления и информатики.* 2016. № 1. С. 32–40.
7. Донец Г.А., Сергиенко И.В. *Числовые графы и построение дискретных образов.* К.: Наук. думка, 2014.
8. Донец Г.А. *Основы теории числовых графов.* Кировоград: Эксклюзив Систем, 2013.
9. Донець Г.О., Колечкіна Л.М. *Екстремальні задачі на комбінаторних конфігураціях.* Полтава: РВВ ПУЕТ, 2011.
10. Донец Г.А., Билецкий В.И., Ненахов Э.И. Об одной задаче неограниченного комбинаторного распознавания. *Теорія оптимальних рішень.* 2013. № 12. С. 88–94.
11. Шор Н.З. *Методы минимизации недифференцируемых функций и их приложения.* К.: Наук. думка, 1979. (Shor N.Z. *Minimization Methods for Non-Differentiable Functions.* Berlin: Springer-Verlag, 1985).
12. Стецюк П.И. *Методы эллипсоидов и r-алгоритмы.* Кишинэу: Эврика, 2014.
13. Шор Н.З., Сергиенко И.В., Шило В.П. та ін. *Задачі оптимального проектування надійних мереж.* К.: Наук. думка, 2005.
14. Стецюк П.И., Журбенко М.Г., Лиховид О.П. *Математичні моделі та програмне забезпечення в задачах енергетики.* К.: Поліграфічний комплекс, 2012.
15. Sergienko I.V., Mikhalevich M., Koshlai L. *Optimization models in a transition economy.* New York, Heidelberg, Dordrecht, London: Springer, 2014.
16. Стецюк П.И., Бортис Г., Эмменеггер Ж.-Ф. и др. *Институциональные и технологические изменения в странах с рыночной и переходной экономикой.* К.: Киево-Могилянська академія, 2015.
17. Сергиенко И.В., Коваль В.М. СКІТ — український суперкомп'ютерний проект. *Вісн. НАН України.* 2005. № 8. С. 3–13.
18. Головинський А.Л., Маленко А.Л., Сергиенко И.В., Тульчинський В.Г. Энергоеффективный суперкомп'ютер СКІТ-4. *Вісн. НАН України.* 2013. № 2. С. 50–59.
19. Лавренюк С.И., Перевозчикова О.Л. Определение оптимального метода прогноза загрузки кластерных ресурсов и грид-узлов. *Кибернетика и систем. анализ.* 2011. Т. 47, № 2. С. 159–172.
20. Загородній А., Зінов'єв Г., Мартинов Є. та ін. Grid — нова інформаційно-обчислювальна технологія для науки. *Вісник НАН України.* 2005. № 6. С. 17–25.
21. Назаренко Е.В., Тульчинский В.Г., Тульчинский П.Г. Оптимизация обработки больших массивов данных в кластерных системах. *Проблеми програмування.* 2010. № 2–3. С. 149–154.
22. Letichevsky A., Gilbert D. A general theory of action languages. *Кибернетика и систем. анализ.* 1998. Т. 34, № 1. С. 16–36.
23. Летичевский А.А., Капитонова Ю.В., Волков В.А., Вышемирский В.В., Летичевский А.А. (мл.). Инсерционное программирование. *Кибернетика и систем. анализ.* 2003. Т. 39, № 1. С. 19–32.
24. Летичевский А.А. Инсерционное моделирование. *Управляющие системы и машины.* 2012. № 6. С. 3–14.
25. Летичевский А.А. (мл.). Парадигмы модельного и символьного тестирования программных систем. *Кибернетика и систем. анализ.* 2015. Т. 51, № 5. С. 31–44.
26. Сергиенко И.В., Молчанов И.Н., Химич А.Н. Интеллектуальные технологии высокопроизводительных вычислений. *Кибернетика и систем. анализ.* 2010. Т. 46, № 5. С. 164–176.
27. Хімич О.М. Интеллектуальный персональный суперкомп'ютер гібридної архітектури для задач науки і інженерії. *Вісн. НАН України.* 2016. № 5. С. 83–86.
28. Химич А.Н., Молчанов И.Н., Попов А.В., Чистякова Т.В., Яковлев М.Ф. *Численное программное обеспечение интеллектуального МІМД-компьютера Инпарком.* К.: Наук. думка, 2007.
29. Великоиваненко Е.А., Миленин А.С., Попов А.В., Сидорук В.А., Химич А.Н. Методы и технологии параллельных вычислений для математического моделирования напряженно-деформированного состояния конструкций с учетом вязкого разрушения. *Проблемы управления и информатики.* 2014. № 6. С. 42–52.
