

До 90-річчя від дня народження  
академіка В.М. Глушкова

УДК 004.45:004.2

В.Т. ГРІНЧЕНКО<sup>1</sup>, Т.О. ГРІНЧЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут гідромеханіки Національної академії наук України  
вул. Желябова, 8/4, Київ, 03680, Україна

<sup>2</sup>Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України  
бульв. Чоколівський, 13, Київ, 03186, Україна

## КОМП'ЮТЕРИ І НАУКА

*У статті проаналізовано вплив досягнень і можливостей сучасних комп'ютерних технологій на розвиток науки. Коротко представлено перші кроки становлення комп'ютерної науки. На конкретних прикладах проілюстровано принципово нові можливості досліджень у різних галузях природознавства, що пов'язані з використанням комп'ютерних технологій. Акцентовано увагу на нових напрямках досліджень, нових організаційних формах міжнародних наукових колективів, що сформувалися в сучасній науці, на значній інтенсифікації міждисциплінарних досліджень. Обговорено певні проблеми та негативні наслідки широкого використання комп'ютерних технологій у наукових дослідженнях.*

*Ключові слова:* комп'ютерні технології, розвиток науки, організація наукових досліджень, етика в науці.

---

### ВСТУП

Наш життєвий досвід охоплює практично всю історію розвитку обчислювальної техніки в нашій країні, починаючи зі створеної на початку 1950-х років під керівництвом академіка С.О. Лебедева машини «МЭСМ». Суттєво, що вже в той час сформувалося розуміння важливості цієї нової техніки для майбутнього. Мабуть, саме це розуміння великих перспектив, які відкриває використання обчислювальних машин, і зумовило різку зміну наукових інтересів академіка В.М. Глушкова. У 1956 р. він приїхав до Києва вже як відомий алгебраїст, але пов'язав свої подальші наукові інтереси й активне громадське життя з обчислювальною технікою і кібернетикою.

За активної участі Віктора Михайловича Глушкова на механіко-математичному фа-

культеті Київського університету, де ми тоді навчалися, розпочалася підготовка студентів зі спеціальності «обчислювальна математика». Наш випуск 1959 року був одним із перших, кому почали присвоювати кваліфікацію «математик-обчислювач».

Проте спочатку перспективи розвитку обчислювальної техніки оцінювали неоднозначно. Так, свого часу фахівці відомої компанії «ІВМ» визначали ємність світового ринку комп'ютерів у 5–6 машин. Під час громадської презентації американського комп'ютера в 1946 р. деякі американські вчені заявляли, що його створення — це марно витрачені гроші [1].

У Радянському Союзі досить велика група інженерів і науковців наполягали на тому, що перспективнішим є розвиток аналогової техніки. На щастя, цей скептицизм майже не вплинув на бурхливий розвиток обчислювальної техніки й багатьох галузей науки,

---

© В.Т. Грінченко, Т.О. Грінченко, 2013

ISSN 0372-6436. Вісн. НАН України, 2013, № 9



Віктор Михайлович Глушков

пов'язаних із ним. Подальші події повною мірою підтвердили передбачення академіка В.М. Глушкова:

*ЭВМ — детище науки и техники нашего столетия. По значимости для прогресса их рождение с полной уверенностью можно поставить в один ряд с началом освоения космоса и практическим применением атомной энергии. <...> И недалеко то время, когда электронно-вычислительные машины станут играть колоссальную роль в развитии общества [2].*

Цікаво, як це передбачення співвідноситься з думкою іншого видатного діяча в галузі комп'ютерних технологій — Білла Гейтса, який 10 жовтня 1997 р., виступаючи з лекцією в Державному кремлівському палаці в Москві, сказав:

*Я считаю, что компьютерные технологии являются сегодня самым существенным фактором, влияющим на изменение мира. Под воздействием компьютерных технологий скоро изменится то, как мы работаем, учимся и даже развлекаемся. Влияние будет таким сильным, что не останется ни одной области, которая не будет охвачена компьютерными технологиями [3].*

Про важливу роль комп'ютера в науковій роботі свідчить навіть суто зовнішня ознака.

Сьогодні практично неможливо уявити дослідницьку лабораторію з будь-якого напрямку науки, в якій би не використовували комп'ютер. Він є незамінним помічником ученого в повсякденній роботі. Однак це лише зовнішній бік справи. Стрімкий розвиток комп'ютерної техніки і технологій спричинив радикальні зміни практично в усіх сферах життя, зміни, що визначають сутність інформаційної революції, в результаті якої сформувалося нове суспільство. Для характеристики цього суспільства використовують досить широкий спектр термінів: інформаційне суспільство, суспільство знань, постіндустріальне суспільство та ін.

#### ПЕРШІ КРОКИ

На початковому етапі розвитку обчислювальної техніки основним завданням машини було виконання обчислень для одержання кількісних оцінок певних величин з використанням математичних моделей складних задач. Тоді йшлося про значне прискорення обчислень, а зовсім не про принципове розширення можливостей дослідників у різних галузях знань.

Саме необхідність проведення величезного обсягу рутинних обчислень під час складання артилерійських таблиць стрільби спонукала інженерів Пенсильванського університету (США) до створення першого комп'ютера [4]. Відносно терміна «перший комп'ютер» у літературі й донині точаться жваві дискусії, але з певними застереженнями й доповненнями першим усе ж вважають представлений широкій громадськості 14 лютого 1946 р. електронний обчислювач ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer). Проте цікаво, що в 1973 р. після гучного судового процесу творцем першого у світі комп'ютера було визнано американського фізика Джона В. Атанасова.

Під час тестування першого комп'ютера було одержано вражаючий результат. За допомогою ENIAC розрахунок траєкторії снаряду, яку він долав за 30 с, було здійснено за 20 с. Так формувалося розуміння можливості керування складними системами в режимі реального часу.

