

СЕРГІЄНКО

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



Академік НАН України  
Олександр Адольфович  
Летичевський

## ВІДДАНІСТЬ НАУЦІ

До 80-річчя академіка НАН України

О.А. Летичевського

*3 травня 2015 р. виповнилося 80 років академіку НАН України Олександру Адольфовичу Летичевському. Свій поважний ювілей він зустрічає, зберігши творчу активність і відданість науці, на посаді завідувача відділу теорії цифрових автоматів Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України.*

Олександр Адольфович Летичевський народився в Києві 3 травня 1935 р. у сім'ї акторів. Батько, Адольф Ісакович, працював у Театрі російської драми, а мати, Наталія Олександрівна Гебдовська, — на Київській кіностудії. У перші дні війни батько пішов добровольцем на фронт, а мати з дитиною в складі кіностудії була евакуйована до Ашхабада. З війни батько не повернувся. Формально він пропав без вісті в 1943 р., але деякі факти, отримані багато років потому, свідчать, що він міг загинути ще в 1941 р. Родина повернулася в Київ у 1944 р., і починаючи з 3-го класу Олександр навчався в 92-й школі імені Івана Франка, яка в той час розміщувалася в будинку колишньої колеги Павла Галагана (зараз там Літературний музей на вул. Б. Хмельницького, 11). Після закінчення школи у 1952 р. він вступив на механіко-математичний факультет Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка.

На старших курсах Олександр захопився програмуванням, новою наукою, про яку так яскраво розповідав його старший товариш Володимир Королюк, який щойно повернувся з Москви, де навчався в аспірантурі у знаменитого Колмогорова. У ті часи в нашій країні ще не було ні інформатики в сучасному розумінні, ні кібернетики (якщо не зважати на вкрай негативне ставлення до неї деяких філософів). Проте була вже обчислювальна техніка. У 1951 р. в Києві під керівництвом академіка С.О. Лебедева було створено «МЭСМ» — перший у континентальній Європі комп'ютер з нейманівською архітектурою. Після того, як С.О. Лебедев переїхав до Москви, лабораторію обчислювальної техніки перевели в Інститут математики. Молоді учні академіка Бориса Володимировича Гнеденка — В.С. Коро-

люк, К.Л. Рвачова і В.С. Михалевич — брали участь у розробленні наступного київського проекту — обчислювальної машини «Київ». Тож студенти, які слухали університетський спецкурс з програмування, мали змогу долучитися до цієї роботи. На захист диплому Олександр написав свою першу програму для перевірки правильності програми (перевірялося, чи відповідає програма заданій блок-схемі, представленій у матричному вигляді). Ще було далеко до справжньої технології верифікації програмного забезпечення, але в тій програмі вже у зародку були реалізовані ідеї, які згодом увійшли до відповідних розділів теоретичного програмування.

Наступна робота О.А. Летичевського, виконана у співавторстві з В.С. Королюком, була пов'язана з формальними перетвореннями адресних програм. Ідея операторних схем алгоритмів ішла від О.А. Ляпунова і вперше реалізована в дисертації його учня Ю.І. Янова. Адресну мову програмування винайшли В.С. Королюк і К.Л. Ющенко (Рвачова) у 1956 р., коли ще не було ані Фортрану, ані Алголу, і ця мова могла б стати першою символічною мовою програмування. Автори адресної мови правильно визначили основні принципи побудови алгоритмічних мов програмування: використання формул та оператора присвоєння. Крім того, за центральну ідею було взято явне розрізнення адреси та її вмісту. У сучасній термінології це техніка роботи з вказівниками, яка була освоєна й теоретично обґрунтована значно пізніше і сьогодні широко застосовується на практиці, наприклад у мові С. Отже, В.С. Королюк запропонував Олександру дослідити проблему формальних перетворень для адресних програм. Було обрано дуже обмежений клас програм, що складається з пересилань адрес. Як згадує О.А. Летичевський, значний вплив на цю роботу мав Л.А. Калужнін, який увів його у світ математичної логіки і допоміг багато чого зрозуміти в алгебрі. Задача набула чіткої логічної форми, було побудовано повну і несуперечливу систему перетворень.

Згодом О.А. Летичевський знову повернувся до проблем формальних перетворень програм,

розробляючи разом з В.М. Глушковым теорію дискретних перетворювачів, у якій проблема еквівалентності схем програм над пам'яттю стала однією з найважливіших.

