

УДК 004.41:004.424

[https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-8\(49\)-1281-1296](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-8(49)-1281-1296)

Гуменний Петро Володимирович кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль, <https://orcid.org/0000-0003-0982-3305>

Федорчук Анна Леонідівна кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир, <https://orcid.org/0000-0001-8227-3210>

Лось Марія Василівна викладач кафедри фундаментальних та спеціальних дисциплін, Чортківський навчально-науковий інститут підприємництва і бізнесу Західноукраїнського національного університету, м. Чортків, <https://orcid.org/0009-0000-6529-4052>

ЕВОЛЮЦІЯ ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ: ВІД ПАКЕТНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ДО ВІРТУАЛІЗОВАНИХ СЕРЕДОВИЩ

Анотація. Стаття присвячена аналізу процесу розвитку операційних систем від перших зразків пакетної обробки даних до сучасних віртуалізованих середовищ, що визначають новий етап їх функціонування в умовах технологічних інновацій. Метою статті є висвітлення еволюції операційних систем у контексті змін технологічного середовища та обґрунтування перспектив формування нового етапу їх розвитку під впливом сучасних інновацій. У ході наукового дослідження використовувалися загальнонаукові методи пізнання, зокрема аналіз, синтез, індукція, дедукція, узагальнення та системний підхід. Результати дослідження показують, що становлення операційних систем відбувалося через низку ключових етапів. У період 1945–1980 років було зроблено перехід від відсутності спеціалізованих програмних засобів до появи перших систем пакетної обробки. Подальший розвиток позначився створенням багатозадачних і багатокористувацьких систем, у межах яких досліджено відхід від ручного управління ресурсами до впровадження автономних засобів планування та контролю. Доведено, що четвертий етап розвитку операційних систем, який триває дотепер, визначається якісним проривом. У цей період досліджено поширення ОС на персональні комп'ютери, мобільні пристрої, сервери та хмарні платформи. Показано, що сучасні операційні системи забезпечують багатозадачність,

мережеву взаємодію, інтерактивність, високий рівень безпеки та підтримку різноманітних апаратних рішень, перетворюючись на універсальний інструмент як для повсякденного користування, так і для спеціалізованих науково-інженерних завдань. Встановлено, що сучасні операційні системи функціонують у нових умовах – розподілених хмарних платформ, мобільності та сервісних моделей доступу, які передбачають безперервну інтерактивність і масштабованість. Досліджено їх адаптивність, інтелектуальну підтримку та універсальність. Практичне значення дослідження полягає у можливості використання його результатів для прогнозування тенденцій розвитку операційних систем та оптимізації їх застосування в майбутньому технологічному середовищі.

Ключові слова: операційні системи, еволюція, віртуалізація, хмарні обчислення, інновації.

Humennyi Petro PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Specialized Computer Systems, West Ukrainian National University, Ternopil, <https://orcid.org/0000-0003-0982-3305>

Fedorchuk Anna Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Science and Information Technology, Zhytomyr Ivan Franko State University, Zhytomyr, <https://orcid.org/0000-0001-8227-3210>

Los Maria Lecturer of the Department of Fundamental and Special Disciplines, Chortkiv Educational and Scientific Institute of Entrepreneurship and Business of the Western Ukrainian National University, Chortkiv, <https://orcid.org/0009-0000-6529-4052>

EVOLUTION OF OPERATING SYSTEMS: FROM BATCH DATA PROCESSING TO VIRTUALIZED ENVIRONMENTS

Abstract. The article analyzes the development of operating systems from the first examples of batch data processing to modern virtualized environments that define a new stage of their functioning in the context of technological innovations. The purpose of the article is to highlight the evolution of operating systems within the changing technological environment and to substantiate the prospects of forming a new stage in their development under the influence of modern innovations. The study employed general scientific methods of cognition, including analysis, synthesis, induction, deduction, generalization, and a systematic approach. The results show that the formation of operating systems took place through several key

stages. Between 1945 and 1980, the transition occurred from the absence of specialized software to the emergence of the first batch processing systems. Further development was marked by the creation of multitasking and multi-user systems, which demonstrated a shift from manual resource management to the implementation of autonomous scheduling and control tools. It has been proven that the fourth stage of operating system development, which continues to this day, is characterized by a qualitative breakthrough. This stage involves the expansion of operating systems to personal computers, mobile devices, servers, and cloud platforms. Modern operating systems have been shown to provide multitasking, networking, interactivity, high security levels, and support for diverse hardware solutions, becoming a universal tool both for everyday use and for specialized scientific and engineering tasks. It has been established that contemporary operating systems function in new conditions—distributed cloud platforms, mobility, and service-based access models, which require continuous interactivity and scalability. Their adaptability, intelligent support, and versatility have been explored. The practical significance of the study lies in the possibility of applying its results to predict trends in operating system development and to optimize their application in the future technological environment.