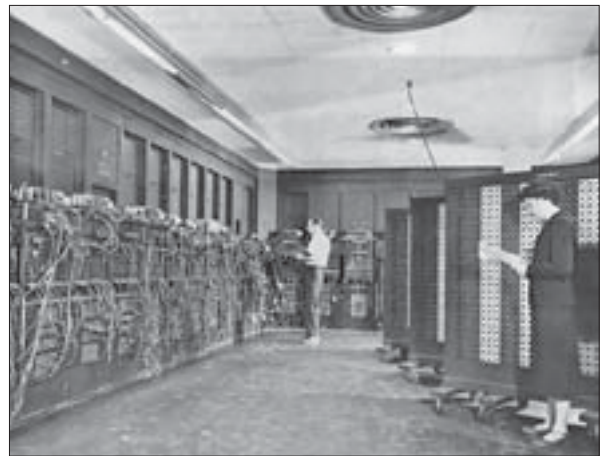
Певною мірою ілюстрацією того, що на першому етапі комп'ютери розглядали лише як обчислювальний засіб, є історія створення водневої бомби. Дві команди вчених, радянських і американських, яких було втягнуто в цей процес, не могли обійтися без використання процедур чисельного моделювання різних аспектів реакції термоядерного синтезу та створення вибухового пристрою. Однак американська команда мала у своєму розпорядженні електронну обчислювальну машину, а радянська — ні. Для вирішення проблем конструювання радянським ученим доводилося використовувати працю живих обчислювачів, які виконували розрахунки за допомогою електромеханічних пристроїв.

Цікава інформація про цей аспект реалізації термоядерного проекту міститься у спогадах Олега Олександровича Лаврентьєва — людини унікальної долі, який в останні роки свого життя працював у Харківському фізико-технічному інституті НАН України. Він безпосередньо брав участь у цьому проєкті і, на думку багатьох фізиків, був ледь не головним ідеологом принципу побудови термоядерної бомби:

*В конце 1951 года я снова встретился с Сахаровым, теперь уже в ЛИПАНе (ныне НИЦ «Курчатовский институт». — Ред.). <...> В июле 1951 года начались расчеты первого варианта водородной бомбы. Сахаров рассказал, как они велись. ЭВМ тогда не было, и за электромеханические арифмометры были посажены двадцать пять девушек. К каждой пятерке приставили студента пятого курса с программой, и эта «машина» работала круглосуточно без выходных и праздников [5].*

Працю жінок для розв'язання складних обчислювальних задач широко використовували і в США, що дало Дж. Лайту підстави для вибору назви своєї роботи — «Коли комп'ютери були жінками» [6].

В історії комп'ютерної техніки, як, мабуть, і в історії загалом, є надзвичайно широка палітра поглядів на пріоритети й запозичення щодо ідей, розробок та їх реалізації. Проте ці аспекти формування бази для широкого використання обчислювальної техніки залишимо поза межами пропонованої статті.



Перший електронний цифровий комп'ютер ENIAC (U.S. Army Photo)



Перша в СРСР і континентальній Європі ЕОМ «МЭСМ»

У всіх країнах, де розробляли комп'ютери, спочатку основним стимулом було військово-застосування. Один з піонерів кібернетики та обчислювальної техніки в Радянському Союзі А.І. Кітов свого часу подавав до уряду пропозицію щодо створення системи обчислювальних центрів під егідою Міністерства оборони. У мирний час такі центри можна було б використовувати для цивільних потреб. Однак, з огляду на тематику цієї статті, важливим є те, що саме він першим зрозумів можливість використання комп'ютерів для вирішення інформаційних проблем управління народним господарством СРСР [7]. У країні почало формуватися



Анатолій Іванович Кітов

розуміння широкого неарифметичного використання комп'ютерів. Разом із В.М. Глушковим А.І. Кітов докладав величезних зусиль, щоб переконати керівництво держави в доцільності створення комп'ютерної системи ОГАС<sup>1</sup>.

Сьогодні, в епоху Інтернету, всім зрозуміло, що обчислення не є головним завданням комп'ютерних систем. Комп'ютери стали невід'ємною частиною нашого повсякденного життя, у тому числі й науки як сфери людської діяльності, спрямованої на накопичення й систематизацію знань про навколишній світ і людину. Детальний аналіз впливу комп'ютерних технологій на кожну з гілок сучасної науки — досить складна і громіздка справа. Наша мета полягала в тому, щоб за допомогою конкретних прикладів відобразити основні тенденції такого впливу, причому зосередитися не лише на позитиві, а й на деяких негативних аспектах цієї взаємодії.

<sup>1</sup> З основними етапами роботи зі створення цієї системи можна ознайомитися в публікації «Как «погас» ОГАС» — [http://www.situation.ru/app/j\\_art\\_333.htm](http://www.situation.ru/app/j_art_333.htm).

## НОВІ НАУКОВІ ДИСЦИПЛІНИ

Першим, найпомітнішим результатом розвитку комп'ютерних технологій була поява нової галузі науки, яка в англійському науковому товаристві має назву *Computer Science*, а перекладається чомусь у множині — *комп'ютерні науки*. Перші наукові роботи в цій галузі з'явилися дещо раніше, ніж було створено перший комп'ютер, що свідчить про те, що сама поява комп'ютера є результатом логічного розвитку науки. Надзвичайно широкі можливості практичного застосування результатів і методів комп'ютерних наук у повсякденному житті зумовили великий інтерес суспільства до цієї галузі знань. Зараз важко знайти навчальний заклад природничого спрямування, в якому не було б факультету комп'ютерних наук або кібернетики.

Другим важливим прикладом нового наукового напрямку, формування якого тісно пов'язане з розвитком комп'ютерних технологій, є *штучний інтелект*. Питання моделювання інтелекту людини виникло практично одночасно зі створенням комп'ютера. Більшість західних учених вважають 1956 р. роком народження штучного інтелекту [8]. В.М. Глушков був великим оптимістом стосовно можливостей створення штучного інтелекту, інколи називаючи не зовсім реальні терміни вирішення цієї проблеми. Під його керівництвом було створено машину МИР, наділену досить потужним машинним інтелектом. Його ідеї виявилися надзвичайно плідними і нині успішно розвиваються в Інституті проблем штучного інтелекту НАН України [9]. Загалом ця галузь науки розвивається повільніше, ніж інші гілки комп'ютерної науки, але прогрес помітний і, без упередженого ставлення, досить легко знайти підтвердження цьому, порівнявши, наприклад, сучасні зразки машинного перекладу з англійської з тими, що реалізували програми-перекладачі років десять тому.