Після закінчення Університету в 1957 р. Летичевський працював на заводі «Київприлад», але наприкінці року В.М. Глушков, який тоді шукав фахівців для Обчислювального центру АН УРСР, за рекомендацією Королюка взяв Олександра до себе. Восени 1958 р. було започатковано славнозвісний семінар Глушкова з теорії автоматів, ядро якого склали О.А. Летичевський, Ю.В. Капітонова і В.Г. Боднарчук. Згодом до них приєдналися й інші учні Глушкова, зокрема майбутні академіки П.І. Андон та В.Н. Редько.

Після завершення розробки машини «Київ» О.А. Летичевський реалізував на ній свої перші програми, які виявилися піонерними. Програма «Еволютор» моделювала світ, населений автоматами, що живуть, пересуваються, харчуються, відчувши голод, розмножуються, старіють і помирають. При розмноженні відбуваються мутації (випадкові зміни в таблиці переходів автоматів), і найбільш пристосовані особини виживають, даючи початок новим поколінням. Щоправда, цей світ був дуже простий, одновимірний, але його еволюцію можна було спостерігати на екрані телевізора, пристосованого як дисплей машини «Київ». Згодом ця програма, написана на Алголі, увійшла до знаменитої книги В.М. Глушкова «*Введение в кибернетику*». Сьогодні «еволюційне програмування» є досить поширеною технологією знаходження оптимальних програм для багатьох типів задач. Варто згадати також програму представлення сплетінь скінченних груп, розроблену спільно з Н.Н. Айзенбергом, чудовим алгебраїстом з Ужгорода, учнем Л.А. Калужніна. Пізніше в одному із зарубіжних оглядів з комп'ютерної алгебри цю програму було відзначено як першу роботу із застосування комп'ютерів у теорії груп.

Кандидатську дисертацію О.А. Летичевський захистив у 1963 р., і це була одна з перших робіт з алгебраїчної теорії автоматів. У ній було вирішено поставлену В.М. Глушковым

проблему композиційної повноти автоматів Мура і створено основи структурної теорії, подібної до теорії Крона–Родеса, яка з'явилася значно пізніше. Тільки в 1980-х роках у роботах угорських дослідників було встановлено зв'язок між цими двома відомими теоріями.

Уже на ранніх стадіях розвитку теорії автоматів колектив молодих учених під керівництвом В.М. Глушкова почав працювати над її застосуваннями. Усі основні алгоритми технології розроблення електронних схем на основі теорії скінченних автоматів було реалізовано на машині «Київ», і вони склали основу так званої малої системи автоматизації синтезу цифрових автоматів. Головну роль у розробленні цієї системи відіграли О.А. Летичевський і Ю.В. Капітонова. Це був початок їхньої творчої співдружності, яка тривала багато років. Пізніше за роботи в галузі автоматизації проектування обчислювальних машин вони одержали премію Ленінського комсомолу.

Наступним етапом застосування теорії автоматів мала стати серія малих обчислювальних машин «МИР» (рос. *Машина для Инженерных Расчетов*). Проект першої машини був унікальним за своєю суттю. В ньому поєднувалися кілька ідей, висунутих В.М. Глушковым, одна з яких полягала в тому, щоб синтезувати як цифровий автомат електронний калькулятор, що не лише виконує арифметичні дії, а й вміє обчислювати інтеграли, чисельно розв'язувати диференціальні рівняння. Після того, як стало зрозуміло, що потрібно робити машину з достатньо розвиненою вхідною мовою, цю ідею доповнили ідеєю апаратної інтерпретації мови високого рівня, вже випробуваною в попередньому проекті машини «Україна». При цьому розуміння апаратурою мови високого рівня розглядали як шлях до підвищення внутрішнього інтелекту обчислювальної машини.

О.А. Летичевський став основним розробником вхідних мов машин серії «МИР» та методів їх реалізації в багаторівневій мікропрограмній архітектурі, винайденій В.М. Глушковым. Вхідна мова перших машин була орієнтована на чисельні методи розв'язання науково-технічних задач і тому включала звичайні за-

соби імперативного програмування, типові для таких мов, як Алгол або Фортран, але водночас допускала використання в арифметичних виразах скінченних і нескінченних сум, добутків, а також виразів з інтегралами. Допускалися також рекурсивні функціональні визначення. Оскільки мова апаратно інтерпретувалася, то можна було застосовувати числа з довільною розрядністю, якою можна керувати. Передбачалися також інтерактивний режим роботи з використанням телевізійного монітора, що було новим для техніки того часу, зручні засоби візуалізації результатів обчислень у вигляді таблиць і графіків. За всіма своїми ознаками машини серії «МИР» були подібні до майбутніх персональних комп'ютерів.