Keywords: operating systems, evolution, virtualization, cloud computing, innovations

Постановка проблеми. В умовах стрімкого розвитку цифрових технологій та постійного зростання вимог до обчислювальних систем операційні системи (ОС) залишаються фундаментальним елементом будь-якої інформаційної інфраструктури. Сучасні тенденції, зумовлені впровадженням штучного інтелекту, розширенням хмарних сервісів, поширенням квантових обчислень, сенсорних мереж та мобільних пристроїв нового покоління, формують принципово нове технічне середовище, яке вимагає радикального перегляду архітектури, функціональності та філософії ОС. Водночас зростає запит на системи, здатні забезпечувати безперервну доступність, контекстну адаптивність, енергетичну ефективність і взаємодію з розподіленими ресурсами в режимі реального часу.

У цьому контексті аналіз історичних етапів розвитку операційних систем набуває особливої актуальності, адже дозволяє осмислити логіку технологічної еволюції: від елементарного керування ресурсами у лампових машинах до високорівневого інтегрування штучного інтелекту в багатofункціональні середовища. Рішення, що сьогодні вважаються передовими, у ретроспективі можуть виглядати так само обмежено, як виглядають нині перші пакетні системи чи однозадачні оболонки. Саме тому дослідження трансформаційних процесів в архітектурі ОС є необхідним кроком для прогнозування майбутніх технологічних парадигм.

Аналіз останніх наукових досліджень та публікацій. Питання еволюції операційних систем від перших пакетних засобів обробки до сучасних віртуалізованих середовищ є достатньо висвітленим у вітчизняній та зарубіжній науковій літературі, що підтверджує як значна кількість навчально-методичних посібників, так і сучасних досліджень у міжнародних виданнях. У вітчизняному науковому просторі значний внесок зробили Авраменко В.С., Авраменко А.С. [1], Л.О. Левченко та Ю.А. Тарнавський [3], які системно розглянули розвиток операційних систем у навчальному курсі, приділивши увагу як класичним моделям, так і новітнім концепціям багатозадачності та розподілених середовищ. О.О. Мосіюк та А.Л. Федорчук [4] зосередилися на методологічних аспектах викладання системного програмування та ОС, що дало змогу сформуванню структуроване бачення еволюції підходів у цій сфері. Важливим джерелом також є дослідження Б.І. Погребняка та М.В. Булаєнка [6], у якому наголошено на фундаментальних принципах функціонування ОС та їх трансформації в умовах зростання обчислювальних потужностей.

І.М. Федотова-Півень, І.В. Миронець, О.Б. Півень, С.В. Сисоєнко та Т.В. Миронюк [9] здійснили спробу узагальнення як історичного розвитку, так і сучасних тенденцій, включаючи аналіз архітектурних рішень.

У зарубіжній літературі питання еволюції ОС також широко вивчалось. Так, V. Rawat [12] представив огляд, що охоплює історію розвитку операційних систем, їхні різновиди, основні проблеми та перспективи розвитку, зокрема у сфері безпеки та віртуалізації. Сучасний прорив у галузі демонструє Н. Johnston [11], який описує першу операційну систему для квантових мереж, що відкриває новий етап у розвитку комп'ютерних систем, виходячи за межі класичної віртуалізації. Д

Також важливими є аналітичні огляди у спеціалізованих онлайн-виданнях, зокрема матеріали з ресурсів cusu.edu.ua [2], wunu.edu.ua [5], а також тематичні статті на habr.com [10] та redeweb.com [8], що відображають сучасні аспекти трансформації операційних систем у контексті практичного застосування.

Метою статті є висвітлення еволюції операційних систем у контексті змін технологічного середовища та обґрунтування перспектив формування нового етапу їх розвитку під впливом сучасних інновацій. Для досягнення цієї мети проаналізовано ключові характеристики перших чотирьох етапів розвитку ОС, окреслено сучасний стан та класифікацію систем четвертого покоління, розкрито особливості мобільних, хмарних і віртуальних платформ, а також обґрунтовано можливі напрями трансформації операційних систем під впливом штучного інтелекту, квантових технологій та інших прогресивних рішень.

Виклад основного матеріалу. Операційна система — це базове програмне забезпечення, яке керує всіма ресурсами комп'ютера: процесором,

пам'яттю, дисками, пристроями введення-виведення (клавіатура, миша, монітор тощо). Вона забезпечує взаємодію між апаратною частиною комп'ютера та користувачем, створюючи середовище для запуску прикладних програм [8, 9].

Класичні операційні системи поступово сформували набір базових функцій, без яких неможлива ефективна робота комп'ютера:

- Планування завдань та процесора – розподіл обчислювальних ресурсів між програмами, щоб вони виконувалися оптимально й без конфліктів.
- Комунікація та синхронізація програм – забезпечення взаємодії між різними процесами і погодження їхньої роботи в часі.
- Управління пам'яттю – раціональний розподіл та контроль використання оперативної пам'яті між активними завданнями.
- Файлова система – організація, зберігання та доступ до даних на носіях інформації.
- Введення та виведення – контроль за обміном даними між процесором, периферійними пристроями та користувачем.
- Безпека – захист даних і ресурсів від несанкціонованого доступу чи збоїв у роботі [3].