Значного впливу комп'ютерних технологій зазнали практично всі гілки сучасного природознавства. Звернення до каталогу

електронної бібліотеки Library Genesis вказує на наявність понад 70 наукових журналів, назва яких починається зі слів *Computer* або *Computational*. Ці слова слугують прикметниками практично до всіх розділів сучасної науки. У переліку цих журналів є все: комп'ютерна механіка, комп'ютерна фізика, комп'ютерна хімія, комп'ютерна біологія і т.д. Що це означає? Звичайно, всі перелічені й не перелічені, але наявні галузі науки зберігають свою проблематику, власне предметне поле досліджень. Однак озброєний комп'ютерними технологіями сучасний учений має можливість постановки і розв'язання задач, які за інших умов здавалися нерозв'язними.

#### НОВІ МЕТОДИ В НАУЦІ

Важливим наслідком впливу комп'ютера на сучасне природознавство є поява принципово нових методів здобуття знань. До традиційних методів дослідження *in vivo*, *in vitro*, *in situ* додався ще один — *in silico*. Сам термін *in silico* вказує на використання комп'ютерного (математичного) моделювання як засобу пізнання. Цей термін було запропоновано в 1989 р. З 1998 р. видається науковий журнал «*In Silico Biology*».

Методи комп'ютерного моделювання широко і з високою ефективністю застосовують у науці та інженерній практиці. Наприклад, за даними корпорації «Boeing», використання суперкомп'ютерів дозволило під час створення нового літака Boeing 787 зменшити кількість випробувань в аеродинамічних трубах з 77 (як це було в процесі створення 767-ї моделі) до 11. Глибокий аналіз історії розвитку методів математичного моделювання, особливостей такого методу пізнання і співвідношення реального експерименту й математичної моделі наведено в монографії [10]. І хоча з моменту виходу книги сфера використання математичних моделей значно розширилася, викладена в ній філософія моделювання залишається актуальною і сьогодні.

На початковому етапі розвитку обчислювальної техніки військові завдання відігравали вирішальну роль. Саме міркування,



В.М. Глушков зі своєю аспіранткою Т.О. Грінченко, 1964 р.

пов'язані з національною безпекою, виправдовували надзвичайно великі витрати на такі проекти. За нинішніми цінами на створення ENIAC було витрачено понад 6 мільйонів доларів США. Цікаво, що вже перша «цивільна» задача, розв'язана за допомогою комп'ютера (вже іншого — MANIAC I), стала визначальною з погляду оцінювання потенціалу комп'ютера як нового засобу пізнання. Енріко Фермі з командою фізиків розв'язали і проаналізували складну нелінійну проблему визначення руху одновимірного ланцюга з 64 частинок, взаємодія між якими описується різними типами нелінійних функцій [11]. Офіційний звіт про виконану роботу датовано травнем 1955 р., вже після смерті Фермі. Результати розрахунків змусили докорінно змінити точку зору на розподіл енергії між ступенями свободи в нелінійних системах. Якщо раніше вважали, що нелінійність має зумовлювати рівномірний розподіл енергії за ступенями свободи, то розрахунки виявили квазіперіодичну поведінку системи. Конкретні обчислення на значному проміжку часу стали чудовою ілюстрацією до відомої теореми Пуанкаре про повернення [12], згідно з якою система матеріальних точок, що рухаються за законами механіки, в процесі еволюції обов'язково повернеться близько до початкового стану. Одержані Фермі з колегами результати було суттєво узагальнено в наступні роки [13], і сьогодні з повним правом

можна стверджувати, що використання комп'ютера дало змогу здобути принципово нові знання.

У певному сенсі можна сказати, що математика була праматір'ю сучасної комп'ютерної науки. Саме в рамках математики формувалися основні ідеї, практично реалізовані під час створення комп'ютера. Архітектуру сучасних комп'ютерів названо ім'ям відомого математика Джона фон Неймана. Величезне значення для розвитку комп'ютерних технологій мали різні розділи математики: теорія множин, алгебра, математична логіка, математичний аналіз, дискретна математика. Цей перелік неповний і може охоплювати практично всі її розділи. У свою чергу, розвиток комп'ютерної науки значною мірою вплинув і на саму математику.

Можливо, першим прикладом такого впливу, який змушує переглянути зміст основного для математики поняття «доведення», є відома задача про чотири фарби, сформульована в 1852 р. Ф. Гутрі. Суть її проста: чи можна, використовуючи лише чотири кольори, розфарбувати карту на сфері так, щоби будь-які дві однозв'язні області, що мають спільну межу, були пофарбовані різними кольорами. Ствердну відповідь на це питання в 1976 р. дали математики з Іллінойського університету. Доведення було отримано за допомогою комп'ютера, і опис алгоритму займав аж 741 сторінку. Класичного доведення це твердження не має й досі.

У процесі розвитку сучасної науки, відлік якої традиційно ведуть від робіт Галілея і Ньютона, зміст поняття «розв'язок математичної задачі» постійно уточнювався. Складних задач, що не піддавалися розв'язанню, було багато в усі часи, але майже завжди це пов'язували з відсутністю відповідних методів, на розвиток яких і спрямовували свої зусилля вчені. Першого серйозного удару по такому розумінню справи завдав Е. Галуа, який довів принципову нерозв'язність алгебраїчного рівняння високого порядку (більш як четвертого) у радикалах. Почало формуватися уявлення про існування принципово нерозв'язних у певному ви-

гляді задач. Яскравий приклад таких задач додав до скарбниці сучасної науки А. Пуанкаре, довівши теорему про принципову неможливість формування додаткових трансцендентних перших інтегралів у механіці систем трьох тіл, що рухаються під дією сил тяжіння [12]. І сьогодні використання комп'ютера для розгляду принципових питань фізики стало звичною практикою [14].

