

## БОЮН

**Віталій Петрович** — академік НАН України, завідувач відділу інтелектуальних відеосистем реального часу Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України

## ПАЛАГІН

**Олександр Васильович** — академік НАН України, заступник директора з наукової роботи Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України

## КІБЕРНЕТИЧНА ТЕХНІКА: ЗАРОДЖЕННЯ І РОЗВИТОК НАУКОВОГО НАПРЯМУ В УКРАЇНІ

До 100-річчя від дня народження  
члена-кореспондента НАН України  
**Б.М. Малиновського**

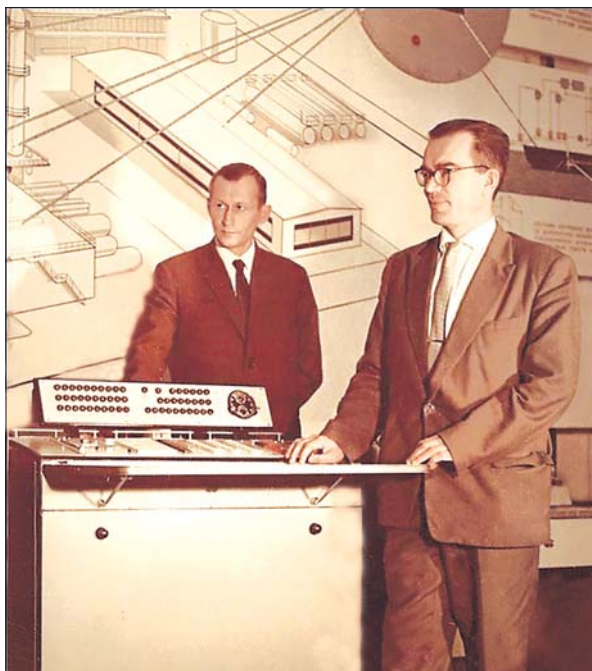
*Автори статті ставлять за мету нагадати про героїчні події 60-річної давнини, пов'язані зі створенням і організацією серійного виробництва керуючої машини широкого призначення «Дніпро-1», яка була першою в Європі напівпровідниковою машиною другого покоління, а також про її головного конструктора, відомого вченого в галузі кібернетики й обчислювальної техніки члена-кореспондента НАН України Бориса Миколайовича Малиновського, 100-річчя від дня народження якого нещодавно широко відзначила наукова громадськість. Закладені в ті роки основи нового наукового напрямку — кібернетичної техніки — сьогодні активно продовжують розвивати численні учні та послідовники Б.М. Малиновського.*

**Створення керуючої машини широкого призначення «Дніпро».** У грудні 2021 р. виповнилося 60 років від створення в Обчислювальному центрі АН УРСР (нині — Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України) керуючої машини широкого призначення (КМШП) «Дніпро», головним конструктором якої був тоді ще кандидат технічних наук Борис Миколайович Малиновський. Ідея створення універсальної цифрової напівпровідникової керуючої машини (1957 р.) належить Віктору Михайловичу Глушкову, який визначив основні вимоги до неї: малі габарити порівняно з тодішніми ламповими електронними обчислювальними машинами, універсальність, можливість роботи з об'єктами в складних умовах різного типу виробництв, висока надійність тощо.

КМШП «Дніпро» було створено в рекордно короткий термін. Уже в грудні 1961 р. перший її екземпляр встановили в бєсемерівському цеху Дніпровського металургійного комбінату в м. Дніпродзержинськ (нині — м. Кам'янське). Попередньо, за ініціативою В.М. Глушкова, відбулися перші в континентальній Європі досліди з дистанційного керування повалкою



Борис Миколайович  
Малиновський  
(24.08.1921—13.11.2019)



Науковий керівник В.М. Глушков і головний конструктор Б.М. Малиновський біля пульта КМШП «Дніпро-1». 1962 р.

на заданому вмісті вуглецю бесемерівського конвертера для виплавки сталі, розташованого в Дніпродзержинську, за допомогою ЕОМ «Київ», яка знаходилася в Обчислювальному центрі у Києві. Для цього в бесемерівському цеху було встановлено створену реєструвальну цифрову установку, яка мала 5-канальний аналого-цифровий перетворювач з усередненням результатів перетворень та пристрій для їх друку. За допомогою спеціально обладнаного соленоїдами телетайпа установка підключалася через мережу зв'язку до ЕОМ «Київ», яка за отриманою інформацією обчислювала момент повалки конвертера і передавала ці дані оператору для здійснення операції. Дистанційні дослідження виявилися успішними, і їх результати використали для розроблення алгоритмів і програмного забезпечення для керування повалкою конвертера за допомогою КМШП «Дніпро-1».

Другий екземпляр КМШП «Дніпро-1» було встановлено на Слов'янському содовому комбінаті, а третій — на Миколаївському суднобу-

дівному заводі для розкרוювання металевих листів корпусів кораблів.