Ці функції розширювалися з розвитком операційних систем. Загалом науковці Мосіюк О.О., Федорчук А.Л., Погребняк Б.І., Булаєнко М.В. виділяють 4 покоління операційних систем.

I покоління (1945–1955). Комп'ютери на електронних лампах, керування відбувалося панелями та перемикачами. Програмування здійснювалося лише машинною мовою. Операційних систем ще не існувало, машини використовувалися здебільшого для наукових обчислень [4].

Операційні системи як такі були відсутні. Організація обчислювального процесу покладалася на самих програмістів, які вручну керували роботою машини через пульт. Самі програмісти виконували функції управління: завантажували програму, стежили за її виконанням, фіксували помилки. Використання ЕОМ мало переважно науково-дослідницький характер, а не прикладний [2].

У перших електронних обчислювальних машинах кінця 1940-х – початку 1950-х років апаратура займала великі зали. Типовий комп'ютер складався з шаф, наповнених електронними лампами, магнітними барабанами або стрічками для зберігання даних, пристроїв введення (наприклад, перфокартних машин) і друкарських пристроїв для виводу. Кожен запуск програми вимагав ручного введення інструкцій із панелей керування або перфокарт.

Головними завданнями були обчислення, які не під силу людині, зокрема: розрахунки балістичних траєкторій, складні математичні моделі для фізики, криптографічні задачі та статистичні аналізи [6].

II покоління (1955–1965). Перехід до транзисторів, поява систем пакетної обробки, що зменшило їхні розміри та підвищило надійність. Дані подавалися групами для підвищення ефективності. Хоча вони залишалися громіздкими й займали спеціальні приміщення, їхня архітектура стала більш раціональною. Користувачі більше не працювали безпосередньо за машиною: вони готували «пакети завдань» — набори перфокарт із програмами, даними та керівними інструкціями (мовою JCL).

Створено перші ОС, зокрема GMOS для IBM 701. Це були однопотокові пакетні системи, що автоматизували запуск завдань [4].

ОС організовувала послідовне виконання цих пакетів, автоматично завантажуючи програму та переходячи до наступної після завершення попередньої. Завдяки цьому процесор був завантажений майже постійно, що різко підвищило продуктивність використання техніки. Такі системи застосовувалися для бухгалтерських розрахунків, наукових експериментів, планування виробництва, статистики та моделювання. Одним із найвідоміших зразків стала OS/360 для EOM IBM 360, яка заклала основу промислового використання ОС [6].

У цей час з'являються перші компілятори, алгоритмічні мови програмування та пакетна обробка завдань, коли програми подавалися у вигляді колод перфокарт. Водночас формується розподіл обов'язків між розробниками, операторами та користувачами [2].

Першою операційною системою вважається **GM-NAA**, створена у 1955 році в General Motors і North American Aviation. Її особливість полягала в автоматизації процесу запуску програм: після завершення однієї програми система одразу завантажувала наступну. Це зняло з програмістів необхідність вручну контролювати роботу машини з пульта. Хоча система була дуже примітивною, вона вперше ввела саму ідею «системного монітора», тобто посередника між користувачем і обладнанням, що стало принципово новим кроком у розвитку ОС [7].

III покоління (1965–1980). Використання інтегральних схем, поява багатозадачних ОС. Реалізовано багатозадачність, підкачування (spooling) і режим поділу часу, що дозволило одночасну роботу багатьох користувачів [4].

Для них з'являються складні операційні системи з підтримкою мультипрограмування, що дозволяло одночасно виконувати кілька завдань завдяки поділу пам'яті на розділи. Також виникають системи поділу часу, які створювали ілюзію індивідуальної роботи кожного користувача з машиною [2].

Тепер комп'ютери (мейнфрейми або міні-EOM, такі як PDP-11) підключалися до десятків терміналів — моніторів і клавіатур, розташованих у користувачів. Сам комп'ютер залишався великою машиною, проте взаємодія з ним набувала інтерактивного характеру. ОС розподіляла процесорний час на

невеликі відрізки (кванти), що дозволяло одночасно обслуговувати багатьох користувачів без значних затримок. Кожен програміст міг вводити й налагоджувати код безпосередньо зі свого терміналу, отримуючи миттєвий результат. Це радикально скоротило час розробки програм. Завданням таких ОС було забезпечення багатокористувацького середовища: одночасне виконання програм, керування пам'яттю, синхронізація процесів і організація діалогу з користувачем. Особливу роль у цьому періоді відіграла операційна система UNIX [6], які створили у 1971 році Денніс Рітчі та Кен Томпсон. Новий реліз **Unix** став проривом завдяки багатокористувацькому режиму. На відміну від більшості систем того часу, що виконували лише одну задачу, Unix дозволяла працювати кільком користувачам одночасно, що зробило її практичною для наукових і корпоративних середовищ.