На фоні розуміння наявності нерозв'язних з класичного погляду задач стає зрозумілою роль комп'ютера як засобу отримання даних про поведінку складних систем. За змістом і методикою дослідницької роботи сформувався прошарок математиків, які, за висловом видатного математика М.М. Моїсеєва, вважали себе комп'ютерними математиками. Монографія М.М. Моїсеєва «Как далеко до завтрашнего дня... Свободные размышления»<sup>2</sup> містить багато глибоких і цікавих думок, висловлених у формі захопливої розповіді про своє життя, про роль комп'ютерів у розвитку науки та суспільства. У багатьох аспектах його міркування споріднені з думками великого вченого і мислителя В.І. Вернадського.

Якщо йдеться про роль комп'ютера у формуванні понятійної бази сучасної науки, неможливо оминати увагою роботу Е. Лоренца, яка певною мірою виявилася визначальною в розвитку уявлень про особливості поведінки нелінійних систем і впровадженні в науковий обіг поняття «детермінований хаос» [15]. І хоча важливі фундаментальні результати в теорії динамічних систем накопичувалися вже досить давно [13], ця праця Е. Лоренца стала вирішальною для зламу психологічного бар'єра щодо неможливості стохастичної поведінки детермінованих систем, встановленого теоремою про єдність розв'язку відповідних диференціальних рівнянь. Поява цієї роботи спричинила лавину наукових публікацій у галузі динамічних систем. Оскільки результат у роботі Е. Лоренца було одержано на основі даних комп'ю-

<sup>2</sup> [http://samlib.ru/n/nikita\\_n\\_m/moiseev.shtml](http://samlib.ru/n/nikita_n_m/moiseev.shtml).

терного розв'язання певної модельної задачі гідромеханіки, можна вважати, що комп'ютер став головним каталізатором розвитку сучасної теорії детермінованого хаосу.

Отже, система нових понять, сформована в межах теорії динамічних систем, істотно збагатила сучасну науку, дозволивши вченим знаходити порядок і закономірності в складних системах, поведінка яких раніше виглядала непередбачуваною. Складається враження, що ця система понять створила базу для ефективного проникнення математики в усі без винятку галузі науки. З іншого боку, значного впливу комп'ютеризації зазнає і сама математика. Взагалі, розвиток комп'ютерної науки стимулював дослідження на стику наук, взаємне збагачення їхньої понятійної бази та методів дослідження. Цікавим у цьому сенсі є висловлювання академіка В.І. Арнольда відносно майбутнього викладання математики:

*Преподаватель математики, не одолевший хотя бы части томов курса Ландау и Лифшица, станет тогда таким же ископаемым, как сейчас — не знающий разницы между открытым и замкнутым множеством* [16].

Навіть у філософії висловлюється думка:

*Якщо найближчими роками залишаться філософи, які не знайомі з останніми досягненнями в галузі штучного інтелекту, їх можна буде звинуватити у професійній невідповідності* [17].

Саме стимулювальна роль комп'ютера зумовила появу великої кількості стикових наукових дисциплін, таких як медична фізика, біомеханіка, фрактальна фізіологія, економічна кібернетика, біомедична інженерія, телемедицина, біоінформатика, геноміка та ін.

Використання обчислювальної техніки дало змогу одержати розв'язки задач, неможливі в рамках аналітичних асимптотичних підходів. Найважливіше, що йдеться не просто про кількісне зростання ступенів свободи в досліджуваних системах та ускладнення так званих рівнянь стану. Основний якісний висновок — це розуміння хибності методологій, основаних на принципі редукціонізму,

коли поведінку і властивості складної системи намагалися визначити, вивчаючи поведінку її складників. Нового конкретного змісту набув загальний вислів Аристотеля: «Ціле більше, ніж сума його частин». Найголовнішим досягненням у розвитку уявлень про природу є формування такого поняття, як *складність* (complexity), або *складна система* (complex system).

Систематизації експериментальних даних, спостережень, результатів комп'ютерних розрахунків для конкретизації і наповнення змістом цих понять присвячено велику кількість публікацій. Насамперед слід відзначити монографію Ф. Нейла (F.J. Neil) [18], де автор наводить розгорнутий опис багатьох прикладів складних систем із різних галузей, від фінансового ринку до квантової механіки. Звертає на себе увагу підзаголовок цієї книги, що характеризує її як «вступ до науки всіх наук».

Автор роботи [19], спираючись на інтуїтивні уявлення, дає досить змістовне визначення складності у зв'язку з використанням традиційного наукового методу пізнання — моделювання. При цьому він вважає, що складність виникає в тому разі, якщо важко сформулювати модель або оцінити її надійність і адекватність. У роботі розглянуто дві причини складності — радикальна відкритість системи, коли складно визначити її межі, та contextuality — неможливість визначитися з факторами, які *a priori* можуть бути визначені як несуттєві<sup>3</sup>.

Формування понятійної системи в теорії складних систем відбувається переважно на основі досягнень сучасної теорії динамічних

<sup>3</sup> Певне уявлення про зміст поняття «складність» (complexity) можна одержати з обговорення цієї теми в Інтернеті ([http://www.researchgate.net/post/What\\_is\\_the\\_difference\\_between\\_complex\\_and\\_complicated/](http://www.researchgate.net/post/What_is_the_difference_between_complex_and_complicated/)). Нині точиться жвава дискусія відносно питання *Complex or just complicated?* (з перекладом на українську виникають певні термінологічні труднощі). Вважають, що *complex systems* відрізняються від *complicated systems* за двома ознаками: непередбачуваністю поведінки на основі знань про поведінку їхніх частин (emergence) та самоорганізацією.

систем [13]. У рамках цієї теорії основну увагу приділено не точному розв'язанню системи рівнянь, що описують систему, ґрунтуючись на основних законах фізики, а пошуку відповіді на питання про якісні особливості поведінки системи на великому проміжку часу та про характер залежності поведінки системи від початкових умов. Важливим результатом розвитку теорії динамічних систем є формування розуміння того, що детерміновані системи можуть виявляти специфічну хаотичну поведінку, яку відображує поняття детермінованого хаосу. Така поведінка характерна для багатьох нелінійних систем, що моделюють реальні процеси в різних галузях природничих наук та суспільствознавства.

