

## **Катерина Логвинівна Ющенко – винахідниця Pointers та авторка однієї з перших в світі мов програмування високого рівня**

**Юрій ЮЩЕНКО**, кандидат фізико-математичних наук, старший викладач НаУКМА

Про автора: Юрій Ющенко – син Катерини Логвинівни.

Він, як і майже всі у великій сім'ї Рвачових-Ющенко, математик, програміст. Його наукові інтереси: теорія алгоритмів, штучний інтелект, дискретна математика, математична логіка, логічне та функційне програмування, бази даних. Як науковець цікавиться історією виникнення та розвитку світових технологій програмування, чимало часу приділяє популяризації досягнень української науки, зокрема, створення Адресної мови програмування для комп'ютерів.

*Останнім часом лавиноподібно зростає значення інформаційних технологій (ІТ) у всіх сферах діяльності та дозвіллі людей. Наразі не можливо уявити будь-яку наукову чи виробничу галузь, та навіть при ватне життя людини, без застосування в них новітніх інформаційних технологій.*

*А втім, історії ІТ не так уже й багато років. І що важливо – її перші сторінки писалися з активною участю українських вчених, серед яких провідне місце займає автор першої мови програмування – Катерина Логвинівна Ющенко.*

### **Від Алана Тюрінга до Сергія Лебедєва**

У 30-х роках минулого століття англійський математик Алан Тюрінг довів існування універсальної машини, здатної розв'язувати будь-які алгоритмічно розв'язні задачі, тобто ті, для яких існують алгоритми розв'язку. Системи запису алгоритмів та пристрої, які можуть розв'язувати такі задачі, називають "повнотою по Тюрінгу". Стало зрозумілим, що універсальну машину Тюрінга можна "втілити" в реальному пристрої. Адже результати Алана Тюрінга відкрили очі людству про можливість розробки пристрою (універсального по Тюрінгу), тобто комп'ютера, на якому можна розв'язувати будь-які задачі, що мають алгоритми розв'язку. Однак команди машин Тюрінга вкрай незручні для запису програм розв'язку задач. Тому вчені замислились над створенням повних по Тюрінгу пристроїв (комп'ютерів) для проведення математичних розрахунків з можливостями виконання програм, які складаються з команд виконання арифметичних дій.

На ті часи вже було відомо про механічний пристрій – Беббіджа, який здійснював послідовне виконання арифметичних дій. Однак, ані пристрій Беббіджа, а ні його послідовник — фактично удосконалений арифмометр "Марк-1", як і низка інших, не задовольняли умові повноти по Тюрінгу.

Перед людством постало питання: "Які базові елементи можна використати, щоб реалізувати такий пристрій, на якому можливо розв'язувати будь-які задачі, що мають алгоритм розв'язку?".

Відповідь надали результати в галузі електроніки. Під час другої світової війни відбувся великий стрибок у цій галузі та було розроблено низку обчислювальних пристроїв ENIAC, Z3 тощо, які, хоч і були програмованими, але як і механічний "комп'ютер" Беббіджа не задовольняли повноті по Тюрінгу, і це спонукало Фон Неймана у 1946 р. (оприлюднено у відкритих джерелах у 50-х роках) та С.О. Лебедева у 1948 р. сформулювати принципи побудови та функціонування повного по Тюрінгу пристрою (справжнього комп'ютера) на електронній базі. Принципи С.О. Лебедева були детальнішими та конкретнішими. Електронна база та принципи Фон Неймана – Лебедева виявилися настільки вдалим, що всі існуючі на сьогодні комп'ютери та комп'ютерні пристрої (смартфони, планшети тощо) мають електронну базу, побудовані та функціонують за цими принципами.