У 1973 році Unix була переписана мовою **Cі**, що стало ключовою подією в історії обчислювальної техніки. Завдяки цьому система стала кросплатформною, її можна було переносити на різні архітектури процесорів. Це зняло залежність ОС від конкретного обладнання і забезпечило її тривале життя, на відміну від більшості тодішніх ОС.

У 1970–1980-х Unix лягла в основу різних гілок, серед яких виділявся **BSD (Berkeley Software Distribution)**, що додав мережеві інструменти, утиліти та функціонал, які стали стандартом для подальших ОС. BSD поширювала відкриті ідеї спільноти, забезпечуючи універсальність і високу якість коду [7].

У 1972 році з'явилася система **PLATO**, яка вже виходила за межі простого управління обчисленнями і пропонувала інтерактивний підхід. Вона була призначена як освітня платформа, але її технічні рішення стали проривними. PLATO мала перші у світі плазмові дисплеї з можливістю швидкої векторної графіки, підтримку пам'яті для зображень і нові методи відображення інформації. Це означало, що користувач отримував не просто текстовий інтерфейс, а й візуальні елементи. Система продемонструвала, що операційна система може бути основою для інтерактивної взаємодії з користувачем, а не лише інструментом виконання розрахунків.

Важливим етапом стало створення у 1969 році **UNIX** у Bell Labs. На відміну від попередніх ОС, які були «заточені» під конкретні машини, UNIX пропонувала універсальність і гнучкість. Вона ввела ієрархічну файлову систему, що дозволяла безмежно вкладати папки одна в одну, розглядаючи все як файл — і дані, і пристрої.

Це суттєво спростило управління. UNIX активно використовувала текстові конфігураційні файли, що дало змогу легко налаштовувати систему. Її модульність і утилітарний підхід (коли кожна маленька програма виконує одну функцію) стали основою для цілої філософії в інформатиці. Важливим нововведенням стала підтримка багатозадачності та багатокористувацької

роботи, що перетворило комп'ютер із індивідуального інструмента на спільний ресурс [7].

IV покоління (з 1980 р. – тепер). Поява великих інтегральних схем і мікропроцесорів дала змогу створити персональні комп'ютери. ОС стали масовими, орієнтованими на зручність користувачів. Сформувався концепція віртуальних машин і віртуальних ресурсів, що визначає роботу сучасних систем [4].

У 1980-х роках масовим рішенням для персональних комп'ютерів стала **MS-DOS**. Вона була комерційною системою компанії Microsoft для IBM PC-сумісних машин і працювала в однозадачному режимі. Головна новизна полягала в простоті: користувачі могли взаємодіяти через командний рядок, що було зрозуміло навіть без глибоких знань архітектури комп'ютера. MS-DOS швидко поширилася разом із персональними комп'ютерами, заклавши основу масового ринку ОС. Проте її обмеження, зокрема неможливість одночасного запуску кількох програм і відсутність графіки, з часом стали стимулом для подальших інновацій [10].

Сучасний етап характеризується інтеграцією ОС у глобальні обчислювальні системи та мобільні пристрої [2].

Операційні системи четвертого покоління персональних комп'ютерів поступово еволюціонували від найпростіших однокористувацьких рішень до складних багатозадачних систем із розвинутим програмним забезпеченням.

На початковому етапі розвиток обчислювальної техніки вимагав простих ОС, здатних лише завантажити одну програму в оперативну пам'ять і забезпечити її виконання. У складі ядра таких систем містилися лише елементарні програми для організації взаємодії з клавіатурою, екраном та накопичувачем. Вони не передбачали захисту пам'яті чи багатозадачності, що було цілком зрозумілим: апаратна база перших персональних комп'ютерів складалася з невеликого мікропроцесора і мінімальної кількості оперативної пам'яті, чого вистачало лише для виконання однієї програми користувача. Подібні ОС забезпечували лише базові функції — запуск програми, читання та запис файлів на носії, друк результатів. З поширенням більш потужних процесорів і появою оперативної пам'яті більшої ємності почали формуватися інструментальні однокористувацькі операційні системи. Вони вже містили не лише прості програми, а й розвинені модулі керування периферійними пристроями та файловою системою. Користувач отримував змогу зберігати дані у структурованій формі, працювати з кількома типами зовнішніх пристроїв, а також використовувати системне програмне забезпечення, яке полегшувало розробку і виконання прикладних програм. Такі ОС можна вважати перехідним етапом, адже вони ще залишалися орієнтованими на одного користувача, проте давали набагато ширші можливості, ніж їхні

попередниці. Подальший розвиток техніки і зростання вимог до обчислювальних ресурсів призвели до створення багатокористувацьких і багатозадачних операційних систем. Вони орієнтувалися на високопродуктивні комп'ютери, здатні одночасно виконувати кілька завдань і забезпечувати доступ багатьом користувачам. Архітектура таких систем передбачала складний механізм керування процесами, пам'яттю та ресурсами вводу-виводу, що дозволяло ефективно розподіляти навантаження і гарантувати безпечний паралельний доступ до даних. У межах цих ОС був створений великий фонд системного програмного забезпечення, що включав компілятори, бібліотеки, редактори, утиліти та інші інструменти, без яких неможлива була продуктивна робота програмістів і кінцевих користувачів. Саме багатозадачні та багатокористувацькі системи заклали основу сучасних операційних платформ, у яких поєднуються принципи універсальності, масштабованості та багатофункціональності [5].

