

Р.Рикалюк

# **АРХІТЕКТУРА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ**

Тексти лекцій

Львів-2015

## Список рекомендованої літератури:

1. Бройдо В.Л., Ильина О.П. Архитектура ЭВМ и систем: Учебник. – СПб.: Питер, 2009. – 720 с.
2. Воробйова О.М., Иванченко В.Д. Основы схемотехники: Навч. посібник. У 2-х ч. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. – Ч. 2. –172 с.
3. Горбунов В.Л., Панфилов Д.И., Преснухин Д.Л. Справочное пособие по микропроцессорам и микроЭВМ. – М., 1988.
4. Гук М. Аппаратные средства IBM PC. Энциклопедия 3-е изд – СПб.,: Питер, 2006. - 1072 с: ил..
5. Жмакин А.П. Архитектура ЭВМ: Учебник. – СПб.: ВHV-Петербург, 2006. – 320 с.
6. Злобін Г.Г, Рикалюк Р.Є. Архітектура та апаратне забезпечення ПЕОМ: Навч.посіб. –К., 2006., -К.,2012.
7. Енциклопедія кібернетики у 2 т. – К., 1977.
8. Каган Б.М. Электронные вычислительные машины и системы. – М., 1991.
9. Колодницький М.М. Технічне та програмне забезпечення комп'ютерних інформаційних технологій. – Житомир, 1995.
10. Кравчук С.О., Шонін В.О. Основы комп'ютерної техніки: Навч. посібн. – К.: Каравела, 2008. – 344 с.
11. Ланцов А.Л., Зворыкин Л.Н., Осипов И.Ф. Цифровые устройства на комплементарных МПД интегральных микросхемах. – М., 1983.
12. Локазюк В.М. Мікропроцесори та мікроЕОМ у виробничих системах. – К., 2002.

13. *Мельник А.О.* Архітектура комп'ютера. – Луцьк: Волинська обласна друкарня, 2008. – 470 с.
14. *Мячев А.А., Степанов В.Н.* Персональные ЭВМ и микроЭВМ. Основы организации: Справочник. – М., 1991.
15. *Рикалюк Р.Є.* Архітектура комп'ютерів.Текст лекцій – Львів, 2002.
16. *Смирнов А.Д.,* Архитектура вычислительных систем. – М., 1990.
17. *Таненбаум Э.* Архитектура компьютера. – 5-е изд. - СПб.: Питер, 2007. — 844 с..
18. Толковый словарь по вычислительным системам / Под ред. В. Иллинуорта. – М., 1991.
19. *Дэвид М. Харрис и Сара Л. Харрис.* Цифровая схемотехника и архитектура компьютера/второе издание. - Morgan Kaufman/ © English Edition 2013.

## **ВСТУПНА ЛЕКЦІЯ. ПРИНЦИПИ фон-НЕЙМАНА.**

Мабуть у кожної людини, яка звернула погожого вечора погляд до неба, виникає зацікавлення, як усе це у Світі влаштовано, що так чітко функціонує. Сподіваємось, що не менша цікавість виникає у кожного, хто пізнав чи пізнає можливості сучасного комп'ютера, а особливо у майбутніх фахівців комп'ютерної справи. Мета цього курсу власне полягає у вивченні основ побудови сучасних комп'ютерних систем, принципів функціонування окремих вузлів та можливостей використання цих знань для програмування. Передусім варто ознайомитися з короткою історією розвитку обчислювальних машин. Вона сягає середньовіччя й умовно поділена на кілька напрямів.

### ***А. Механічні машини***

Зовсім недавно (1967р.) дослідники знайшли у щоденниках Леонардо да Вінчі (1452-1519) ескіз сумуючої машини на зубчатих колесах, спроможної додавати 13-розрядні десяткові числа. Спеціалісти IBM відтворили цей ескіз у металі і машина виявилась працездатною!