Особливий ентузіазм у дослідників викликає можливість використання теорії динамічних систем при аналізі процесів у біології й медицині. Уже сьогодні можна говорити про «вибух» щодо кількості публікацій у цій галузі. Для прикладу відзначимо роботу [20], що належить до серії монографій під загальною назвою «Дослідження нелінійних явищ у науці про життя». Відоме видавництво «World Scientific» випустило вже 15 томів у рамках цієї серії. Одна з цікавих ідей, розглянутих у зазначеній монографії, ґрунтується на поєднанні понять теорії складних систем і теорії динамічних систем. Один із розділів книги має назву «Хвороба як втрата складності». Автор аргументовано полемізує з традиційними уявленнями, в основі яких лежить припущення про стаціонарні ритми серцево-судинної та інших систем, а всі відхилення вважають біологічним шумом, з чого випливає, що втрата регулярності є ознакою хвороби. Автор, навпаки, вважає, що ознакою здорового функціонування організму є саме варіативність у поведінці його систем, яка оцінюється в таких термінах, як обернено степеневий закон спадання спектра коливань, спеціальна фрактальна структура часових рядів, ознаки детермінованого хаосу. Така точка зору сприймається багатьма лікарями. Проте слід вказати і на певні суттєві заперечення відносно всемогутності

нових підходів у медицині<sup>4</sup>. І все ж таки є велика кількість прикладів, коли нові методи аналізу виявляються надзвичайно плідними в різних галузях знань.

Одним із важливих наслідків розвитку комп'ютерної техніки можна вважати створення теорії фракталів, що знаменує суттєве узагальнення понять класичної геометрії. Сформульоване на основі аналізу специфічних геометричних об'єктів поняття фрактала виявилось досить плідним як інструмент для більш глибокого розуміння процесів і явищ у різних галузях природознавства [21]. Насамперед фрактали корисні для опису структури середовищ у природі та живих організмах. Фрактальна структура середовища зумовлює специфічні властивості хвильових полів, що народжуються або поширюються в такому середовищі [22]. Саме ці обставини підсилюють інтерес до нового напрямку у фізіології — фрактальної фізіології [23]. Наявним прикладом фрактальної структури в живих організмах є легені. В процесі дихання в них генеруються акустичні сигнали, що використовують у медицині для діагностики захворювань. Застосування методів фрактального аналізу часових рядів дало змогу вирішити принципове питання про різницю фізичних механізмів генерації звуків у гортані та в паренхімі легень [24]. Багато інших прикладів [21] ефективного використання фрактальних методів дозволяють розглядати їх як важливий сучасний інструмент дослідника.

Накопичені дані дають підставу для формування принципового твердження про те, що поведінка складних біологічних систем зумовлена переважно нелінійною взаємодією між зовнішнім світом і набором стійких станів біологічної системи. Саме це породжує значний інтерес до розроблення методів конструктивного застосування теорії динамічних систем у біології і саме це дає надію на новий стрибок у розвитку наук про життя.

<sup>4</sup> <http://www.fractal.org/Life-Science-Technology/Publications/Fractals-paradox.pdf>.



Деякі висловлені думки можуть викликати зауваження читача. Це загалом природно і пов'язано з тим, що частина з наведених міркувань ґрунтується на останніх досягненнях сучасної науки, які ще не пройшли горнило всебічної критики наукової спільноти.

Сьогодні фактично в кожній галузі науки спостерігається надзвичайно швидке накопичення інформації. Приміром, лише в одній із баз даних хімічних сполук зберігаються відомості про більш як 40 млн складних речовин. Питання подальшого розвитку наук полягає в тому, щоб усю інформацію належним чином зберігати, забезпечуючи фахівцям легкий доступ до неї. І цілком зрозуміло, що зробити це без комп'ютера неможливо.

#### НОВІ ФОРМИ ОРГАНІЗАЦІЇ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У 1993 р. Національна дослідницька рада (National Research Council) США дійшла висновку про можливість істотного підвищення ефективності наукових досліджень завдяки використанню комп'ютерів та інформаційних технологій для створення системи підтримки наукового співробітництва. Така система дістала назву *collaboratory* [25]. Цей синтез термінів «співробітництво» і «лабораторія» передбачав створення «центрів без стін, у яких науковці можуть виконувати дослідження без урахування географічного положення — співпрацювати з колегами, мати доступ до експериментального обладнання, обмінюватися даними й комп'ютерними ресурсами і забезпечувати доступ до цифрових бібліотек». Розроблення нових організаційних форм наукових досліджень ґрунтувалося на результатах співпраці в рамках національних та міжнародних проектів. Особливе значення мали роботи з ідентифікації генів у геномі людини за міжнародним проектом, який розпочався в 1990 р. Після його завершення в 2003 р. кожен охочий мав можливість отримати результати розшифрування — яскраве свідчення розуміння того, що результати ключових фундаментальних досліджень мають бути доступними всьому

людству. Реалізація проекту була б неможлива без використання комп'ютера.

Нині накопичено значний досвід застосування зазначеної форми наукової співпраці, що ґрунтується на результатах роботи більш ніж півтора десятка *collaboratories*. Такі лабораторії організовували переважно на основі Національних лабораторій США або при провідних американських університетах. Напрями досліджень у них найчастіше пов'язані з проблемами сталого розвитку, енергетики, інфраструктури. Спеціальний центр з дослідження та розроблення пропозицій щодо реалізації глобальних проектів створено при Стенфордському університеті. Досвід використання нових організаційних форм наукових досліджень, їх впливу на розвиток наукових досліджень у країнах, що розвиваються, проаналізовано у збірнику [26]. Вивчення ролі комп'ютерної революції в розвитку науки навело авторів роботи [27] на думку ввести поняття «середовище для відкриття» (*discovery environment*). Можливо, саме лабораторії співробітництва будуть однією з форм такого середовища.