30. Баранов А.Ю., Белоус М.В., Сергиенко И.В., Химич А.Н. Гибридные алгоритмы решения линейных систем для конечно-элементного моделирования процессов фильтрации. *Кибернетика и систем. анализ.* 2015. Т. 51, № 4. С. 112–120.
31. Sergienko I.V., Deineka V.S. *Optimal Control of Distributed Systems with Conjugation Conditions.* New York: Kluwer Academic Publishers, 2005.
32. Chikrii A.A. *Conflict-controlled processes.* Springer Science and Business Media, 2013.

33. Pardalos P., Jatsenko V., Fenn M.B., Chikrii A.A. *Bilinear Markovian Processes of Search for Moving Objects*. NATO Science for Peace and Security Series: JOSS Press, 2014. V. 37. P. 209–230.
34. Vlasenko L.A., Chikrii A.A. On a Differential Game in System with Distributed Parameters. *Proc. Steklov Institute of Mathematics*. 2016. **292**(1): 276.
35. Кунцевич В.М. *Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации*. К.: Наук. думка, 2006.
36. Сергієнко І.В., Гуляницький Л.Ф. Структура та основні функції інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття законодавчих рішень. *Математичне моделювання в економіці*. 2013. Вип. 1. С. 25–32.
37. Hulianytskyi L., Malyshko S. Big Data in Information Analytical System "NEWSCAPE". In: *Data Stream Mining & Processing*. Proc. IEEE First Int. Conf. on Data Stream Mining & Processing (23–27 August 2016, Lviv, Ukraine). P. 382–386.
38. Hulianytskyi L., Omelianchuk D. Agent-based model of economics: market mechanisms, decision-making, taxation. *Information Technologies & Knowledge*. 2015. **9**(1): 25.
39. Довгий С.О., Сергієнко І.В., Гуляницький Л.Ф. та ін. *Інформаційно-аналітичне супроводження бюджетного процесу*. К.: Інформаційні системи, 2013.
40. Амоша О.І., Гєєць В.М. (ред.). *Моделювання та прогнозування економічного розвитку регіонів України*. К.: Інформаційні системи, 2013.
41. Бігдан В.Б., Карпець Е.П., Пепеляєв В.А., Чорний Ю.М. Особливості середньострокового прогнозування розвитку економіки регіону засобами інформаційно-аналітичної системи супроводження бюджетного процесу. *Математичне моделювання в економіці*. 2013. № 1. С. 48–56.
42. Баран Л.Б., Вишневський В.В., Гуляєв К.Д., Гуляницький Л.Ф. та ін. *Електронний парламент України: досвід створення*. К.: Логос, 2015.
43. Палагин А.В. Проблемы трансдисциплинарности и роли информатики. *Кибернетика и систем. анализ*. 2013. Т. 49, № 5. С. 3–13.
44. Величко В.Ю., Малахов К.С., Семенов В.В., Стрижак А.Е. Комплексные инструментальные средства инженерии онтологий. *Information Models and Analyses*. 2014. **3**(4): 336.
45. Задірака В.К., Олексюк О.С. *Комп'ютерна арифметика багаторозрядних чисел*. Київ, Тернопіль: Економічна думка, 2003.
46. Сергієнко І.В., Задірака В.К., Литвин О.М. *Елементи загальної теорії оптимальних алгоритмів та суміжні питання*. К.: Наук. думка, 2010.
47. Задірака В.К., Бабич М.Д., Березовський А.І. та ін. *T-ефективні алгоритми наближеного розв'язання задач обчислювальної та прикладної математики*. Тернопіль: Збруч, 2003.
48. Задірака В.К. *Теорія вичислення преобразований Фурье*. К.: Наук. думка, 1983.
49. Сергієнко І.В., Задірака В.К., Литвин О.М., Мельникова С.С., Нечуйвітер О.П. *Оптимальні алгоритми обчислення інтегралів від швидкоосцилюючих функцій та їх застосування*: у 2 т. Т. 2. Застосування. К.: Наук. думка, 2011.
50. Савчук М.М. Про роботи київської школи теоретичної криптографії. *Кибернетика и систем. анализ*. 2010. Т. 46, № 3. С. 52–68.