## **Операція складання команд МЕОМ – Ф-операція ЕОМ "Київ" – Pointers та програмування високого рівня**

Появі Адресної мови програмування у 1955 р. сприяла розробка у 1950 р. у Феофанії (передмісті Києва) під керівництвом С.О. Лебедева, Л.Н. Дашевським, К.О. Шкабарою та іншими вченими інженерами першого у континентальній Європі та першого в СРСР унікального комп'ютера МЕОМ ("МЭСМ"<sup>1</sup>) (спочатку: Макет електронно-обчислювальної машини, а згодом: Мала електронно-обчислювальна машина). Радою управління Комп'ютерного товариства "Інститут інженерів з електротехніки та електроніки" (ІЕЕЕ) за розробку цього комп'ютера С.О. Лебедева нагороджено найпрестижнішою в галузі ІТ медаллю "Комп'ютерний піонер"<sup>2</sup>.

Унікальність МЕОМ полягає в тому, що в системі команд цього комп'ютера була команда складання команд та паралельної дії арифметичний процесор, чого не було в комп'ютерах, розроблених за кордоном. Величезне значення МЕОМ полягає в тому, що наявність унікальної команди складання команд, яка була відсутня у інших комп'ютерах того часу, стала відправним пунктом для винаходу програмування високого рівня. Команда складання команд дозволяла модифікувати адреси в команді самої програми.

Катерина Логвинівна Ющенко (Рвачова) була першою з математиків, яка опанувала складання програм на МЕОМ та використала операцію складання програм для реалізації циклічної обробки масивів. З 1950 р. Катерина Логвинівна працювала в математичному інституті АН України, завідувала обчислювальною лабораторією, яку створив директор математичного інституту О.Ю. Ішлінський для про ведення розрахунків об'єктів космічної техніки та траєкторій польоту космічних ракет.

У ті роки математики обчислювальної лабораторії проводили обчислення з використанням рахівниць, логарифмічних лінійок, арифмометрів та їх електронних послідовників - електронно лічильних аналітичних машин.

Обчислення були трудомісткими, вимагали глибокої математичної підготовки. Процес написання програм був складним, а процес введення програм до МЕОМ та процес отримання результатів займав надзвичайно багато часу. Програми та дані до них вводились "0" та "1" вручну, підніманням та опусканням тумблерів, прямо в

---

<sup>1</sup>МЕОМ – (українською мовою в "Енциклопедії кібернетики", 1973 р., дано скорочення "МЕЛМ" - Мала Електронна Лічильна Машина - в більшості джерел та в мережі Інтернет відома як комп'ютер "МЭСМ" (російською - Малая Электронная Счетная Машина)

<sup>2</sup> **1996 Computer Pioneer Award**

"Designed and constructed the first computer in the Soviet Union and founded the Soviet computer industry."

пам'ять МЕОМ. Результати, теж в "0" та "1" зчитувались на аркуш олівцем. Якщо МЕОМ потрібно було використовувати для запуску наступної програми, використовувався фотоапарат, який фіксував стан пам'яті МЕОМ, та після проявлення фотоплівки та друку фотовідбитків можна було перейти до переведення результатів обчислень у десяткову систему числення.



Катерина Логвинівна за роботою. 1959 рік. Фото з сімейного альбому

До того ж комп'ютер постійно виходив з ладу, оскільки його елементною базою були електронні лампи, які постійно перегорали. Після часткового від'їзду у 1952 р. С.О. Лебедева до Москви дирекція Інституту електротехніки (згодом електродинаміки), в якому було зібрано МЕОМ, з прохолодою ставилася до проблем обчислювальної лабораторії та не забезпечувала коштами підтримку працездатності МЕОМ. Оскільки математичному інституту МЕОМ надавала можливість прискорити обчислення, то підтримка працездатності її лягла на плечі математичного інституту, що стало причиною передачі у 1954 р. МЕОМ до інституту математики.