Паралельно з розробленням КМШП і на виконання постанов ЦК КПУ та Ради Міністрів УРСР проводилася підготовка до організації її серійного виробництва на заводі «Радіоприлад» київського Раднаргоспу (потім — завод ВУМ, а згодом — «Електронмаш»). З 1963 по 1971 р. спільними зусиллями фахівців Обчислювального центру АН УРСР і заводу «Радіоприлад» машину було дещо модернізовано для підвищення її технологічності, надійності та поліпшення інших технічних характеристик. Загалом випущено понад 500 екземплярів КМШП «Дніпро», які працювали в сотнях систем керування виробничими процесами, складними експериментами, в космічній та оборонній галузях тощо<sup>1</sup>.

За результатами створення і впровадження КМШП Б.М. Малиновський захистив докторську дисертацію (1965), а згодом його було удостоєно Державної премії УРСР в галузі науки і техніки (1977).

Поява КМШП «Дніпро» стала яскравою сторінкою в історії радянського комп'ютеробудування. Це була перша в країні напівпровідникова ЕОМ, та ще й призначена для вирішення відповідальних завдань керування в народному господарстві! В її основу було покладено так звані ферит-транзисторні елементи і пам'ять на магнітних осердях. Народження підприємства з комп'ютеробудування в Києві — одне з вагомих досягнень радянської промисловості і особисто Б.М. Малиновського. Організація впровадження в різні галузі промисловості та наукових досліджень — це також результат його самовідданої праці. За піонерськими пішли масові впровадження в масштабах неосяжного СРСР, які принесли славу Інституту кібернетики і українській Академії наук.

В одній з таких робіт брав участь і один з авторів цієї статті, який був у складі групи інженерів відділу Б.М. Малиновського відразу

<sup>1</sup> Малиновський Б.Н. *Цифровые управляющие машины и автоматизация производства*. Москва: Машгиз, 1963.

після здачі Державній комісії перших зразків КМШП. Це було одне з підприємств С.П. Корольова — «п/я 989» під Москвою на станції Підлипки. Крім арифметичного блока керування і блока пам'яті до складу КМШП входив ще пристрій зв'язку з об'єктом. Саме в ньому розміщувався блок, призначений для виведення за командами ЕОМ графіків, що відображають перебіг експерименту, пов'язаного з випробуванням космічних ракет. Цей блок мав систему керування кроковими двигунами, яка була не дуже надійною, але цей недолік майже повністю компенсувався ентузіазмом відповідального виконавця. Неабияка гордість, що ти є учасником творення космічної епохи, ще довго зігрівала серця піонерів від кібернетики.

**Зародження наукового напрямку — кібернетичної техніки.** З огляду на значні успіхи і досвід, отриманий при створенні та впровадженні КМШП у різних системах керування, в 1970 р. академік В.М. Глушков при визначенні напрямів роботи Інституту кібернетики запропонував створити Відділення кібернетичної техніки й очолити його доктору технічних наук Борису Миколайовичу Малиновському. Головним завданням напряму кібернетичної техніки було розроблення керуючих машин, засобів зв'язку з об'єктом, перетворювачів форм інформації, запам'ятовувальних пристроїв, засобів передавання і відображення інформації тощо. Для цього у складі Відділення було організовано відповідні відділи. Згодом з відділу керуючих машин виокремилися ще кілька відділів: мікропроцесорної техніки та елементної бази.

Поява і розвиток кібернетичної техніки були зумовлені нагальними потребами економіки в засобах автоматизації. Виконання обчислень — це лише частина роботи з інформацією, алгоритми, які реалізуються в системах керування, як правило, є постійними, багаторазово повторюваними або обмеженими визначеними класами обчислень. Це дозволяє в більшості випадків спростити відповідні засоби завдяки їх спеціалізації.

Для сучасних кібернетичних систем характерне постійне підвищення складності проце-



Інженер Віталій Боюн за пультом КМШП у бесемірському цеху Дніпровського металургійного заводу (фото з газети). 1962 р.

сів, які в них реалізуються. Це зумовлює збільшення кількості каналів інформації, виконавчих механізмів, використання більш складних моделей процесів і об'єктів та систем керування ними. Розвиток таких галузей техніки, як ядерна енергетика, космічні дослідження, літако- та ракетобудування, привів до появи систем з високодинамічними процесами і швидкісними об'єктами та, відповідно, до підвищення вимог до продуктивності, оперативності й ефективності обробки інформації, які неможливо задовольнити в рамках традиційних методів перетворення й обробки інформації та принципів побудови універсальних ЕОМ.

Створення ефективних засобів кібернетичної техніки високої продуктивності й оперативності для реалізації алгоритмів керування в реальному часі потребує розроблення теоретичних основ їх побудови, зокрема узгодження процесів перетворення й обробки інформації та їх суміщення в часі, вирішення питань спеціалізації або проблемної орієнтації технічних засобів, розпаралелювання процесів обробки інформації, використання методів апаратної реалізації алгоритмів, створення різних методів конвеєризації (арифметичної, командної, міжпроцесорної) тощо. Звідси випливає необхідність дослідження особливостей систем реального часу та алгоритмів обробки інформації з метою врахування їх при проектуванні засобів кібернетичної техніки.





Аспірант Віталій Боюн біля створеного ним цифро-аналогового комплексу на базі КМШП «Дніпро-1» та електронної моделювальної установки ЕМУ-10. 1970 р.