Таблиця 1

Основні характеристики групи операційних систем 4 покоління

Група ОС	Характеристика	Типові можливості	Сфера застосування
Найпростіші однокористувацькі ОС	Орієнтовані на роботу лише одного користувача; в оперативній пам'яті може перебувати тільки одна програма; ядро складається з елементарних модулів	Завантаження та виконання програми, робота з файлами на носіях, базова взаємодія з периферійними пристроями	Перші персональні комп'ютери з обмеженими ресурсами (ранні 1980-ті роки)
Інструментальні однокористувацькі ОС	Використовують оперативну пам'ять більшої ємності; ядро включає драйвери для керування периферійними пристроями та файлову систему; наявність системного ПЗ	Структуроване збереження даних, керування пристроями, використання компіляторів, редакторів і утиліт	Персональні комп'ютери середнього рівня продуктивності, орієнтація на індивідуальну роботу програмістів і користувачів
Багатокористувацькі і багатозадачні ОС	Орієнтовані на високо-продуктивні машини; забезпечують одночасне виконання багатьох процесів і підтримку багатьох користувачів; розвинуте керування пам'яттю та ресурсами	Багатозадачність, багатокористувацький доступ, мережеві можливості, захист даних, великий комплекс системного та прикладного ПЗ	Потужні персональні комп'ютери, робочі станції та сервери; сучасні універсальні ОС

Примітка: систематизовано на основі джерела [5]

Перша версія операційної системи для комп'ютерів Apple Macintosh, відома як System 1, була випущена 24 січня 1984 року одночасно з дебютом першого Macintosh. Вона стала однією з перших ОС із графічним інтерфейсом користувача, що використовував вікна, меню, піктограми та мишу замість текстових команд, і започаткувала нову еру зручності взаємодії з комп'ютером. Надалі система еволюціонувала: у 1997 році з'явилися Mac OS 8 і 9, а з 2001 року — Mac OS X, що згодом була перейменована на macOS.

Windows вперше вийшла у 1985 році як графічна оболонка над DOS. Хоча перші версії не мали успіху, вже з Windows 3.1 у 1992 році користувачі отримали зручну багатовіконну графічну систему з підтримкою 32-бітного доступу до диска. Windows радикально спростила взаємодію з комп'ютером: користувач перестав бачити системні файли, отримав інтерфейс із вікнами, значками та меню. Windows 95 інтегрувала Інтернет, Windows XP закріпила багатозадачність і стабільність, а Windows Vista та Windows 7 показали розвиток графічного середовища та безпеки. Windows 8 і пізніші версії поєднали традиційні ПК з мобільними пристроями, зробивши систему універсальною платформою [10].

У 1991 році Лінус Торвалдс створив Linux, натхненний ідеями Unix. Його головна особливість — відкритий код і спільна розробка тисячами програмістів. Спочатку система орієнтувалася на процесори Intel, але швидко була перенесена на інші архітектури, зокрема ARM. Це дозволило Linux вийти за межі серверів і ПК, ставши основою мобільних та вбудованих пристроїв [7].

Розглянемо ключові відмінності цих операційних систем, які встановлені на ПК по всьому світу до тепер.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика операційних систем

Аспекти	ОС Windows	macOS	ОС на базі Linux
Розробник	Microsoft	Apple	Спільнота розробників (The Linux Foundation)
Модель вихідного коду	Закрита (пропріетарна)	Закрита (пропріетарна)	Відкрите ПЗ (залежить від дистрибутива)
Можливість налаштування	Обмежені можливості	Обмежені можливості	Висока гнучкість (можна змінювати вихідний код, зокрема ядро)

Аспекти	ОС Windows	macOS	ОС на базі Linux
Інтерфейс користувача	Графічний (Провідник, Панель завдань тощо), CLI (CMD)	Графічний (Dock, Finder, Mission Control), CLI (Термінал)	Графічний (GNOME, XFCE, KDE), CLI (Термінал)
Безпека	Схильна до вірусів і зловмисного ПЗ	Більш безпечна завдяки контролю та системі дозволів	Високий рівень безпеки завдяки відкритості коду та гнучкій системі дозволів
Продуктивність	Оптимізована для пересічних користувачів, але може сповільнюватись з часом	Оптимізована для пристроїв Apple, висока продуктивність	Дуже легка, виконує завдання ефективно
Сумісність з апаратним забезпеченням	Працює з багатьма пристроями	Працює лише з пристроями Apple	Працює практично на будь-якому обладнанні, навіть із мінімальними вимогами
Вартість	Платна (ліцензія)	Платна (входить у вартість пристрою)	Безкоштовна (вільне розповсюдження)
Цільові користувачі та сфери застосування	Пересічні користувачі, офісна робота, ігри	Креативні та офісні користувачі	Розробники, програмісти, серверні системи, корпоративне використання
Приклади ОС	Windows 7, Windows 10, Windows 11	macOS Cheetah, macOS Puma	Ubuntu, Kali Linux, Debian тощо