У 1952 р. для проведення на МЕОМ досліджень з Москви до Києва приїжджає математик О.А. Ляпунов. Інженери, які збирали МЕОМ та підтримували її працездатність, показали О.А. Ляпунову, як користуватися пультом керування МЕОМ та надали документацію щодо команд машини. Катерина Логвинівна, яка вже на той час склала не одну програму, пояснювала О.А. Ляпунову, як складала програми та як використовувала унікальну операцію складання програм задля формування нової команди з двох існуючих таким чином, щоб команда при наступному виконанні брала значення з наступної комірки пам'яті. Ця команда може формувати окрему сукупність команд, тобто іншу, нову програму. Саме ця команда стала основою створення програмуючих програм, які згодом отримали назву компілятори та транслятори. Операція складання команд знайшла відображення у понятті масивів операторного програмування, що було винайдено О.А. Ляпуновим та опубліковано у 1952-1953 рр. За участі О.А. Ляпунова було розроблено перші в світі програмуючі програми (ПП) – ПП (1954 р.) та ПП-2 (1955 р.). За заснування радянського програмування О.А. Ляпунова, як і С.О. Лебедева, було нагороджено медаллю "Комп'ютерний піонер".

Випередженням українського програмування є те, що на відміну від Адресної мови (1955), в перших ПП, ПП-2 та мовах програмування FORTRAN (1958 р.), COBOL (1959 р.), ALGOL-60 не було засобів опосередкованої адресації, Pointers, деревовидних форматів даних (абстрактні типи даних – є аналогом), декларативних засобів програмування та можливостей групувати дані з програмами їх обробки (як в об'єктно-орієнтованому програмуванні). Причиною цього випередження є та сама

унікальна команда складання команд комп'ютера МЕОМ. Коли у 1954 р., одразу після остаточного від'їзду С.О. Лебедева до Москви, його учні та соратники Л.Н. Дашевський, К.О. Шкабара, та інші вчені продовжили під керівництвом Б.В. Гнеденка розпочате С.О. Лебедевим конструювання великої обчислювальної машини, Катерина Логвинівна запропонувала включити суттєво вдосконалений аналог команди складання команд для модернізації адрес. Оновлений проект розробки великої ЕОМ було названо "Київ", а Катерину Ющенко було призначено, разом з Л.Н. Дашевським, керівниками розробки цього комп'ютера. Команда складання команд використовувалась задля модифікації адрес операндів, наприклад, додаванням до адреси 1, адреса на комірку пам'яті змінювалась та посилялась вже на наступну комірку пам'яті. Вдосконалена команда складання команд мала назву Ф-операція та надавала широкі можливості, зокрема дозволяла виконувати "штрих-операцію" (операція розіменування Pointers являє собою аналог). Саме так в Адресній мові, завдяки "штрих-операції" з'являється поняття опосередкованої адресації та адресації вищих рангів, тобто засобів, яким подібні вказівники (Pointers).



Книжки з Адресної мови програмування

Адресна мова випередила винахід найважливішого інструменту всіх сучасних імперативних мов програмування — вказівників (Pointers) — на 9 років. Першою закордонною мовою з вказівниками стала універсальна мова програмування PL/1. Це сталося лише через 9 років після того, як вказівники були винайдені Катериною Ющенко. Через "залізну завісу" та "холодну" війну в капіталістичних країнах не було відомо про досягнення українських вчених та інженерів в галузі ІТ. У 2000 р. Гаролда Лаусона за винахід ним Pointers у 1964 р. нагороджено тією самою, що і С.О. Лебедева та О.А. Ляпунова медаллю "Комп'ютерний піонер". Про те, що саме К.Л. Ющенко винайшла Pointers написав англійський програміст Alvaro Videla у 2018 р. Це було неочікуваною несподіванкою для світової спільноти програмістів та викликало справжній бум у блогах програмістів та в соціальних мережах. Наявність унікальної операції формування команд в МЕОМ дозволила Катерині у 1954 р. за власною ініціативою та у позаробочий час реалізувати програмуючу програму (компілятор арифметичних формул), тобто програму, яка на вхід отримувала математичну формулу та створювала програму для її обчислення в командах процесора. В архітектурі ЕОМ "Київ" було застосовано новаторські принципи. Зокрема, реалізовано асинхронний принцип передачі управління між функціональними блоками, феритову оперативну пам'ять, введення та виведення чисел в десятковій системі числення, пасивний запам'ятовувальний пристрій із набором констант і підпрограм елементарних функцій, розвинена система операцій.