Сімдесяті роки відзначилися бумом гібридної (цифро-аналогової) техніки. В багатьох країнах вели роботи зі створення гібридних обчислювальних машин і комплексів з найрізноманітнішими принципами організації обчислень. Ці гібридні машини й комплекси мали поєднати позитивні якості цифрової (універсальність) та аналогової техніки (швидкодію, особливо при моделюванні диференціальних рівнянь). Однак у реальності складність і недослідженість процесів при спряженні аналогової та цифрової техніки ставали на заваді створенню ефективних машин. У відділі керуючих машин у 1968–1970 рр. також було створено цифро-аналоговий комплекс з автоматизацією набору структурних схем і гібридною системою реалізації нелінійних залежностей на базі КМШП «Дніпро-1» та електронної

моделювальної установки ЕМУ-10. І хоча в комплексі для введення коефіцієнтів і реалізації нелінійних залежностей було використано цифрові керуючі опірники, що забезпечувало найменше втручання в процес моделювання, високої точності моделювання динамічних процесів досягти не вдалося. Однак отриманий під час роботи на комплексі досвід виявився дуже корисним для розуміння процесів взаємодії аналогових і цифрових пристроїв та підтвердив необхідність їх подальшого детального дослідження.

Оскільки кібернетична техніка розвивалася «в надрах» обчислювальної техніки, спираючись на досягнення кібернетики, автоматики, теорії автоматичного керування, вимірювальної техніки, систем зв'язку, інформатики, теорії апроксимації функцій, інших галузей науки і техніки, вона увібрала в себе багато як корисних досягнень, так і хибних для її розвитку. Зокрема:

- для аналого-цифрового перетворення неперервних сигналів використовували різного типу аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), які вимірювали значення сигналу у фіксовані моменти часу;
- при визначенні кроку дискретизації у часі застосовували теорему відліків Котельникова–Найквіста, що забезпечувало мінімальну кількість відліків сигналу;
- для забезпечення мінімальної кількості рівнів квантування використовували теорію оптимального квантування;
- передачу цифрових кодів здійснювали згідно з теорією кодування Шеннона або Хаффмана, що забезпечувало мінімальну кількість бітів на передавання одного відліку.

Усі ці підходи розроблялися для різних окремих галузей і забезпечували відповідні критерії якості, але не враховували особливостей систем реального часу, зокрема відновлення неперервної форми інформації з мінімальними затримками інформації на ці процеси. Крім того, не розглядалися питання узгодження форм представлення даних між засобами перетворення інформації та її обробки, що зумовлювало необхідність виконання до-

даткових дій для такого узгодження. Задача системного підходу до процесів перетворення форми інформації, її оброблення й відновлення неперервної форми сигналів з урахуванням їх особливостей для забезпечення системного критерію якості не ставилася.

**Особливості систем реального часу.** Робота обчислювальних засобів в автоматизованих та автоматичних системах керування рухомими об'єктами, технологічними процесами, в цифро-аналогових моделювальних комплексах зі швидкозмінними (високодинамічними) сигналами має специфічні особливості, які впливають з необхідності перетворення форми подання інформації та відповідності вимогам реального часу щодо темпу передавання інформації та її запізнювання в контурі зворотного зв'язку. З-поміж різних режимів роботи систем реального часу (цифрової реєстрації процесів, цифрового програмного керування, робота в режимі «радника» та ін.) режим роботи в замкненому контурі керування зі зворотним зв'язком є найбільш поширеним і складним. Такий режим має місце в автоматичних системах керування технологічними процесами, випробуваннями складних об'єктів, експериментами, рухомими об'єктами в цифро-аналогових моделювальних комплексах тощо. При цьому здійснюється перетворення неперервних сигналів у цифрову форму, їх обробка, розрахунок і видача через цифро-аналоговий перетворювач керуючих впливів на об'єкт керування в реальному часі перебігу процесу.

Традиційний підхід до аналого-цифрового перетворення полягає в перетворенні неперервного фізичного сигналу, який розглядають як неперервний випадковий процес з обмеженим спектром, у послідовність дійсних значень, що характеризують стан цього процесу у фіксовані моменти часу. При цьому аналого-цифрове перетворення зводиться до виконання трьох процесів: дискретизації, квантування та кодування. У теорії аналого-цифрового перетворення розроблено підходи, які дозволяють оптимізувати кожний з цих процесів та забезпечити мінімальну кількість відліків сигналу, мінімальну кількість рівнів квантування і мінімальну кількість



Віталій Боюн демонструє цифрове керування магнітною підвіскою членам Державної комісії з приймання ЕОМ М-180. 1976 р.

бітів інформації на один відлік. Однак вони не враховують особливостей систем реального часу і не забезпечують мінімізації затримки інформації в контурі зворотного зв'язку.

**Створення динамічної теорії інформації.** Починалося все з того, що у відділі керуючих машин розробляли спеціалізовані пристрої для виконання операцій масштабування, піднесення до степеня, добування кореня, обчислення поліномів, обчислення різних функцій (степеневих, експоненціальних, тригонометричних, логарифмічних та зворотних до них тощо), які узгоджували з вихідною інформацією різних типів АЦП (число-імпульсного, порозрядного, паралельного, слідкувального тощо). Це дозволяло сумістити в часі аналого-цифрове перетворення з виконанням операцій та обчисленням функцій, а також спростити виконання багатьох операцій і функцій, тобто зменшити запізнювання в контурі зворотного зв'язку систем керування.