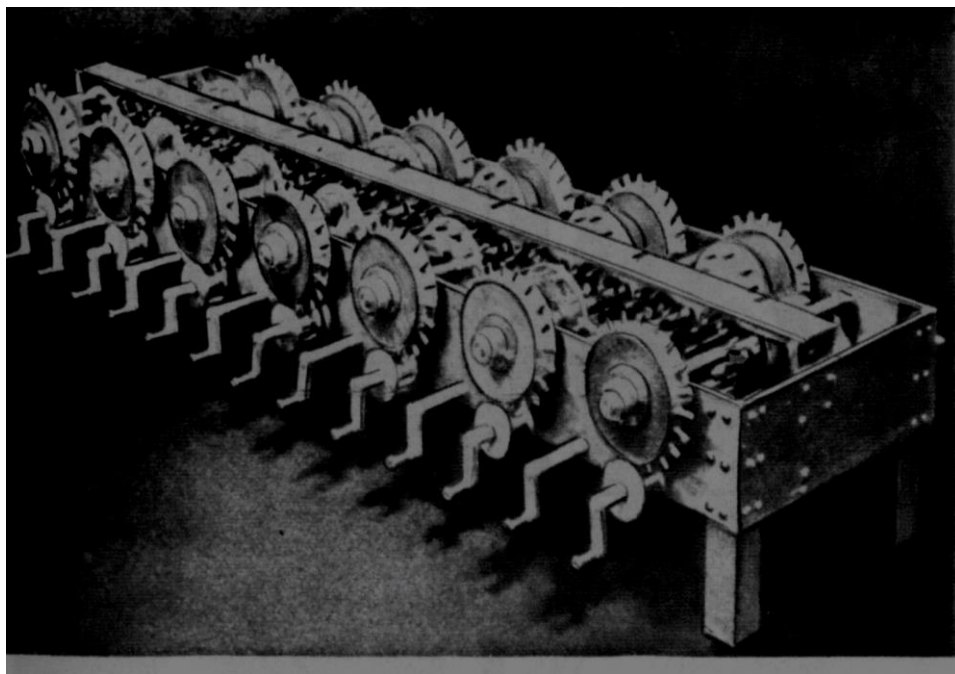


Рис.1.1. Сумуюча машина Леонардо да Вінчі

На початку 17-го сторіччя німецький вчений Вільгельм Шіккард (1592-1636) у листі Йоганну Кеплеру подає малюнок лічильної машини для сумування і множення 6-розрядних десяткових чисел. Про це також стало відомо у наші дні. У 1617 р. Джон Непер розробив дерев'яний арифмометр, однак найвідомішою стала обчислювальна машина Блеза Паскаля (1643-45), у якій йому вдалося розв'язати задачу перенесення десятків. Першу модель Б. Паскаль виготовив ще у 17-річному віці, а всього їх близько 50. Головна ідея механічної обчислювальної машини полягала у тому, що числа відображали за допомогою лічильних коліщаток або валиків з зубцями. Коліщаткам

надавали руху за допомогою конічних чи циліндричних зачеплень. Розряд фіксували за допомогою штифтів. Механізм перенесення розрядів працював подібно до того, як у механічному годиннику секундний механізм приводить у дію хвилинний.



Рис.1.2. Машина Паскаля

Машина Готфріда Вільгельма Лейбніца (1673) – це арифмометр на чотири дії, в основі якого був валик із зубцями (виконував додавання, множення і ділення 12-розрядних десяткових чисел).