Примітка: систематизовано на основі джерела [12]

З появою штучного інтелекту, хмарних обчислень, мобільних технологій і квантових мереж формується новий етап розвитку операційних систем, який якісно відрізняється від усіх попередніх етапів. Хоча цей етап ще не має усталеної назви, очевидно, що його визначальними складовими стануть інтелектуалізація обробки даних, інтеграція з розподіленими хмарними

інфраструктурами, підтримка гібридних класично-квантових обчислень, мобільність, контекстна адаптивність і тісна взаємодія з глобальними мережами та сенсорними середовищами в режимі реального часу.

З поширенням смартфонів виник окремий клас — **мобільні ОС**. У 2007 році Apple представила iOS, яка одразу задала стандарт сенсорної взаємодії. Вона інтегрувала браузер Safari, віртуальну клавіатуру та голосові сервіси. У 2008 році Google випустила Android — відкриту систему на основі ядра Linux. Вона була простішою у налаштуванні, ніж iOS, і стала домінуючою завдяки гнучкості та підтримці великої кількості пристроїв. Новизна мобільних ОС у тому, що вони об'єднали телефон і комп'ютер в одному пристрої, зробивши доступ до Інтернету та застосунків повсюдним [10].

Хмарні ОС сформувалися на початку **2000-х років** у контексті розвитку *cloud computing*, коли зросла потреба в централізованому зберіганні даних та масштабованих обчислювальних потужностях. Вони ґрунтуються на використанні віддалених дата-центрів, що надають ресурси у вигляді сервісів через Інтернет. Одним із перших масових прикладів стала **Microsoft Windows Azure** (2008), яка запропонувала модель “ОС у хмарі”. У 2009 році компанія Google презентувала **Chrome OS**, орієнтовану на вебсервіси й інтегровану з усіма продуктами Google. Паралельно Apple розвивала **iOS з підтримкою iCloud** (2011), що дало змогу користувачам зберігати та синхронізувати дані безпосередньо в хмарі. Хмарні ОС мають на меті не лише замінити локальні обчислення, а й надати універсальний доступ до застосунків та файлів із будь-якого пристрою, знижуючи залежність від потужності власного апаратного забезпечення [3].

Поява віртуальних ОС датується **серединою 2000-х років**, коли розробники почали створювати браузерні середовища, що імітували традиційні настільні операційні системи. Першою вважається **eyeOS** (2005), яка пропонувала понад 70 вбудованих вебзастосунків і була поширена як open-source. У 2007 році з'явилася **iCloud** (пізніше придбана Apple), яка запропонувала робочий простір із синхронізацією пристроїв. Далі розвивалися **Cloudo**, **ZeroPC** (одна з найбільш функціональних систем із підтримкою соцмереж і мобільних застосунків), **iSpaces** (інтеграція з Dropbox та Box), **ZimDesk** (гнучке налаштування інтерфейсу) та **Joli OS** (на базі Ubuntu). Такі системи створювали ілюзію повноцінної ОС у браузері, дозволяючи користувачу працювати на будь-якому пристрої з доступом до Інтернету. Їхній розвиток припав на **2005–2010-ті роки**, але поступово багато з них втратили актуальність через домінування потужніших хмарних платформ [3].

Початок 2020-х років ознаменувався активною інтеграцією штучного інтелекту в операційні системи. Цей етап відзначився появою нових комерційних ОС, таких як Windows 11, у якій на рівні системного середовища

реалізовано інструменти та функції, керовані алгоритмами машинного навчання. Вони автоматизують взаємодію з користувачем, адаптують інтерфейс до індивідуальних потреб, а також забезпечують інтелектуальний аналіз контенту, управління задачами та оптимізацію системних ресурсів. У цьому ж періоді Linux закріпився як критично важлива основа для промислових і наукових застосувань, зокрема у сфері хмарних технологій, серверної інфраструктури, IoT-платформ і систем штучного інтелекту. Його гнучкість, відкритість та здатність до глибокої модифікації зробили Linux ключовим інструментом у високотехнологічних середовищах [12].