Ураховуючи досвід керування високодинамічними процесами й результати досліджень на створеному у відділі цифро-аналоговому комплексі, з системних позицій було переглянуто процеси дискретизації сигналів, аналого-цифрового перетворення, обробки і відновлення неперервної форми сигналів, тобто здійснено перехід від вимірювальної моделі до слідкувальної. Відомі на той час слідкувальні АЦП



Академік А.О. Дородніцин обговорює з науковим керівником Акт про приймання ЕОМ М-180. 1976 р.

мали обмеження щодо крутизни сигналу, вони неправильно відслідковували високочастотні ділянки сигналів, що обмежувало керування високочастотними процесами. Було запропоновано виділяти зміни сигналу і до того ж кодувати їх величинами, кратними степеню 2, що приводить до значного скорочення обсягів інформації і спрощення її обробки (операція множення при цьому замінюється операцією зсуву та додавання, що реалізується простіше, ба більше, таке перетворення здійснюється за один такт, що на порядок швидше порівняно з порозрядним АЦП, а для компенсації похибки від такого кодування пороги збільшували у 1,5 раза). Були створено спеціальні аналого-інкрементні перетворювачі неперервних сигналів у природи та модифіковані алгоритми обчислення степеневих, поліноміальних, експоненціальних, тригонометричних функцій і зворотних до них, обчислення дискретного перетворення Фур'є, кореляційних функцій, цифрової фільтрації тощо. У подальшому розроблено модифіковані методи розв'язання алгебраїчних, звичайних диференціальних рівнянь, інтегральних рівнянь та диференціальних рівнянь у часткових похідних, принципи організації багатоканальної обробки інформації в системах керування шляхом розгортки у часі, по параметру та по простору, принципи побудови обчислювальних засобів з урахуванням системних особливостей. Розроблено

також нові принципи побудови спеціалізованих і проблемно-орієнтованих процесорів та систем, багатопроцесорних обчислювальних систем для розв'язання задач первинної і вторинної обробки інформації. Нова елементна база та принципи організації обчислювального процесу і багатоканальної обробки інформації (ієрархічне розподілене керування, risk-архітектура, проблемна орієнтація, модульність та ін.) лягли в основу створення унікальних систем діагностики і керування високочастотними процесами та об'єктами, багато з яких були першими цифровими системами у вітчизняній та світовій практиці.

На технічні розробки з використанням таких підходів було отримано близько 200 патентів на винаходи, опубліковано дві монографії. Цілу низку цих розробок реалізовано і впроваджено в десятки пристроїв, процесорів, комплексів та систем керування, зокрема в трьох системах керування положенням і параметрами плазми в термоядерних установках типу ТОКАМАК.

У монографії «Введение в кибернетическую технику. Обработка физической информации»<sup>2</sup> розглянуто питання узгодження засобів обробки інформації з вихідною інформацією аналого-цифрових перетворювачів, а також принципи побудови таких засобів. Узгодження форм подання інформації дозволило сумістити у часі процеси її перетворення й обробки та значно скоротити обсяги оброблюваної інформації. Це сприяло підвищенню оперативності та продуктивності обробки інформації при менших апаратних затратах.

Другу монографію, «Введение в кибернетическую технику. Параллельные структуры и методы»<sup>3</sup>, присвячено організації багатоканальної обробки інформації в системах керування шляхом розгортки у часі по параметру та по простору, принципам побудови обчис-

<sup>2</sup> Малиновский Б.Н., Боюн В.П., Козлов Л.Г., Соловьев В.П. *Введение в кибернетическую технику. Обработка физической информации*. Киев: Наук. думка, 1979.

<sup>3</sup> Малиновский Б.Н., Боюн В.П., Козлов Л.Г. *Введение в кибернетическую технику. Параллельные структуры и методы*. Киев: Наук. думка, 1989.



лювальних засобів з урахуванням системних особливостей, а також методам розв'язання систем алгебраїчних, звичайних диференціальних, інтегральних рівнянь та диференціальних рівнянь у часткових похідних. Розглянуто також принципи побудови спеціалізованих і проблемно-орієнтованих процесорів та систем, багато процесорних обчислювальних систем для розв'язання задач первинної та вторинної обробки інформації.