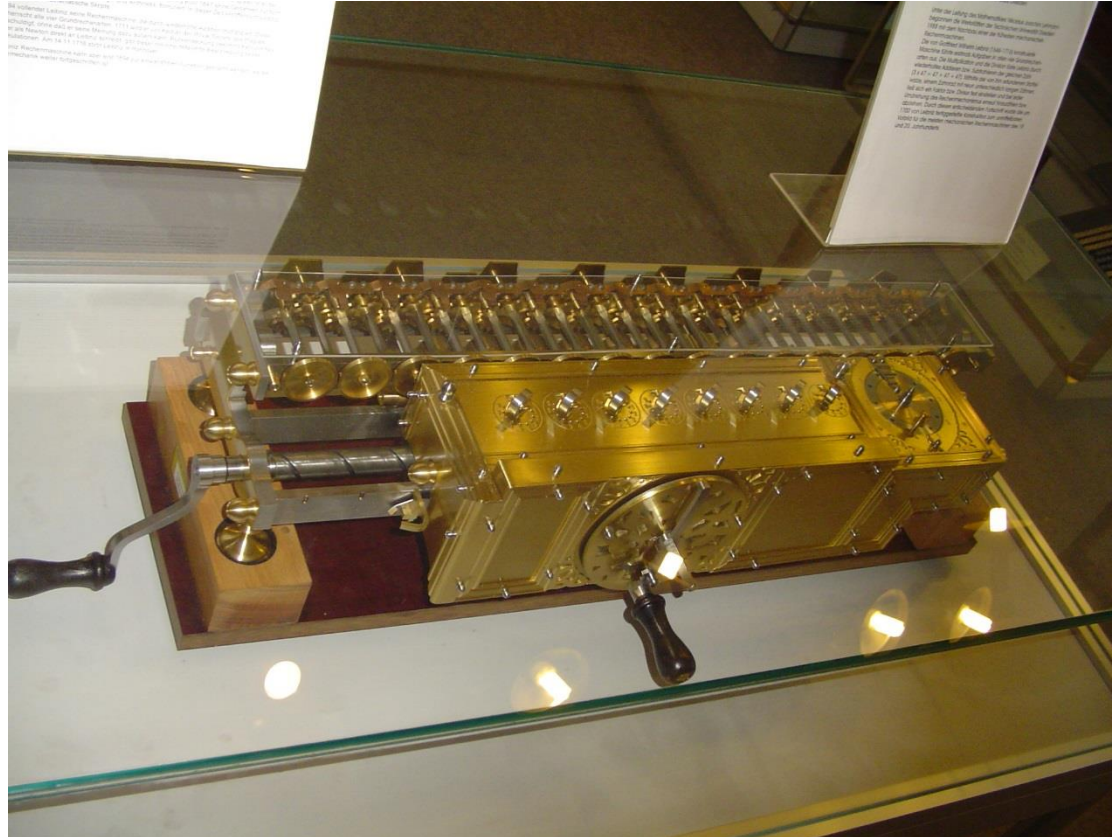


Рис.1.3. Машина Лейбніца (копія з Німецького музею).

Майже через століття з'явився суматор Є. Якобсона (1770). У Франції в 1799 р. Жозеф Марі Жакар винайшов ткацький верстат з перфокартами для задання узору — майже через два століття перфокарти масово використовувались для введення даних і програм в ЕОМ.

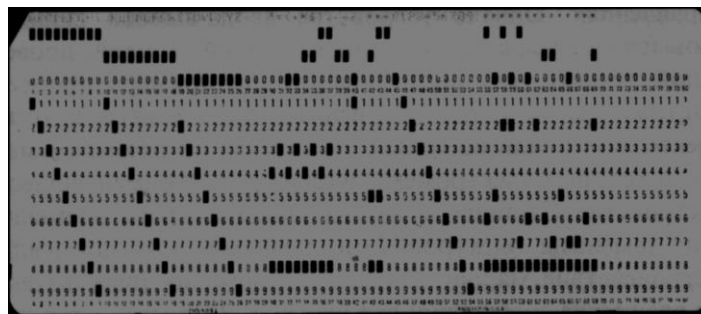


Рис.1.4. Перфокарта для ЕОМ серії ЕС-10хх

У 1885 р. Д. Фельт сконструював комптометр, у якому числа вводили з клавіатури, а у 1885 р. американець У. Берроуз в виготовив машину, яка друкувала вхідні дані та результати обчислень і у 1887 р. створив першу компанію з виробництва арифмометрів.

Епоха арифмометрів тривала досить довго. У 1709 р. Джованні Пелен сконструював колесо зі змінною кількістю зубців. Більше ніж через 150 років російський службовець В.Т.Однер (1876) удосконалив конструкцію колеса й такі арифмометри (старшому поколінню людей відомі під маркою “Фелікс”) випускали у колишньому СРСР з 1929 до 1978р. на заводах лічильних машин в Курську, Пензі і Москві.

Технологія арифмометрів була настільки добре відпрацьована, що були створені навіть кишенькові моделі





Рис.1.5. Арифмометр “Фелікс”

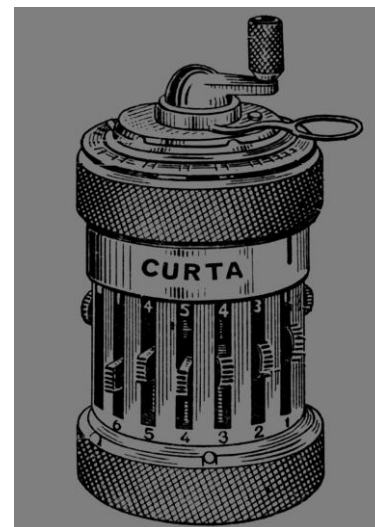


Рис.1.6. Кишеньковий арифмометр

### **Б. Аналогова техніка**

Ера механічних лічильних машин представлена не тільки дискретними механізмами, а й пристроями безперервної дії (аналоговими). У XIX ст. розроблено пристрої для вимірювання довжин (лонгиметри) та площ (планиметри). Цікавим і дуже важливим винаходом того часу був механічний інтегратор для розв'язування диференціальних рівнянь до четвертого порядку, який розроблений 1912 р. російським математиком та інженером О.М.Криловим.