Наступний етап пов'язаний із подальшою еволюцією концепції операційних систем у бік розподілених хмарних платформ, що поєднують обчислювальні ресурси та інтерфейси через мережу. Сучасні ОС стали не лише локальним інструментом, а й сервісною моделлю — користувач може отримати доступ до повноцінного операційного середовища з будь-якої точки світу через хмарні сервіси. Такі системи мають вбудовані AI-модулі, які забезпечують інтелектуальну підтримку користувача, оптимізують продуктивність, здійснюють передбачення дій та автоматизацію рутинних процесів. Ефективність, масштабованість та динамічна адаптація стали домінуючими характеристиками сучасних ОС, що відповідають запитам як індивідуального користувача, так і корпоративного сектору [12].

Операційні системи майбутнього, зокрема для квантових мереж, спрямовані на створення гібридного середовища, яке поєднує класичні та квантові обчислення, забезпечуючи зручний інтерфейс для користувачів без глибоких знань у сфері квантової інформації. Прикладом такої системи є QNodeOS, розроблена дослідниками з Нідерландів, Австрії та Франції під керівництвом Стефані Вегенер. Ця система дозволяє виконувати високорівневі програми, що об'єднують класичну обробку даних і квантові операції, такі як реалізація квантових гейтів або генерація заплутаності. QNodeOS підтримує роботу з різними типами квантового обладнання, включно з квітами на основі азот-вакансій у алмазі та захопленими іонами, і демонструє багатозадачність шляхом одночасного виконання кількох програм. Таким чином, ця система є важливим кроком у напрямку створення операційного середовища для квантового Інтернету та подальшого розвитку квантових мереж [11].

Висновки. Еволюція операційних систем проходила через кілька визначальних етапів. На ранніх етапах (1945–1980) відбувся перехід від відсутності ОС до створення перших систем пакетної обробки, а згодом — до багатозадачних і багатокористувацьких систем. Упродовж цього періоду операційні системи еволюціонували від ручного керування до автономних засобів планування й керування ресурсами, що заклали основи сучасної архітектури ОС.

Четвертий етап, який триває й досі, став якісним проривом у розвитку ОС, охопивши персональні комп'ютери, мобільні пристрої, серверні системи та хмарні обчислення. Операційні системи цього періоду забезпечують багато-задачність, мережеву взаємодію, інтерактивну роботу, високий рівень безпеки та підтримку різноманітних апаратних платформ. Вони стали універсальним інструментом як для повсякденних користувачів, так і для критичних наукових та інженерних застосувань. Windows, macOS і Linux сформували сучасний ринок ОС, кожна з яких демонструє різні підходи до архітектури, інтерфейсу та моделі розповсюдження, а їх еволюція відбувається в напрямі інтеграції з мережею, хмарними сервісами й мобільним середовищем.

Сучасні операційні системи функціонують у контексті розподілених хмарних платформ, широкої мобільності, сервісної моделі доступу, а також гнучкої взаємодії з користувачем у режимі реального часу. Вони поєднують в собі масштабованість, адаптивність, інтелектуальну підтримку й універсальність середовища. Однак поява новітніх технологій — штучного інтелекту, квантових обчислень, сенсорних мереж, хмарно-орієнтованої інфраструктури — вказує на перспективу якісного зрушення. Імовірно, саме ці фактори зумовлять формування нового, принципово відмінного етапу еволюції операційних систем, революційного за своєю природою та призначенням.

Література:

1. Авраменко В.С., Авраменко А.С. Основи операційних систем. Навчальний посібник. Черкаси: ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2018, 524 с. URL: <https://eprints.cdu.edu.ua/1480/1/osnovu.pdf>

2. Еволюція ОС. [cusu.edu.ua](https://wiki.cusu.edu.ua/index.php/%D0%95%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D1%96%D1%8F_%D0%9E%D0%A1), 2024. URL: https://wiki.cusu.edu.ua/index.php/%D0%95%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D1%96%D1%8F_%D0%9E%D0%A1

3. Левченко Л.О., Тарнавський Ю.А. Операційні системи. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023, 256 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/e8b6f0e6-9381-4aeb-b699-dfccc92edddb/content>

4. Мосіюк О.О., Федорчук А.Л. Операційні системи та системне програмування: навчально-методичний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2022. 76 с. URL: https://eprints.zu.edu.ua/33751/1/OS_ost_Feb_04.pdf

5. Основні концепції, еволюція, різновиди операційних систем. [Wunu.edu.ua](https://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/9093/1/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97.pdf), 2024. URL: <https://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/9093/1/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97.pdf>

6. Погребняк Б.І., Булаєнко М.В. Операційні системи. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018, 104 с. URL: https://eprints.kname.edu.ua/51761/1/2017%D0%BF%D0%B5%D1%87.%2050%D0%9D%20%D0%9E%D0%A1_%D0%A3%D0%9F_%D0%9A%D0%9D_ua.doc.pdf

7. Розвиток операційних систем від UNIX та BSD до Linux. acode.com.ua, б.р. URL: <https://acode.com.ua/evolution-from-unix-and-bsd-to-linux/>