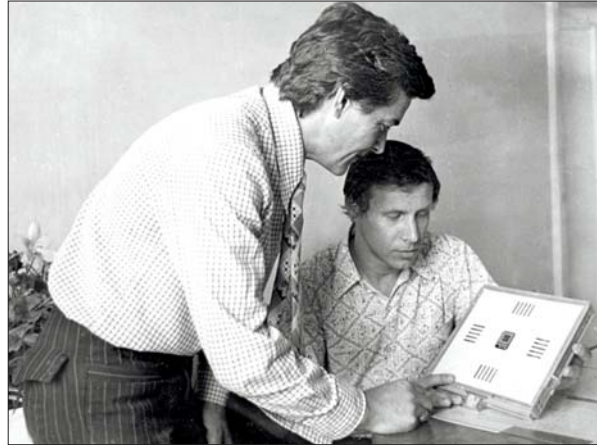
У своїй праці «Мышление и кибернетика»<sup>4</sup> В.М. Глушков дав настільки всеохопне поняття інформації, що воно не втратило своєї актуальності навіть тепер: «Інформація у найзагальнішому її розумінні є мірою *неоднорідності* розподілу матерії та енергії у просторі та часі, мірою *змін*, якими супроводжуються всі процеси, що відбуваються у світі». При цьому виділяються два різновиди неоднорідності — *статична* (характеризує поточний стан деякої матеріальної чи енергетичної системи) та *динамічна* (відображає її змінність у часі). І якщо статичній інформації присвячено сотні робіт у світі і вона стала вже класикою, то динамічній інформації не приділяли необхідної уваги практично до початку ХХІ ст. Однак визначення поняття динамічної інформації виявилось дуже плідним при вивченні інформаційних властивостей фізичних систем, і можна сподіватися, що цей підхід буде застосовано і в новій перспективній галузі інформатики, яка почала формуватися останніми роками і здобула назву «кіберфізична інформатика».

Однією з перших робіт, пов'язаних з розвитком динамічної теорії інформації як теоретичної бази систем реального часу, стала монографія «Динамическая теория информации. Основы и приложения»<sup>5</sup>.

Слід особливо підкреслити, що всі ці роботи проводилися під керівництвом та за безпосередньої участі Б.М. Малиновського.

<sup>4</sup> Глушков В.М. Мышление и кибернетика. *Вопросы философии*. 1963. № 1. С. 36–48.

<sup>5</sup> Бююн В.П. *Динамическая теория информации. Основы и приложения*. Киев: Ин-т киберн. им. В.М. Глушкова НАН України, 2001.



Мікрокомп'ютер «Електроніка С5-01». На фото: О.В. Палагін і А.Ф. Кургаєв (ліворуч). 1976 р.

Не можна оминати увагою ще одну сторінку життя Б.М. Малиновського і його відділу керуючих машин. Йдеться про створення першого вітчизняного сімейства мікроЕОМ «Електроніка С5» (різних серій)<sup>6</sup>. Це був результат спільної роботи Інституту кібернетики з ленінградським НВО «Світлана». До речі, американці зробили свій перший 4-розрядний мікропроцесор Intel 4004 приблизно в 1974 р. Наші перші мікропроцесори в дослідних зразках працювали в 1975 р. Причому, не заперечуючи американський пріоритет, варто зазначити, що це були одразу 8-розрядні мікропроцесори, та й ще з можливістю конфігурації їх у багато процесорні системи, що було першим кроком до сьогоденних комп'ютерних систем з масовим паралелізмом. До речі, наші авторські свідоцтва на винаходи того часу в деяких американських джерелах було оцінено як «руський виклик».

Конструювання мікропроцесорного чипа включає в себе кілька ітеративних процесів, починаючи з логічного синтезу і закінчуючи проектуванням топології. Останнє виконували в конструкторському бюро об'єднання «Світ-

<sup>6</sup> Палагін А.В. Перспективы развития и вопросы теории проектирования микропроцессоров и микроЭВМ. *УСМ*. 1982. № 3; Палагін А.В. Оценка сложности конечного автомата. *Кибернетика*. 1984. № 4.



Олександр Палагін зі співробітниками за налагодженням нової мікропроцесорної системи. 1977 р.

лана» на ЕОМ БЕСМ-6, гордості тодішнього вітчизняного комп'ютеробудування, а Інститут кібернетики відповідав за архітектурно-структурну організацію мікропроцесора. Тут відчувалася школа В.М. Глушкова.

Зі спогадів О.В. Палагіна: «Пам'ятаю приїзд В.М. Глушкова як голови приймальної комісії. Це була визначна подія, тому що, по-перше, сприймалася як відповідальна справа, а по-друге, розробка однієї моделі сімейства (Електроніка С5-21) була моєю гордістю. Вона побудована на базі однокристалного емулюючого мікропроцесора. Родзинка цієї моделі в тому, що в мікропроцесорі було реалізовано комбінацію двох взаємодіючих систем керування, одна з яких була ядром мікропроцесора, а друга використовувала його як бібліотеку мікрокоманд, на базі якої працювала інша, зовнішня система мікропрограмування. Пізніше наш патент<sup>7</sup> було майже повторено в американській моделі NCR-32. Електроніка С5-21 — лейтмотив моєї докторської дисертації, присвяченої саме розробленню архітектурно-структурної організації мікропроцесорів і мікроЕОМ. Одними з центральних її розділів були метод оптимального кодування мікрокоманд і логіко-інформаційний метод синтезу мікроЕОМ. Хоча ця розробка і не була відзначена Держав-

<sup>7</sup> Палагін А.В., Дряпак А.Ф. Микропрограмное устройство управления процессора. А.с. № 943727, БИ № 26, 1982; Малиновский Б.Н., Палагін А.В. и др. Микропроцессор. А.с. № 943735, БИ № 26, 1982.