Величезний вплив на всі сфери суспільного буття має широка доступність науки. Саме використання комп'ютерних мереж, розуміння провідної ролі науки, політична воля дають можливість зробити результати наукових досліджень загальнодоступними. На жаль, цю можливість не повністю використовують у сучасному світі. Багато наукових видань ще зберігають доступ до свого змісту за відповідну, досить значну для багатьох, плату. Однак зроблено вже багато. Так, вільний доступ до журналів медичного й біологічного профілю (майже 4 млн наукових статей) забезпечено у відомій базі даних PubMed.

По суті зараз ми спостерігаємо чітко виражену тенденцію до створення всесвітнього наукового інформаційного поля, в якому концентруються результати всіх наукових досліджень, що збільшує можливості їх використання. Широкого розмаху набуває рух за надання науковим публікаціям статусу громадського надбання (*Creative Commons, CC*). Цікаву ініціативу було започатковано на

факультеті мистецтв і наук у Гарвардському університеті — розміщувати у вільному доступі на сайті університету всі прийняті до друку матеріали. Автори, які публікують статті в журналах з платним доступом, повинні надсилати ректорові університету відповідні пояснення. Докладніше про ідею загальнодоступності результатів наукових досліджень можна дізнатися з роботи [28], яку опубліковано саме відповідно до ліцензії CC. Можливо, українським видавцям наукової літератури варто приєднатися до цього руху, маючи на увазі, що від такого починання Україна виграє набагато більше, ніж втратить.

### НОВІ ПРОБЛЕМИ

Звичайно, бурхливий розвиток інформаційних технологій має наслідком не лише широкі можливості у вирішенні важливих для суспільства завдань. Як часто трапляється в історії людства, технологічні досягнення породжують нові, часом досить складні проблеми. При цьому щоразу справджується відоме твердження про те, що все зло у світі — не через вживання поганих речей, а через зловживання гарними й корисними речами.

Передусім, з розвитком інформаційних технологій постають нові етичні проблеми прогресу в людському суспільстві, які вже давно привертають пильну увагу дослідників [29]. Про актуальність етичного аспекту цього питання свідчить той факт, що в наш час видається кілька наукових журналів («Ethics and Information Technology», «Science and Engineering Ethics», «Journal of Information Ethics»), в яких уже понад 15 років обговорюють етичні проблеми інформаційного суспільства. Свої етичні норми розробляють і впроваджують різні наукові товариства, що об'єднують учених багатьох галузей науки. У відповідь на виклики часу на загальних зборах НАН України 2009 р. було ухвалено «Етичний кодекс ученого України». Взагалі темі етики в науці, дискусіям щодо сакраментального питання «Чи етична наука?» сьогодні присвячено значну кількість публікацій, і вона заслуговує на окремий розгляд. Тут ми зупинимося лише

на деяких етичних питаннях, що безпосередньо стосуються використання комп'ютерів у наукових дослідженнях.

По-перше, слід звернути увагу на дуже важливий момент, пов'язаний з переходом від традиційних математичних моделей, сформованих з використанням диференціальних або інтегральних рівнянь, до дискретних моделей, в яких похідні замінюються скінченними різницями. З огляду на те, що основні фізичні закони формулюються в рамках класичного математичного аналізу, заміна похідної скінченною різницею призводить до того, що одержані дискретні співвідношення вже не відповідають вихідним фізичним припущенням. У результаті в постановці задачі виникають нові «фізичні» параметри. В задачах механіки таким параметром є, наприклад, схемна в'язкість. Для забезпечення стійкості обчислень потрібно узгоджувати параметри дискретизації за координатами та часом. Ця обставина, а також те, що результати комп'ютерних обчислень дуже складно перевірити, породжують проблему довіри до результатів комп'ютерного моделювання [30]. Як наслідок, крім значної уваги до етичного боку справи з'являється велика кількість «галузевих стандартів», яких має дотримуватися автор під час обґрунтування достовірності отриманих оцінок фізичних параметрів. Такі стандарти введено всіма державними установами США, що фінансують наукові розробки. Серед них — міністерства оборони<sup>5</sup>, енергетики (SAND2002-0529) і національної безпеки, Американська асоціація інженерів-механіків та інші організації.

По-друге, досвід роботи в редакціях наукових журналів дає підстави порушити ще одне важливе питання про вплив комп'ютерів на характер наукових досліджень. Наприклад, для чисельного моделювання задач механіки суцільного середовища розроблено значну кількість комерційних продуктів (ANSYS, FLUENT) і таких, що розповсюджуються вільно (Open-Source Software).

<sup>5</sup><http://www.dtic.mil/whs/directives/corres/pdf/500061p.pdf>.

Це створює широкі можливості для розв'язання досить складних задач. Проте складність фізичної задачі часто полягає не стільки в розв'язанні рівнянь, скільки в подальшому аналізі фізичного боку справи. Автори не завжди беруть до уваги цей аспект, що в результаті призводить до появи в роботах величезної кількості таблиць і графіків з розрахунками в діапазоні зміни вхідних параметрів, які виходять за рамки здорового глузду. Коментарі до представлених даних, по суті, зводяться до рекомендації «дивись і побачиш». Роботи такого типу не можна віднести ані до обчислювальної математики, ані до фізики. Вони створюють інформаційний шум і вже сьогодні стають серйозною завадою для пошуку корисної наукової інформації. Шкода, але останні вимоги департаменту атестації кадрів МОН України щодо кількості публікацій дисертантів лише стимулюватимуть зростання цієї шумової складової наукової літератури і використання такого дещо дивного явища, як автоплагіат.

По-третє, широке застосування комп'ютерних технологій в організації і проведенні наукових досліджень створює додаткові можливості для такого ганебного явища, як фальсифікація в науці. Проблему фальсифікації нині активно обговорюють у багатьох наукових виданнях світу, зокрема на сторінках одного з найавторитетніших журналів «Nature». Ситуація виглядає досить складною. Приміром, у США для надання бюджетного фінансування від університетів вимагають створення спеціальної системи запобігання фальсифікації результатів. Глибокий аналіз цієї проблеми наведено в монографії [31], написаній фізиком, проректором Каліфорнійського технологічного інституту. Слід зауважити, що серед факторів, які актуалізують явище обману в науці, автор називає і гонитву за кількістю публікацій, оскільки цей показник використовують для оцінювання ефективності наукової праці вченого.