на

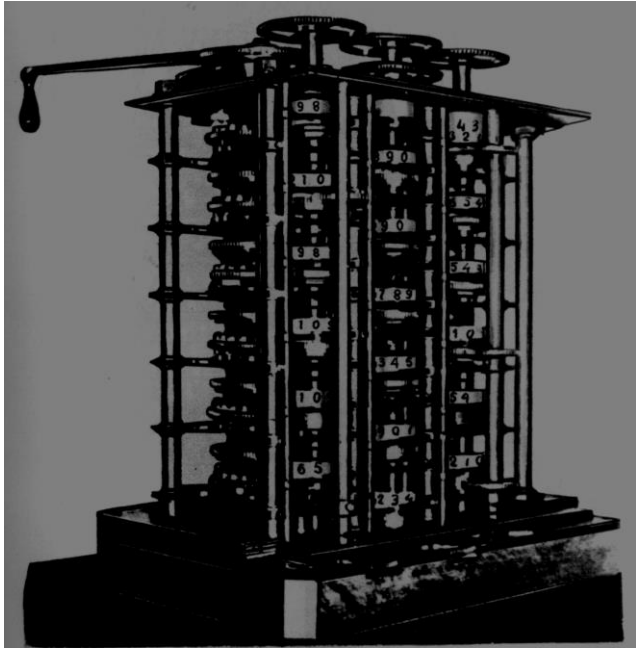


Суть машин безперервної дії полягає у зіставленні кожному миттєвому значенню змінної математичної величини, яка приймає участь у вихідних співвідношеннях, миттєвого значення іншої (машинної) величини. Часто ця машинна величина має іншу природу і потребує масштабного коефіцієнта. Кожний елемент аналогової машини виконує чітко визначену математичну операцію над машинними величинами. Цій операції відповідає певний фізичний закон, який задає математичні залежності між фізичними величинами виході і вході аналогового елемента (напр., закони Ома, Кірхгофа для електричних кіл).

Аналогова техніка розвивалася під впливом задач астрономії, балістики, навігації та ін. Найбільшого розвитку аналогові машини набули після відкриття та осмислення явищ електрики, особливо з розвитком електротехніки. Аналогові машини будували для реалізації сіткових моделей (у тому числі й економічних), для обчислення інтегралів, лінійних та нелінійних рівнянь тощо.

Рис.1.7. Польський аналоговий комп'ютер "АКАТ-1".

Для моделювання складних задач з підвищеною точністю використовували аналогово-цифрові обчислювальні системи, побудовані за принципом комбінування у єдиному комплексі аналогової та цифрової форми зображення даних.



### ***В. Лічильно-перфораційні машини***

Появу лічильно-перфораційних машин зумовила потреба опрацювання банківської та статистичної інформації. Заради справедливості необхідно зазначити, що піонером в автоматизації обчислень був відомий англійський учений Чарльз Бебедж, який запропонував ідею побудови обчислювальної машини для табулювання функцій за допомогою методу різниць. Бебедж у 1820 – 22 рр. власноручно виготовив модель такої машини, яка могла табулювати функцію з точністю до восьми знаків.

Рис.1.8. Різницева машина Бебеджа.

У 1888 р. американський інженер Герман Голлерит створив табулятор, у якому носієм інформації слугували перфокарти. Отвори на перфокартах пробивалися за допомогою електричного струму. Головна ідея Голлерита полягала у тому, що різні характеристики відображали отворами (пробивками) у певних місцях перфокарти. Цю ідею згодом використали у пристроях введення-виведення інформації цифрових обчислювальних машин. Електромеханічні табулятори застосовували ще донедавна (70-80-ті роки XX ст.). У 1920-1940 рр. зроблено успішні спроби застосувати лічильно-перфораційні машини для науково-технічних розрахунків.