ною премією, вона увійшла в аннали вітчизняного комп'ютеробудування».

Не можна не відзначити діяльність Б.М. Малиновського як відповідального від АН УРСР за виконання одного з розділів трьох п'ятирічних програм спільних робіт Академії з Міністерством промисловості засобів зв'язку (МПЗЗ). Особливістю цього розділу були гігантські масштаби робіт. Йдеться про комп'ютеризацію підприємств МПЗЗ на основі засобів мікропроцесорної техніки. Створювалися численні творчі колективи, галузеві лабораторії, які працювали в Інституті кібернетики, а фінансувалися з боку МПЗЗ. Керівником однієї з таких лабораторій був О.В. Палагін, а базовим підприємством — відоме науково-виробничче об'єднання ім. С.П. Корольова, спільно з яким було розроблено кілька мікропроцесорних комплексів: Нейрон І9.66, СО-(01, 02, 03, 04), а також мікроЕОМ СОУ, які добре зарекомендували себе на підприємствах МПЗЗ.

Організаторські здібності Б.М. Малиновського проявилися також на посаді голови Ради систем автоматизації наукових досліджень Академії наук. Тоді розроблялися комплекси автоматизації наукових досліджень для різних типів експериментів, і досвід їх застосування академічними інститутами дуже зацікавив представників не лише союзної Академії наук, а й академії наук країн соціалістичного табору. Більш детальну інформацію про цей період можна отримати з монографії Бориса Миколайовича<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Малиновский Б.Н. *Нет ничего дороже...* Киев, 2005; Малиновський Б.М. *Документальна трилогія*. [http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/MalinovskyDokumentalnaTrilogy\\_ukr.pdf](http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/MalinovskyDokumentalnaTrilogy_ukr.pdf); Малиновський Б.М. *Зберігати довічно*. [http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/MalinovskiyBN\\_StoreEternally\\_ukr.pdf](http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/MalinovskiyBN_StoreEternally_ukr.pdf); Малиновський Б.М. *Відоме і невідоме в історії інформаційних технологій в Україні*. <http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/IT-Ukraine.pdf>; Малиновський Б.М. *Нариси з історії комп'ютерної науки та техніки в Україні*. [http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/MalinovskyEssays\\_ukr.pdf](http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/MalinovskyEssays_ukr.pdf); Малиновський Б.М. *Історія обчислювальної техніки в особах*. [http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/Malinovsky\\_history\\_ukr.pdf](http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/Malinovsky_history_ukr.pdf)



У зв'язку з відсутністю в 2000-ні роки замовлень від промисловості та оборонної галузі на системи керування напрям роботи відділу керуючих машин було змінено на розроблення інтелектуальних відеосистем реального часу, тобто база досліджень «керування в реальному часі» залишилася, але додалося керування з використанням відеоінформації.

**Перехід до сприйняття та обробки відеозображень.** У 1997–1999 рр. динамічну теорію інформації було допрацьовано для процесів сприйняття і обробки зображень та відеопослідовностей, зокрема розроблено динамічні моделі панорамування зображень, пошуку та слідування за рухомими об'єктами. Ці моделі отримали схвальні відгуки на всесвітніх виставках з інформаційних технологій, однак реалізовані вони були на традиційних засобах відео- і комп'ютерної техніки, а тому не могли продемонструвати всі свої переваги. Завдяки виграному в 2001 р. тендеру на інноваційний проект у рамках Державної програми «Образний комп'ютер» було створено першу в Україні інтелектуальну відеокамеру ІВК-1 з новими інформаційними основами, автоматичним виділенням і введенням динамічної частини зображення та його обробкою, керуванням параметрами зчитування відеоінформації тощо. Вона показала на два порядки вищу продуктивність при реалізації цих моделей. Згодом за іншими інноваційними проектами було створено сімейство інтелектуальних відеокамер різного призначення (з фото- і телеоб'єктивами, підвищеною продуктивністю, збільшеними об'ємами пам'яті), які стали базою для створення низки інтелектуальних відеосистем для контролю якості продукції за ознаками форми, розмірів, колірності та її ідентифікації, контролю статичних і динамічних параметрів фізичних, хімічних і біологічних об'єктів, слідування за рухомими об'єктами тощо.

Для створеного цифрового оптичного капіляроскопа, який дозволяє неінвазійно досліджувати стан мікроциркуляторної ланки кровообігу людини, розроблено програмне забезпечення для вимірювання статичних параметрів капілярів, а також для оцінювання



Виставкова зала Інституту кібернетики АН УРСР. О.В. Палагін розповідає про модульний набір мікропроцесорної техніки. 1977 р.

таких динамічних параметрів, як швидкість і прискорення кровотоку в ділянках капіляра.