Однією з особливостей системи команд комп'ютера стало те, що потреби програмістів вплинули на архітектуру комп'ютера: до команд процесора було включено непряму (опосередковану) адресацію вищих рангів (розіменування

вказівників). Апаратна реалізація групової "штрих-операції" значно прискорювала обробку складних типів даних та забезпечувала миттєвий (прямий) доступ до довільного n-ого елемента списку шляхом виконання процесором групової команди модернізації адрес.

Реалізація Адресної мови програмування розпочалася водночас з проектуванням архітектури комп'ютера "Київ", а налагодження та використання компілятора розпочалося з його першими експериментальними запусками у 1955 році. ЕОМ "Київ" використовувалась для розв'язку економічних, інформаційних та логічних задач. Ще у 1957 році було складено програми, які "вміли" грати в нетривіальні логічні ігри. У 1958 році К.Л. Ющенко запропонувала та реалізувала новий метод розв'язку задач лінійного програмування для планування обсягів виробництва продукції. У 1957/58 роках інженери завершили підключення пристроїв: введення зображень з паперових носіїв та фотоплівки/фотопластин, друку зображень та виведення їх через засвічення на фотоплівки/фотопластин пристроїв до ЕОМ "Київ". Завдяки цим пристроям та Адресному програмуванню, вперше у світі українські вчені почали розв'язок задач штучного інтелекту, зокрема було отримано результати розпізнавання простих геометричних фігур, розпізнавання друкованих та письмових літер, моделювання роботи автоматів, автоматичного синтезу функціональних електричних схем. Для розв'язку задач розпізнавання фігур було розроблено бібліотеку функцій для обробки зображень. Це були одні з перших в світі досліджень програмістів в галузі комп'ютерної графіки. У ті роки Катерина Логвинівна обговорювала зі своїм братом, Володимиром Рвачовим, перспективи вираження математичними формулами геометричних об'єктів. Ці обговорення надихнули Володимира на розв'язання проблеми, що походить ще від Декарта і відома як задача аналітичної геометрії: як за заданим геометричним об'єктом скласти рівняння його представлення. Так, В.Л. Рвачовим були винайдені R-функції, які зокрема застосовуються для опису геометричних фігур математичними формулами.

### **Математика – її життя**

А вперше вона сіла за пульт суворо засекреченої МЕОМ на початку 1952 року, і стала першим математиком, який почав складати програми для МЕОМ.

...Про МЕОМ Катерина дізналась від свого наукового керівника Б.В. Гнеденка, Познайомились вони у Львові у 1947 році. Катерина працювала вчителем математики в середній школі Стрия, і коли дізналася про створення у Львові філіалу київського Інституту математики, яким керував Гнеденко, вирішила туди завітати. Побачивши червоний диплом випускниці механіко-математичного факультету, Б.В. Гнеденко запропонував їй роботу у своєму відділі.

У Львові Катерина отримала оригінальні результати з багатомірних стійких законів розподілу, запропонувала оригінальні критерії порівняння емпіричних даних та довела ряд локальних граничних теорем, важливих для вирішення широкого кола теоретичних та практичних задач. Ці результати пізніше були використані у квантовій механіці. Результати Катерини Рвачової в галузі багатовимірних стійких законів розподілу стали класичними та відомими в світі.