Розглядаючи негативні наслідки впливу комп'ютерних технологій на науку, цікаво навести слова російського письменника і філософа О.О. Зінов'єва щодо застосування

інформаційних технологій у такій галузі науки, як історія:

*Теперь история не происходит по своему капризу, стихийно. Она теперь делается сознательно, можно сказать — по заказу сильных мира сего [32].*

І причину він вбачає в розвитку новітніх засобів збирання, оброблення і поширення інформації, в розробленні засобів маніпуляції людьми, контролю їхньої поведінки та впливу масової культури на стандартизацію стилю життя. Це досить різке судження, але нинішня ситуація з формуванням громадської думки в Україні певною мірою підтверджує погляди О.О. Зінов'єва. На нашу думку, саме сучасні інформаційні технології дають змогу зберегти в, так би мовити, «гарячому стані» протистояння в суспільстві відносно оцінки важливих сторінок нашої недавньої історії.

#### НА ЗАВЕРШЕННЯ

Сьогодні комп'ютери стали невід'ємною частиною повсякденного життя, допомагаючи нам у вирішенні багатьох життєвих проблем, спрощуючи комунікації й доступ до інформації, створюючи умови для плідного відпочинку. В цій статті ми зробили наголос на важливій ролі комп'ютера в сучасній науці як потужного засобу дослідження об'єктів живої і неживої природи, Всесвіту. Практично всі сфери наукової активності людства зазнали істотних змін у методології завдяки тому, що з використанням комп'ютерних технологій значно розширилися можливості дослідника.

Однак, як це завжди буває, повсюдне використання комп'ютера породжує низку проблем як технологічного, так і етичного плану. Їх розв'язання забезпечить подальший поступ людства в пізнанні природи, сприятиме глибшому розумінню нашого місця в ній, усвідомленню необхідності бережного ставлення до навколишнього світу.

Цікаво, що людину, яка давно звикла вважати себе царем природи і вершиною творіння, часто дратує той очевидний факт, що неможливо, наприклад, надійно передбачити погоду на строк більш як тиждень (хоча й

це — видатний результат пізнавальної діяльності людства, одержаний саме завдяки використанню комп'ютера). Проте, чим далі ми пізнаємо світ, тим більше стикатимемося з такими, створеними самою природою, обмеженнями. Розуміння їх сутності надзвичайно важливе для подальшого цивілізаційного прогресу. Світ машин ніколи не стане реальністю, а майбутнє виглядає привабливим і здійсненним лише в тому разі, якщо вдасться розвинути ефективні методи співпраці обох компонентів системи «людина — машина».

Підбиваючи підсумки, хотілося б звернути особливу увагу на ще один аспект взаємовпливу науки і комп'ютера. У разі побіжного знайомства з величезною кількістю публікацій на цю тему може скластися враження, що головна проблема тут полягає в розвитку комп'ютерної техніки. Однак, на нашу думку, ефективне використання комп'ютера в різних сферах людської діяльності, і в науці зокрема, насамперед визначається рівнем кваліфікації людини. Причому кваліфікацію ми розуміємо в широкому сенсі. Йдеться не стільки про вправність роботи з комп'ютером для використання його технічних можливостей, скільки про високу загальну культуру людини і сповідування нею відповідних етичних норм.

Характеризуючи зміни, що відбулися за останнє півстоліття в нашому житті, часто використовують термін «комп'ютерна (інформаційна) революція». Це надзвичайно широкий термін, що охоплює велику кількість ознак. З нашого погляду, найхарактернішою з них є різке зменшення часового масштабу, в якому відбуваються суспільні зміни. Ще зовсім недавно кардинальні зміни ставали помітними на проміжку часу, що перевищував середню тривалість життя людини, але нині все змінилося — принципово нові знання і технології з'являються набагато швидше. Звичайно, все це впливає на науку, значно посилюючи її роль у забезпеченні сталого розвитку суспільства і водночас підвищуючи вимоги до морально-етичного обличчя вченого.

У своєму захопленні можливостями кібернетики В.М. Глушков часто давав волю фантазії, передбачаючи революційний вплив комп'ютерних технологій на всі сфери людського буття. З розвитком комп'ютерних технологій він навіть пов'язував певною мірою вирішення проблеми безсмертя. Досягнення комп'ютерних технологій останнього часу стимулюють потік революційних передбачень у різних сферах, в тому числі й у галузі штучного інтелекту. Як часовий інтервал для здійснення таких передбачень обрано період до 2045 р. Різні погляди на цю проблематику і нову стратегію еволюції людства обговорювали нещодавно на Міжнародному конгресі GF2045, що відбувся у Нью-Йорку в червні 2013 р.

Отже, навіть якщо в майбутньому не всі нинішні революційні передбачення буде втілено у життя, історичний досвід розвитку науки дає всі підстави сподіватися на вагоме зростання її ролі в суспільстві, на дедалі ширше та ефективніше використання комп'ютерних технологій.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Martin C.D.* ENIAC: Press Conference That Shook the World // IEEE Technology and Society Magazine. — 1995. — V. 14, N 4. — P. 3–10.
2. *Максимович Г.В.* Беседы с академиком Глушковым В.М. — М.: Молодая гвардия, 1978. — 224 с.
3. *Краснощеков П.С.* О чем умолчал Билл Гейтс // Вестн. РАН. — 1998. — Т. 68, № 11. — С. 14.
4. *Rojas R., Hashagen U.* The First Computers — History and Architectures. — MIT Press, 2000. — 472 p.
5. *Лавреитъев О.А.* Все началось с солдата // Сибирский физ. журн. — 1995. — <http://www.npd.ac.ru/npd/history.npd/soldat/soldat.htm>.
6. *Light J.S.* When computers were women // Technology and Culture. — 1999. — V. 40, N 3. — P. 455–483.
7. <http://viperson.ru/wind.php?ID=8390>.
8. *Lungarella M., Iida F., Bongard J.* 50 Years of Artificial Intelligence. — Springer, 2007. — 407 p.
9. *Мищенко Н.М.* Искусственный интеллект: история одной идеи академика В.М. Глушкова. — [http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/GL\\_HALL2/GL\\_Mishchenko\\_r.htm](http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/GL_HALL2/GL_Mishchenko_r.htm).
10. *Краснощеков П.С., Петров А.А.* Принципы построения моделей. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. — 264 с.
11. *Fermi E.* Collected Papers. V. 2. — The University of Chicago, 1965. — P. 977–988. — <https://www.cs>.