Потім вхідні мови було збагачено можливістю працювати не лише з числами, а й з математичними виразами та формулами. Мова АНАЛІТИК, основні ідеї якої запропонував О.А. Летичевський, була однією з перших мов комп'ютерної алгебри. Крім розвиненого апарату маніпулювання символічною інформацією, в ній уперше було застосовано перетворення алгебраїчних виразів за допомогою систем переписуючих правил у семантично складній алгебрі, що містила фактично всі основні функції математичного аналізу аж до символічного інтегрування аналітичних виразів. Мова АНАЛІТИК була відома в зарубіжному науковому співтоваристві і мала вплив на подальший розвиток засобів комп'ютерної алгебри. У 1968 р. колектив розробників машин серії «МИР», до якого належав і О.А. Летичевський, було нагороджено Державною премією СРСР.

Незважаючи на те, що теоретико-автоматні методи були використані при проектуванні внутрішнього математичного забезпечення машини «МИР», початкову ідею В.М. Глушкова про представлення всього проекту як композиції невеликого числа скінченних автоматів та застосування до них формальних методів синтезу цілком реалізувати не вдалося. Річ у тому, що методи синтезу скінченних автоматів побудовано на алгоритмах, які потребують окремого розгляду кожного стану та кожного вхідного символу автомату. Водночас, коли у

складі пристрою є декілька регістрів, то кількість станів буде експонентою від розрядності, помноженої на кількість регістрів. Тому для алгоритмічної підтримки розроблення таких пристроїв потрібно було знайти інший підхід, що формалізував би блочний та алгоритмічний етапи проектування комп'ютерів.

Такий підхід було створено на основі теорії дискретних перетворювачів. У цій теорії В.М. Глушков представляв обчислювальну систему у вигляді двох автоматів, керуючого та операційного, а їх взаємодію визначав за допомогою нової алгебри, яку згодом назвали алгеброю алгоритмів. Теорія дискретних перетворювачів розвивалася у двох напрямках. Перший — дослідження абстрактно-алгебраїчних задач, таких як розпізнавання еквівалентності, оптимізація щодо часу роботи, вивчення напівгрупових співвідношень і т.ін. Другий — розроблення прикладних систем автоматизації проектування комп'ютерів, мов для описання алгоритмів функціонування пристроїв, методів та алгоритмів. У докторській дисертації, присвяченій першому напрямку теорії дискретних перетворювачів інформації, О.А. Летичевський започаткував новий підхід до вивчення проблеми еквівалентності алгоритмів. Зокрема, було встановлено зв'язки основних проблем теорії програмування з автоматними моделями алгоритмів. Найбільш відомі його результати з напівгрупової еквівалентності схем програм та дискретних перетворювачів, у тому числі теореми про алгоритмічно вирішувані випадки цієї еквівалентності.

У 1970-х роках було створено систему «ПРОЕКТ» автоматизації проектування комп'ютерів спільно з їх математичним (програмним) забезпеченням. У теоретичну основу цієї розробки покладено теорію дискретних перетворювачів, розвинуту О.А. Летичевським, та алгебру алгоритмів В.М. Глушкова.

Олександр Адольфович завжди з великим ентузіазмом брав участь у прикладних проектах свого вчителя В.М. Глушкова. Так, наприкінці 70-х років розпочалася робота зі створення нових архітектур багатопроцесорних суперкомп'ютерів. Спочатку це була ідея рекурсивного комп'ютера, пов'язана з переглядом принци-

пів фон Неймана (доповідь В.М. Глушкова зі співавторами на Всесвітньому конгресі IFIP у Стокгольмі в 1974 р.), згодом вона трансформувалася у більш практичну ідею макроконвеєрної обчислювальної системи. Цю ідею було реалізовано у 80-х роках під керівництвом В.С. Михалевича вже після смерті В.М. Глушкова. Створені промислові зразки макроконвеєрної ЕОМ ЕС 2701 були першою багатопроцесорною обчислювальною системою з розподіленою пам'яттю та високою ефективністю розпаралелювання процесів. За її допомогою було розв'язано велику кількість науково-технічних, економічних, оптимізаційних задач з найвищими тоді показниками ефективності та продуктивності. Швидкодія 500 Мфлопс, одержана на макроконвеєрному комплексі, була рекордною для суперкомп'ютерів на той час.