В основу створеної гемодинамічної лабораторії «МакроМікроПоток» покладено метод цифрової оптичної капіляроскопії, який відіграє роль арбітра благополуччя всієї серцево-судинної системи живого організму, оскільки дозволяє візуалізувати найвіддаленіший сектор судинної системи і чітко відображає артеріолярну, веноулярну патологію в аспекті глобальних першопричин порушень у судинній системі зі скринінгом можливих причин як з боку серцевої діяльності, так і внаслідок патології магістральних і периферичних судин артеріальної та венозної ланок. Принциповою відмінністю цієї гемодинамічної лабораторії є поєднання двох технологій — доплерівської детекції магістрального потоку крові та цифрової оптичної візуалізації і комплексного оцінювання стану макроциркуляції — в рамках єдиного програмно-аналітичного забезпечення з метою виявлення дисбалансу між патологією в магістральних артеріях та венах і розладами в мікросудинах пацієнта. Тому саме такий комплекс, який отримує інформацію на макро- і мікрорівнях, здатний забезпечити ефективно проведення комплексної діагностики серцево-судинної системи та формування реальних індивідуально орієнтованих алгоритмів лікування з інструментальним контролем його ефективності.



В.П. Боюн, С.Д. Смірнов (замовник підсистеми реального часу макроконвеєрного комплексу, ЦАГІ, м. Жуковський), Б.М. Малиновський, О.В. Палагін. 1990 р.

**Сітківка ока людини як прототип для побудови систем комп'ютерного зору нового покоління.** Останнім часом проведено фундаментальні мультидисциплінарні дослідження сітківки ока людини з метою визначення структурних особливостей будови і принципів організації її нейронної мережі та використання їх як прототипу для побудови перспективних систем комп'ютерного зору. Основними структурними особливостями будови сітківки ока людини, які становлять інтерес для побудови перспективних систем комп'ютерного зору, є такі:

- розріджена периферична сітківка і щільна центральна ямка, які забезпечують широке поле огляду з різною роздільною здатністю;
- організація рецепторів і нейронів сітківки за принципом центр—оточення: центр збуджувальний, а оточення гальмівне, так званий оп-центр (вмикання) і off-центр (вимикання);
- висока пластичність нейронів завдяки змінненню розмірів і форми цих центрів, кількості гальмівних шарів тощо, що дозволяє виділяти із зображення велику кількість інформативних ознак з різними масштабами для подальшого розпізнавання в зоровій корі;
- велика кількість адаптаційних механізмів для пристосування до умов сприйняття зображення і вимог завдання.

Використання арсеналу методів і механізмів обробки інформації на сітківці зорового

аналізатора людини дозволило запропонувати низку оригінальних принципів організації пошуку об'єкта в зображенні, слідкування за ним і виділення інформативних ознак для розпізнавання.

**Реалізація принципів організації сітківки ока людини в системах комп'ютерного зору.** Основою нашого підходу не є копіювання функцій сітківки ока, а також процесів, що відбуваються в ній. Ми мали на меті зрозуміти загальну структуру й організацію зорової системи людини та використати ці принципи для побудови спеціалізованих і проблемно-орієнтованих відеосистем різного призначення з урахуванням стану і можливостей сучасної мікроелектроніки. І, можливо, поставити перед нею ті проблеми, які дозволять більш ефективно розв'язувати задачі пошуку об'єкта в зображенні, стеження за ним, класифікації, розпізнавання об'єктів, сцен і ситуацій у реальному часі.

Перевагою такого підходу є використання низки адаптаційних механізмів підвищення чутливості в умовах недостатнього освітлення, збільшення контрасту, а також механізмів уваги і грубо-точного представлення сцени, що дозволяє значно скоротити об'єми баз даних і час для навчання штучної нейронної мережі, прив'язати їх до процесів зйомки відеопослідовності та використати в системах комп'ютерного зору. Зокрема, *можливість зміни роздільної здатності відеосенсора* дозволить забезпечити, з одного боку, широке поле огляду, а з другого — можливість детального аналізу виділеного об'єкта. Ба більше, це допоможе реалізувати ієрархічний метод грубо-точного пошуку об'єкта в зображенні, при якому пошук виконується на грубому зображенні за інформативними ознаками вищого порядку. *Загрублення зображення* є ефективним методом зменшення об'єму інформації при пошуку об'єкта в зображенні, слідкуванні за ним, а також у режимі простого споглядання обстановки. Для загрублення зображення пропонується здійснювати сумачію (по рядках і стовпчиках) значень яскравості пікселів рецептивних полів відповідно до *процедури інтегрованої*

*матриці*, застосування якої дозволяє обчислювати суми яскравостей довільних прямокутників за 3 операції додавання/віднімання для різних ступенів закруглення. Така процедура багаторазово використовується для виділення інформативних ознак на різних масштабах, підвищення чутливості сприйняття світла та обчислення on- і off-центрів.

Зорова система людини має у своєму арсеналі безліч типів *руху очей* (сакади, мінісакади, тремор, мікротремор, слідкувальні рухи, вестибулярно-окулярні рухи для стабілізації зображення на центральній ямці, вергентні рухи для зведення і розведення осей очей при їх фокусуванні на виділеному об'єкті та ін.). Вони сприяють більш ефективному сприйняттю відеоінформації в різних режимах (споглядання, панорамування при повороті голови або русі спостерігача, пошук об'єкта в зображенні, детальне розглядання об'єкта для його класифікації/розпізнавання). Реалізація таких ефективних дій передбачає керування параметрами зчитування інформації з відеосенсора, що було продемонстровано на динамічних моделях цих процесів.