51. Кочубинский А.И., Фаль А.М. Алгоритмы вычисления слепой цифровой подписи на основе национального стандарта Украины цифровой подписи ДСТУ 4145-2002 и российского стандарта цифровой подписи ГОСТ Р 34.10-2001. *Кибернетика и систем. анализ*. 2012. Т. 48, № 4. С. 95–100.
52. Фаль А.М., Козак В.Ф. Проблемы защиты персональных данных при использовании облачных вычислений. *Кибернетика и систем. анализ*. 2014. Т. 50, № 5. С. 132–138.
53. Коваленко И.Н., Кочубинский А.И. Асимметричные криптографические алгоритмы. *Кибернетика и систем. анализ*. 2003. Т. 39, № 4. С. 95–100.
54. Семотюк М.В., Палагин А.В. Обобщение теоретико-числовых преобразований. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2002. № 1. С. 3–13.
55. Семотюк М.В. *Заметки по машинной алгебре*. К.: Сталь, 2012.
56. Боюн В.П. *Динамическая теория информации. Основы и приложения*. К.: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, 2001.
57. Боюн В.П. Зоровий аналізатор людини як прототип для побудови сімейства проблемно-орієнтованих систем технічного зору. *Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы ИИ-2010*: матер. междунар. науч.-техн. конф. Донецьк: Наука і освіта, 2010. Т. 1. С. 21–26.

58. Боюн В.П. Интеллектуальне вибіркове сприйняття візуальної інформації. Інформаційні аспекти. *Искусственный интеллект*. 2011. № 3. С. 16–24.
59. Боюн В.П. Интеллектуальні комп'ютерні системи сприйняття і обробки фізичної інформації. *Вісн. НАН України*. 2015. № 5. С. 82–84.
60. Гупал А.М., Сергиенко И.В. *Оптимальные процедуры распознавания*. К.: Наук. думка, 2008.
61. Гупал А.М., Сергиенко И.В. *Симметрия в ДНК. Методы распознавания дискретных последовательностей*. К.: Наук. думка, 2016.
62. Romanov V., Mintser O., Galelyuka I., Degtjaruk V., Chernetsky V., Chaykovsky I. Computer devices and information technologies for medicine. *Information Technologies & Knowledge*. 2016. **10**(1): 21.
63. Chaikovsky I., Primin M., Nedayvoda I., Budnyk M. Magnetocardiography in Unshielded Setting: Heart Electrical Image Based on 2D and 3D Data in Comparison with Perfusion Image Based on PET Results – Clinical Cases. Chapter 3. *Coronary Artery Diseases*. Zagreb: In-Tech, 2012. P. 43–58. www.intechopen.com.
64. Voitovych I.D., Primin M.A., Sosnytskyy V.N. Application of SQUIDS for registration of biomagnetic signals. *Low Temperature Physics*. 2012. **38**: 396.
65. Булат А.Ф., Войтович І.Д., Прімін М.А., Недаївдова І.В., Бурчак О.В. Дослідження магнітної сприйнятливості вугільної речовини як показника енергетичного стану вугілля. *Доповіді НАН України*. 2013. № 6. С. 99–104.
66. Войтович І.Д., Корсунський В.М. *Сенсоры на основе плазмонного резонанса: принципы, технологии, применение*. К.: Сталь, 2011.
67. Кривонос Ю.Г., Крак Ю.В. Моделирование движений рук, мимики и артикуляции лица человека для синтеза и визуализации жестовой информации. *Кибернетика и систем. анализ*. 2011. Т. 47, № 4. С. 3–8.
68. Кривонос Ю.Г., Крак Ю.В., Бармак А.В., Шкільнюк Д.В. Конструирование и идентификация элементов жестовой коммуникации. *Кибернетика и систем. анализ*. 2013. Т. 49, № 2. С. 3–8.
69. Кривонос Ю.Г., Крак Ю.В., Бармак О.В. *Системы жестовой коммуникации: моделирования информационных процессов*. К.: Наук. думка, 2014.
70. Крак Ю.В., Кривонос Ю.Г., Бармак А.В., Тернов А.С. Подход к определению эффективных признаков и синтезу оптимального полосно-разделяющего классификатора для элементов дактильно-жестовой речи. *Кибернетика и систем. анализ*. 2016. Т. 52, № 2. С. 3–12.
71. Kryvonos Yu., Romanov V., Wojcik W., Galelyuka I., Voronenko A. Application of Wireless Technologies in Agriculture, Ecological Monitoring and Defense. In: Proc. 8<sup>th</sup> IEEE Int. Conf. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2015)*. (Sept. 24–26, 2015, Warsaw, Poland). P. 855–858.