Успіх проекту був зумовлений тим, що для його виконання було зібрано потужний колектив, який складався зі спеціалістів різних профілів (інженерів, системних математиків, програмістів, фахівців з різних прикладних галузей). Багато учасників уже мали досвід співпраці за проектом машини «МИР». О.А. Летичевський узяв на себе керівництво розробленням системного математичного забезпечення макроконвеєра. Для цього в Інституті було сформовано новий відділ рекурсивних обчислювальних машин, який він і очолив.

У проекті макроконвеєра передусім потрібно було розробити теорію розв'язання задач на багатопроцесорних системах з розподіленою пам'яттю та універсальною системою зв'язку, винайти нові методи і технології розпаралелювання задач на системі з новою архітектурою, що містила велику кількість процесорів і дозволяла працювати зі значними об'ємами розподілених даних. Цьому сприяла також плідна співпраця системних і прикладних математиків. Наприклад, аналіз реалізації на макроконвеєрі скінченно-елементної схеми розрахунку формування напружено-деформованого стану корпусу літака, запропонованої В.С. Дейнекою, сприяв винайденню нових схем організації обчислень та переміщення даних у розподіленій пам'яті. Великий вплив на теоретичні

засади макроконвеєрного програмування мали також нові схеми організації обчислень при розв'язанні задач дискретної оптимізації.

Значним кроком у розвитку технології паралельного програмування було створення системного математичного забезпечення макроконвеєрного обчислювального комплексу, який мав у своєму складі мову паралельного програмування МАЯК та операційну систему для багатопроцесорної системи з розподіленою пам'яттю. Теоретичну основу цієї розробки становили автоматно-алгебраїчні методи та моделі розподілених обчислень, завдяки яким було створено нові методи розпаралелювання алгоритмів та програм, закладено основи нової передової технології розв'язання задач. Конкретними результатами застосування цієї теорії стали методологія синтезу класів ефективних паралельних програм безпосередньо з функціональних специфікацій алгебри структур даних, побудова теорії макроконвеєрних обчислень функцій над структурами даних, а також побудова теорії та алгебри алгоритмів для динамічного розпаралелювання послідовних програм. На задачах теорії макроконвеєрних обчислень виростили нові учні О.А. Летичевського, остаточно сформувався його школа прикладної теорії алгоритмів.

Підсумком досліджень 70–80-х років з розроблення автоматно-алгебраїчних моделей та їх застосувань до розв'язання актуальних проблем програмування і обчислювальної техніки була монографія Ю.В. Капітонової та О.А. Летичевського «*Математическая теория проектирования вычислительных систем*». Як основну модель обчислювальної системи було взято поняття дискретної динамічної системи, тобто системи з (нерозміченими) переходами, і показано, як шляхом деталізації та збагачення цієї моделі можна одержати основні поняття й результати абстрактної і структурної теорії автоматів, теорії схем програм, моделі багатопроцесорних систем та основні конструкції побудови паралельних програм, як переходити від специфікації систем до їх реалізації, як виконувати еквівалентні перетворення обчислювальних систем тощо.

Одночасно з розробленням макроконвеєрної системи О.А. Летичевський та його учні продо-

вжували дослідження автоматно-алгебраїчних методів у теорії програмування. Так, наприкінці 70-х років Олександр Адольфович відкрив новий підхід до аналізу програм, знайшов нові алгоритми пошуку інваріантів програм над різними алгебрами даних. Згодом, вже у 2000-х роках ці алгоритми лягли в основу сучасних засобів верифікації програмних систем, які розробляються в Інституті кібернетики.

У кінці 80-х років під керівництвом О.А. Летичевського розпочалося розроблення системи алгебраїчного програмування APS, яка продовжувала традиції алгебраїчного програмування машин серії «МИР», зокрема мови АНАЛІТИК, однак ґрунтувалася на більш сучасних технологіях переписування алгебраїчних виразів. У наступні роки систему алгебраїчного програмування використовували для розроблення прототипів програмних систем і проведення експериментів у галузі комп'ютерної алгебри, штучного інтелекту, моделювання паралельних обчислень.

У той час Олександр Адольфович брав активну участь у житті наукової спільноти, пов'язаної з комп'ютерною алгеброю. Він неодноразово виїжджав за кордон для участі в конференціях з комп'ютерної алгебри, керував робочою групою з комп'ютерної алгебри, а в 1993 р. став основним організатором міжнародної конференції ISSAC з комп'ютерної алгебри у Києві.