Палички і колбочки сітківки сприймають абсолютні значення яскравості або колірності, однак аналіз зображення проводиться на перепадах (різницях) цих ознак між сусідніми пікселями в рядках, стовпчиках або між кадрами. Для цього в зоровій системі здійснюються мікрорухи очей і є нейрони, які відповідають за аналіз просторових частот.

Для *виділення просторових частот* запропоновано застосувати динамічну міру інформації, тобто  $\delta$ -ентропію по рядках і стовпчиках зображення, яка обчислюється значно простіше порівняно з фур'є-аналізом. Вона також ефективно використовується для цілої низки застосувань.

Дуже важливим моментом є забезпечення *принципу кільцевої організації рецептивних полів*, оскільки він однаково ефективно працює як на моделі периферичної сітківки, так і на моделі центральної ямки. За принципом *центр—оточення* на моделі сітківки можна виділити безліч інформативних ознак різно-



Борис Миколайович Малиновський

го рівня (плями або дрібні деталі, що відрізняються від фону за яскравістю, кольором, орієнтацією, динамічними характеристиками, наявністю руху у відеопослідовності та ін.), які забезпечують не лише пошук об'єктів у сцені, а й детальне їх розпізнавання.

Кільцева організація нейронів центральної ямки з нарощуванням кілець забезпечує підсилення контрасту в умовах його недостатності, а кільцева організація периферичної сітківки з сумацією сигналів сприятиме адаптації до рівня освітлення.

Використання принципів, методів і механізмів сітківки ока людини та запропонованих способів їх реалізації дозволило створити узагальнену динамічну модель процесів пошуку об'єктів у зображенні, слідкування за ними у відеопослідовності, проводити їх класифікацію та розпізнавання, на 3–5 порядків підвищити продуктивність і ефективність систем комп'ютерного зору та розширити їх функціональні можливості. Крім того, для подальшого підвищення продуктивності систем комп'ютерного зору запропоновано структурні методи паралельної реалізації безпосередньо на шарах сенсорної матриці процедур нелінійного сприйняття яскравості, паралельної бінаризації зображення, паралельного аналого-цифрового перетворення методом розгортки по параметру, пошуку й обчислення габаритних розмірів об'єкта, обчислення моментів інерції об'єкта для його класифікації, виділення різних інформативних ознак із зображення



для пошуку об'єкта та його розпізнавання. Усі ці методи захищені патентами на винаходи.

**Узагальнена динамічна модель процесів пошуку об'єкта в зображенні, слідування за ним і виділення інформативних ознак.**

Узагальнена модель зорової системи людини багатofункціональна, вона складається із сотень локальних моделей, які описують цілу низку структурних, фізичних, біохімічних, психофізичних механізмів і процесів. Процес сприйняття візуальної інформації людиною є динамічним, з багатьма параметрами, що змінюються в процесі сприйняття, з багатьма зворотними зв'язками. Про це свідчить велика кількість статей, присвячених дослідженням конкретних властивостей, особливостей, механізмів, процесів тощо, які наявні в зоровій системі людини. Однак загального уявлення і розуміння процесу сприйняття візуальних образів зоровою системою в динаміці для різних режимів практично немає.

Результатом нашим багаторічних досліджень стало розроблення узагальненої дина-

мічної моделі процесів пошуку об'єкта в зображенні, слідування за ним і виділення інформативних ознак, а також підходів до реалізації найбільш важливих і значущих її принципів, які сприяють підвищенню ефективності й інтелектуальності систем комп'ютерного зору<sup>9</sup>.

**Післямова.** Відділення кібернетичної техніки, фундатором якого був Борис Миколайович Малиновський, продовжує плідно працювати і в інших кібернетичних напрямках, зокрема є багато розробок світового рівня зі створення приладів і систем медичного профілю, для розумного землеробства та екобезпеки, жестової комунікації, охорони й оборони, робототехніки, систем електронного голосування тощо.

<sup>9</sup> Boyun V. The Principles of Organizing the Search for an Object in an Image, Tracking an Object and the Selection of Informative Features Based on the Visual Perception of a Person. In: Babichev S., Peleshko D., Vynokurova O. (eds) *Data Stream Mining & Processing. DSMP 2020. Communications in Computer and Information Science*. Vol. 1158. Springer, Cham, 2020. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4_2)

*Vitaliy P. Boyun*

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3932-3558>

*Alexandr V. Palagin*

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3223-1391>

CYBER TECHNOLOGY: THE ORIGIN AND DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC RESEARCH IN UKRAINE

To the 100th anniversary of Corresponding Member of NAS of Ukraine B.M. Malinovsky

The authors of the article aim to recall the heroic events of 60 years ago, related to the creation and organization of mass production of the general purpose control machine "Dnipro-1", which was the first second-generation semiconductor machine in Europe, as well as to commemorate its chief designer, Boris M. Malinovsky, a well-known scientist in the field of cybernetics and computer technology, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, whose 100th birthday was recently widely celebrated by the scientific community. Many students and followers of Boris M. Malinovsky, who laid in those years the foundations of a new scientific field, cybernetics, continue to develop it today.