8. Типи операційних систем та їх повна історія. [redeweb.com](https://www.redeweb.com), 2021. URL: <https://www.redeweb.com/uk/%D1%81%D1%8C%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F/%D0%9E%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%>

D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0-%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0/

9. Федотова-Півень І.М., Миронець І.В., Півень О.Б., Сисоєнко С.В., Миронюк Т.В. Операційні системи. Черкаський державний технологічний університет, Харків: ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2019, 216 с. URL: https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/1041/1/%D0%9E%D0%9F%D0%95%D0%A0%D0%90%D0%A6%D0%86%D0%99%D0%9D%D0%86%20%D0%A1%D0%98%D0%A1%D0%A2%D0%95%D0%9C%D0%98_%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D1%87.%D0%BF%D0%BE%D1%81..pdf

10. Эволюция операционных систем или как это было и как будет. habr.com, б.р. URL: <https://habr.com/en/sandbox/63209/>

11. Johnston H. Operating system for quantum networks is a first. Physics World, 2025. URL: <https://physicsworld.com/a/operating-system-for-quantum-networks-is-a-first/>

12. Rawat V. A brief study on operating systems along with their history, types, working, challenges and advancements. 2025. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15869774>

References:

1. Avramenko, V.S., & Avramenko, A.S. (2018). Osnovy operatsiinykh system. Navchalnyi posibnyk [Fundamentals of operating systems. Textbook]. Cherkasy: ChNU imeni Bohdana Khmelnytskoho, 524 s. URL: <https://eprints.cdu.edu.ua/1480/1/osnovu.pdf> [In Ukrainian].

2. Evoliutsiia OS [Evolution of operating systems]. (2024). cusu.edu.ua. URL: https://wiki.cusu.edu.ua/index.php/%D0%95%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D1%96%D1%8F_%D0%9E%D0%A1 [In Ukrainian].

3. Levchenko, L.O., & Tarnavskiy, Yu.A. (2023). Operatsiini systemy [Operating systems]. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 256 s. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/e8b6f0e6-9381-4aeb-b699-dfccc92edddb/content> [In Ukrainian].

4. Mosiuk, O.O., & Fedorchuk, A.L. (2022). Operatsiini systemy ta systemne prohramuvannia: navchalno-metodychnyi posibnyk [Operating systems and system programming: teaching-methodical manual]. Zhytomyr: Vyd-vo ZhDU im. Ivana Franka, 76 s. URL: https://eprints.zu.edu.ua/33751/1/OS_ost_Feb_04.pdf [In Ukrainian].

5. Osnovni kontseptsii, evoliutsiia, riznovydy operatsiinykh system [Basic concepts, evolution, types of operating systems]. (2024). wunu.edu.ua. URL: <https://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/9093/1/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97.pdf> [In Ukrainian].

6. Pohrebniak, B.I., & Bulaienko, M.V. (2018). Operatsiini systemy [Operating systems]. Kharkiv: KhNUMH im. O.M. Beketova, 104 s. URL: https://eprints.kname.edu.ua/51761/1/2017%20%D0%BF%D0%B5%D1%87.%2050%D0%9D%20%D0%9E%D0%A1_%D0%A3%D0%9F_%D0%9A%D0%9D_ua.doc.pdf [In Ukrainian].

7. Rozvytok operatsiinykh system vid UNIX ta BSD do Linux [The development of operating systems from UNIX and BSD to Linux]. (n.d.). acode.com.ua. URL: <https://acode.com.ua/evolution-from-unix-and-bsd-to-linux/> [In Ukrainian].

8. Typy operatsiinykh system ta yikh povna istoriia [Types of operating systems and their complete history]. (2021). redeweb.com. URL: <https://www.redeweb.com/uk/%D1%81%D1%8C%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F/%D0%9E%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0-%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0/> [In Ukrainian].

9. Fedotova-Piven, I.M., Myronets, I.V., Piven, O.B., Sysoienko, S.V., & Myroniuk, T.V. (2019). Operatsiini systemy [Operating systems]. Cherkaskyi derzhavnyi tekhnolohichnyi universytet. Kharkiv: TOV "DISA PLIUS", 216 s. URL: https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/1041/1/%D0%9E%D0%9F%D0%95%D0%A0%D0%90%D0%A6%D0%86%D0%99%D0%9D%D0%86%20%D0%A1%D0%98%D0%A1%D0%A2%D0%95%D0%9C%D0%98_%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D1%87.%D0%BF%D0%BE%D1%81..pdf [In Ukrainian].
10. Evoliutsiia operatsionnykh sistem ili kak eto bylo i kak budet [The evolution of operating systems or how it was and how it will be]. (n.d.). habr.com. URL: <https://habr.com/en/sandbox/63209/> [In English].
11. Johnston, H. (2025). Operating system for quantum networks is a first. Physics World. URL: <https://physicsworld.com/a/operating-system-for-quantum-networks-is-a-first/> [In English].
12. Rawat, V. (2025). A brief study on operating systems along with their history, types, working, challenges and advancements. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15869774> [In English].