У 90-х роках О.А. Летичевський на запрошення Королівського наукового товариства кілька разів відвідував Університет Сіті у Лондоні для виконання спільних проектів. Там він зацікавився загальною теорією взаємодії в інформаційних системах. Разом зі своїм лондонським колегою Д. Гілбертом він розробив нову модель взаємодії агентів та середовищ, яка узагальнювала більшість моделей взаємодії, її можна було ефективно застосовувати для аналізу різних типів систем, зокрема систем логічного констрейнтного програмування. Ідеї моделі взаємодії агентів та середовищ лягли в основу інсерційного моделювання — нової парадигми в теорії взаємодії інформаційних систем, яку успішно розвивають О.А. Летичевський та його учні протягом останніх років.



На основі інсерційного моделювання створено ряд інструментальних засобів для верифікації і тестування розподілених та багатоагентних програмних систем. Зокрема, для компанії Motorola було розроблено систему VRS верифікації вимог до програмних систем, для американської компанії UniqueSoft — нові інструментальні засоби. У відділі, яким керує Олександр Адольфович, створено систему інсерційного моделювання IMS, що відкриває нові можливості розроблення надійних програмних систем у різних предметних сферах.

Інсерційне моделювання дає змогу повному подивитися на проблеми ефективної організації обчислень у потужних сучасних багатопроцесорних, багатоядерних та розподілених системах. Річ у тім, що в таких системах при розв'язанні задач надвеликої складності недостатньо виділити якомога більше паралельних гілок або процесів, слід ще організувати їх взаємодію так, щоб зменшити періоди чекання (латентність системи), ефективно використовувати ресурси, забезпечити ефективне переміщення даних у процесорах і т.ін. Для вирішення всього комплексу завдань, які тут виникають, потрібен аналіз на правильно вибраному рівні абстракції. Інсерційне моделювання розділяє структуру системи на багаторівневі середовища та агентів, занурених у ці середовища, допомагає вибрати необхідний рівень абстракції та забезпечує оптимізуючі перетворення багатоагентних алгоритмічних структур. Сфери застосування інсерційного моделювання охоплюють телекомунікаційні системи, системи автомобільної промисловості, гібридні системи, системи штучного інтелекту.

Починаючи з 1964 р. О.А. Летичевський викладає у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка. За ці роки він виховав декілька поколінь кваліфікованих фахівців у галузі комп'ютерної науки. Багато його студентів тепер успішно працюють у наукових центрах України та світу. Серед учнів Олександра Адольфовича більш ніж 40 кандидатів та докторів наук. У його науковому доробку понад 200 наукових статей і монографій.

Високий міжнародний рейтинг та науковий авторитет О.А. Летичевського сприяє його залученню до виконання міжнародних проєктів. Упродовж багатьох років він керує різними міжнародними проєктами за програмами INTAS, NATO і CRDF. Зараз відділ О.А. Летичевського працює над проєктом за програмою УНТЦ «Когнітивна архітектура для розуміння програм», у якому передбачається поєднати сучасні ідеї штучного інтелекту з новими технологіями програмування. Олександр Адольфович протягом 50 років є членом редколегії журналу «Кібернетика та системний аналіз», входить до складу редколегій таких журналів, як Theoretical Computer Science та Biologically Inspired Cognitive Architectures, багато спілкується з міжнародними науковими організаціями та зарубіжними колегами.

Видатний український учений, один із найяскравіших учнів В.М. Глушкова, доктор фізико-математичних наук (1971), професор (1982), член-кореспондент НАН України (1990), академік НАН України (2009), заслужений діяч науки і техніки України (2007), завідувач відділу рекурсивних обчислювальних машин (1981—2008), завідувач відділу теорії цифрових автоматів (з 2008) Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, лауреат Державної премії СРСР (1968), Державних премій України (1993, 2003), лауреат премії ім. В.М. Глушкова (1985) та премії ім. А.О. Дородніцина (2011) НАН України О.А. Летичевський активно працює на благо української науки, готує молоді наукові кадри.

Академік О.А. Летичевський — визнаний у світі авторитет у галузі теорії програмування і комп'ютерних технологій. Роботи Олександра Адольфовича і його учнів широко відомі у світі і, безсумнівно, багато в чому сприяють тому, що українську школу інформатики поважають і високо цінують у світі. Мені пощастило працювати разом з Олександром Адольфовичем Летичевським більш як півстоліття, і я можу напевне сказати, що це прекрасна людина і фахівець найвищого класу. Його життя і його шляхетна праця можуть бути взірцем для кожного, хто лише розпочинає сьогодні свій науковий шлях.