Кілька слів про дитинство та родовід Катерини Рвачової. Із самого дитинства, як і всі її бра ти та старша сестра, дівчина була надзвичайно захоплена математикою. Любов своїм п'ятьом дітям до математики прищепила їхня мати — Ксенія Олексіївна, яка сама навчилася читати та писати по задачнику з математики. Коли до школи пішов наймолодший братик Володя, Ксенія Олексіївна сказала Катерині приблизно так: "Ти

найкраще з моїх дітей знаєш математику й дуже захоплена нею, тому ти маєш підтягнути та зацікавити свого молодшого братика". Катерині вдалося зацікавити математикою братика Володю настільки, що згодом він став відомим у світі математиком. Володимир Логвинович Рвачов запропонував R-функції, які математики всього світу використовують при обчисленні на комп'ютерах складних математичних задач. Він створив та розвинув неархімедове числення, яке пояснює, що зміщення спектрів нерухомих об'єктів в червону сторону не є наслідком розширення Всесвіту, чим спростував гіпотези про народження Всесвіту в результаті великого вибуху та про те, що Всесвіт пульсує.



Маленька Катерина з батьками: Ксенією Олексіївною та Логвином Федоровичем Рвачовими. Фото з сімейного альбому

Отримання у 1950 році посади завідувача обчислювальної лабораторії можна вважати єдиним кар'єрним зростанням Катерини Логвинівни. Вже через рік, після складання перших програм на МЕОМ, лабораторію перейменовують у лабораторію методів обчислень та програмування. Коли у 1954 р. лабораторію обчислювальної техніки разом з МЕОМ з Інституту електротехніки АН УРСР було передано до Інституту математики АН УРСР, тоді лабораторію методів обчислень та програмування включають, як відділ, до складу новоствореної лабораторії, що розташовується у Феюфанії за місцем знаходження МЕОМ. Згодом цей відділ увійшов до складу обчислювального центру АН УРСР, а у 1962 році до Інституту кібернетики АН УРСР. Остання назва цього відомого у всьому світі відділу: "відділ теоретичного програмування", який Катерина Логвинівна неперервно очолювала до останніх років свого життя.



Катерина Логвинівна у 80-ті роки. Фото з сімейного альбому

Перші програми розв'язку задач статистичного контролю якості Катерина написала для МЕОМ у 1952 році. Вона допомагала іншим математикам складати програми всякий раз, як у них виникали труднощі, оскільки досконало знала машину та тонкощі програмування. Серед тих, кому вона допомагала, як зазначалось, був і математик О.А. Ляпунов, який операторним програмуванням надихнув Катерину на розробку програмуючої програми, тобто розробки компілятора універсальної мови програмування. На МЕОМ Катерина Логвинівна запрограмувала розв'язок задач оптимізації прокладки дальніх високовольтних ліній електропередач, які згодом вона реалізувала на Адресній мові для інших ЕОМ.

У 1952—1956 рр. Катерина Логвинівна разом з іншими математиками програмувала задачі оборонного характеру, зокрема в галузі термоядерних процесів, водневої бомби, здійснювала розрахунки траєкторій балістичних ракет, супутників та космічних кораблів. Усі ці роботи проводилися в режимі найсуворішої секретності. Це був перший досвід складання комп'ютерних програм такого рівня.

"У процесі створення цієї машини вперше надано визначення таким поняттям як програма (для обчислювальної машини), система команд машини, розробка, налагодження програми, блок-схема програми тощо, які лягли в основу термінологічного апарату програмування", — писав Пилип Іларіонович Андон, описуючи ті роки.

### **Далекоглядність та унікальність Адресної мови**

Групова "штрих-операція" була й на інших ЕОМ українського виробництва: "Промінь", "Дніпро"<sup>3</sup> тощо, а компілятори Адресної мови були реалізовані на більшості ЕОМ радянського серійного виробництва: "М-20", сімейства "БЭСМ", сімейства "Урал", "Дніпро" та сімейства "Мінськ" тощо. Концепція Адресного програмування вплинула на програмне забезпечення ЕОМ "Промінь", "МИР-1", "МИР-2", а засоби непрямой адресації були включені в інші радянські мови програмування та в радянські версії мов програмування Алгол та Кобол.

Наявні в Адресній мові: унікальна "мінус штрих-операція" (обернена до операції розіменування Pointer), яка за заданою адресою визначає всю множину вказівників, результатом розіменування яких є задана адреса; предикатні функції; операції над множинами, наприкінці 50-х дозволили українським програмістам розробити першу в світі систему керування базами даних реляційного типу – "Автодиректор". На основі цієї системи було розроблено всесвітньовідому систему "Львів" для концерну "Електрон".