- princeton.edu/courses/archive/fall09/cos323/papers/fpu55.pdf.
12. Пуанкаре А. Новые методы небесной механики. Изб. тр. Т. 1. — М.: Наука, 1971. — 772 с.
  13. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. — М.: Наука, 1987. — 424 с.
  14. Щур Л.Н. Вычислительная физика и проверка теоретических предсказаний // Успехи физ. наук. — 2012. — Т. 182, № 7. — С. 787–792.
  15. Lorenz E.N. Deterministic Nonperiodic Flow // J. Atmos. Sci. — 1963. — V. 20, N 3. — P. 130–141.
  16. Арнольд В.И. О преподавании математики. — Успехи мат. наук. — 1998. — Т. 53, № 1. — <http://www.ega-math.narod.ru/Arnold2.htm>.
  17. Slaman A. The Computer Revolution in Philosophy: Philosophy of Science and Models of Mind. — Humanities Press, 1981. — 197 p.
  18. Neil F.J. Two's Company, Three is Complexity. A simple guide to the Science of all Sciences. — Oxford: Oneworld Pub., 2007. — 236 p.
  19. Chu D. Complexity: against systems // Theory Biosci. — 2011. — V. 130. — P. 229–245.
  20. West B.J. Where medicine went wrong. Rediscovering the path to complexity. — World Scientific, 2006. — 337 p.
  21. Гринченко В.Т., Мацьгура В.Т., Снарский А.А. Фракталы. От удивления к рабочему инструменту. — К.: Наук. думка, 2013. — 269 с.
  22. Зосимов В.В., Лямшев Л.М. Фракталы в волновых процессах // Успехи физ. наук. — 1995. — Т. 165, № 4. — С. 361–402.
  23. Basingthwaight J.B., Liebovich L.S., West D.J. Fractal physiology. — Oxford Univ. Press, 1994. — 365 p.
  24. Вовк И.В., Гринченко В.Т., Мацьгура В.Т. Природа дыхательных шумов человека. Мультифрактальный анализ // Акустич журн. — 2013. — Т. 59, № 5. — С. 600–612.
  25. Kouzes R.T., Myers J.D., Wulf A.W. Collaboratories: Doing Science on the Internet // Computer. — 1996. — V. 29, N 8. — P. 40–46.
  26. Nardi B., Kapteinin V., Foot K. Scientific Collaboration on the Internet. — MIT Press, 2008. — 406 p.
  27. De Jong H., Rip A. The computer revolution in science: steps towards the realization of computer-supported discovery environment // Artificial Intelligence. — 1997. — V. 91. — P. 225–256.
  28. Varmus H. Progress toward public access to science // PLoS Biology. — 2008. — V. 6, N 4. — P. 101–102.
  29. Dole C.F. The Ethics of Progress. — N.-Y.: Thomas Crowell Pub., 1906. — 398 p.
  30. Winsberg E.B. Science in the Age of Computer Simulation. — Chicago: Univ. of Chicago Press, 2010. — 152 p.
  31. Goodstein D. On Fact and Fraud. — Princeton Univ. Press, 2010. — 168 p.
  32. Зиновьев А. Русский эксперимент: Роман. — L'Age d'Homme — Наш дом, 1995. — 448 с.

Стаття надійшла 05.07.2013 р.

В.Т. Гринченко<sup>1</sup>, Т.А. Гринченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут гидромеханіки  
 Национальной академии наук Украины  
 ул. Желябова, 8/4, Киев, 03680, Украина  
<sup>2</sup> Інститут телекомунікацій і глобального  
 інформаційного простору  
 Национальной академии наук Украины  
 бульв. Чоколовський, 13, Киев, 03186, Украина

#### КОМПЬЮТЕРЫ И НАУКА

В статье анализируется влияние достижений и возможностей современных компьютерных технологий на развитие науки. Коротко представлены первые шаги становления компьютерной науки. На конкретных примерах проиллюстрированы принципиально новые возможности исследований в различных разделах естествознания, основанные на использовании компьютерных технологий. Освещены новые направления исследований, новые организационные формы международных научных коллективов, которые сформировались в современной науке, существенная интенсификация междисциплинарных исследований. Обсуждаются определенные проблемы и отрицательные последствия широкого использования компьютерных технологий в научных исследованиях.

*Ключевые слова:* компьютерные технологии, развитие науки, организация научных исследований, этика в науке.

V.T. Grinchenko<sup>1</sup>, T.A. Grinchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Hydromechanics  
 of National Academy of Sciences of Ukraine  
 8/4 Zhelyabova St., Kyiv, 03680, Ukraine  
<sup>2</sup> Institute of Telecommunications  
 and Global Information Space  
 of National Academy of Sciences of Ukraine  
 13 Chokolovsky Blvd, Kyiv, 03186, Ukraine

#### COMPUTERS AND SCIENCE

The article discusses the impact of the achievements and capabilities of modern computer technology on the development of science. The short history of computer science is presented. Using concrete examples the fundamentally new opportunities for research in various branches of natural sciences are illustrated. The use of computer is important to solve a number of new, unsolved in scope of traditional asymptotic methods, scientific problems. As a result, the new areas of research activity come into existence, and new organizational forms («collaboratories») of international research groups arise. Computer technologies open up possibilities for substantial intensification of cross-disciplinary research. Some problems and negative consequences of widespread use of computer technology in research are discussed.

*Keywords:* computer technology, progress in science, the organization of scientific research, ethics of science.