У цій мові було передбачено паралелізм: оператори, які записані в одному рядку, могли виконуватись одночасно чи у довільному порядку.

Наприкінці 50-х років, завдяки опосередкованій адресації, уперше в світі була забезпечена незалежність роботи програми від розміщення у пам'яті. Наразі цю особливість використовують власники комп'ютерів, планшетів та смартфонів кожного разу, як тільки завантажують програми-додатки у свій пристрій. Однією з цілей створення Адресної мови було забезпечення можливості перенесення програм з одного комп'ютера на інші комп'ютери із іншою архітектурою. Перший підручник для студентів по Адресному програмуванню видано у 1963 р. та майже одразу перекладено та видано в Болгарії, Румунії, Чехословаччині, Польщі, НДР, Югославії, Данії, а у Франції — у 1974 р.

---

<sup>3</sup> Управляюча машина широкого призначення УМШП "Дніпро"

Адресна мова була реалізована на комп'ютерах Китайського серійного виробництва: аналогу ЕОМ "Дніпро" та аналогів "БЭСМ-3М" та "БЭСМ-4М".

Комуністичний режим директивно, у середині 60-х років, вирішив перейти до використання Алголу та Фортрану, з одночасною відмовою від застосування Адресної мови та заборонаю розробки нових компіляторів, інтерпретаторів та трансляторів цієї мови. У зв'язку з цим реалізацію на швидкодіючому комп'ютері "БЭСМ-6" (серійне виробництво з 1965 р. по 1989 р.) було припинено. Однак, програмісти соціалістичних країн писали програми на Адресній мові ще до середини 70-х років. Так, в центрі керування спільного для СРСР та США космічного польоту "Аполлон-Союз" (Москва, 1975 р.) використовувався комплекс комп'ютерів, до складу якого входили "БЭСМ-6", дві ЕОМ "Дніпро" та інші комп'ютери. На комп'ютерах "Дніпро" використовувались Адресна мова програмування та бібліотеки обробки графічних зображень цієї мови. для відображення графічної інформації на великому екрані в системі спостереження за ходом польотів космічних кораблів.

Перші в СРСР компілятори для мов Фортран та Алгол-60 було розроблено на Адресній мові. Початкові тексти програм на Фортрані чи Алголі-60 перекладались (транслявались) на Адресну мову. Результат перекладу виконував існуючий компілятор Адресної мови.

У Всесвітньому музеї інформаційних технологій, що знаходиться у Блечлі-парку (під Лондоном), вхід до галереї історії програмування прикрашає портрет К.Л. Ющенко. А далі, під іншим її портретом, уже в самій галереї, підписано, що Катерина є автором Адресного програмування (1955 р.) та піонером радянського програмування.

Визнанням наукових досягнень Катерини Ющенко стало її обрання членом-кореспондентом АН УРСР. Вона двічі ставала лауреатом Державної премії УРСР в галузі науки і техніки, лауреатом премії імені В.М. Глушкова, їй присвоєно звання заслужений діяч науки України. У роки незалежної України Катерину Логвинівну нагородили орденом княгині Ольги третього ступеня.

**Юрій ЮЩЕНКО,**

кандидат фізико-математичних наук,  
старший викладач НаУКМА

Про автора: Юрій Ющенко – син Катерини Логвинівни. Він, як і майже всі у великій сім'ї Рвачових-Ющенків, математик, програміст. Його наукові інтереси: теорія алгоритмів, штучний інтелект, дискретна математика, математична логіка, логічне та функційне програмування, бази даних. Як науковець цікавиться історією виникнення та розвитку світових технологій програмування, чимало часу приділяє популяризації досягнень української науки, зокрема, створення Адресної мови програмування для комп'ютерів.

**Примітка редактора: В тексті назви комп'ютерів подаються в загальноживаних назвах.**