### **Г. Електронно-обчислювальні машини (ЕОМ)**

Створенню першої електронної цифрової машини, безумовно, передувало опублікування 1854 р. відомим математиком Джорджем Булем теорії алгебри логіки, яку пізніше названо його іменем. Уже зазначено, що у 1882-83 рр. у Кембриджі Чарльз Бебедж розробив проект аналітичної машини, що містила такі складові, як арифметичний пристрій, пам'ять на 1000 п'ятидесятизначних десяткових чисел, програмний пристрій керування (програми готували на перфокартах). Машина обчислювала значення поліномів другого степеня з точністю до восьми знаків. Програми для машини Бебеджа та коментарі до неї склала леді Ада Лавлейс, дочка Джорджа Байрона; на честь цієї славної жінки названо одну з мов програмування – Ада.

У часи другої світової війни у Німеччині, Англії і США велися роботи по створенню обчислювальних пристроїв для військових потреб. У Німеччині в 1937 р. Конрад Цузе розробив механічну машину **Z1** (двійкова система числення, мантиса — 15 двійкових розрядів, порядок — 7 двійкових розрядів, оперативна пам'ять 64 слова, площа 2 кв.м.). У 1938р. **Z2** — додано пристрій вводу даних і програми з перфорованої кінострічки, а арифметичний пристрій був побудований на телефонних реле.

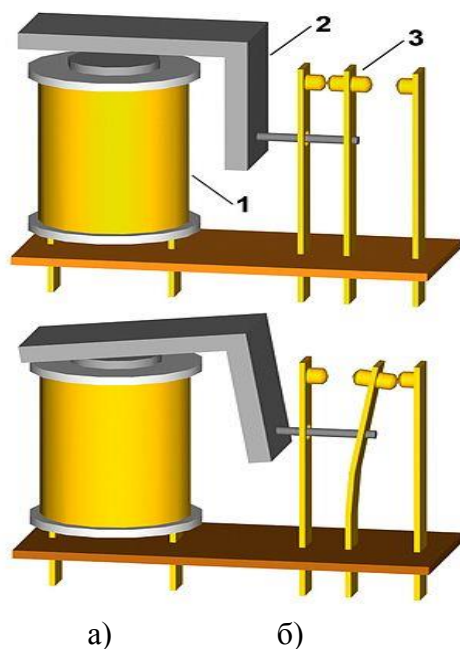


Рис.1.9. Реле — елементна база ЕОМ **Z1 - Z5**

а — через котушку реле струм не проходить, контакти розімкнені, б — через котушку реле проходить струм, контакти замкнені

У 1937 р. К. Цузе отримав німецький патент **Z23139/GMD Nr.005/021** на архітектуру обчислювача з двійковою системою числення. Обчислювач складався з процесора та оперативної пам'яті програм і даних. У 1941 р. була створена машина **Z3** (2000 реле), а у 1945 р. — **Z4**. Роботи К. Цузе були засекречені, про них довілися лише через кілька років після другої світової війни. Усього К. Цузе спроектував сім моделей ЕОМ (**Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z11, Z22**). ЕОМ **Z11** і **Z22** були побудовані на електровакуумних лампах, у 1961 р. під назвою **Z23** був реалізований напівпровідниковий варіант **Z22**.



а

б

Рис.1.10. ЕОМ, спроектовані Конрадом Цузе: а — релейна **Z4** (тактова частота 30 Гц, оперативна пам'ять 64 слова, довжина слова 32 біти, з них 24 біти — мантиса, 7 бітів — порядок числа, 1 біт — знак числа, вага 1000 кг, споживана потужність 4кВт, експонується в **Deutsches Museum** в Мюнхені), б — напівпровідникова **Z23** (2700 транзисторів, 6800 діодів, тактова частота 150 кГц, довжина слова 40 біт, два арифметико логічних пристрої [плаваючою комою і цілочисельний], вага 1000 кг, споживана потужність 3кВт).

Першу вдалу спробу побудувати універсальну цифрову машину зроблено у 1944 р. Це була машина МАРК-1, проєктована Говардом Айкеном (Ейкеном) у Гарвардському університеті і реалізована фірмою ІВМ. Елементна база — електромеханічні реле, розрядність — 23 десяткові числа. Швидкодія: операції додавання (віднімання) — 0,3 с, множення — 6 с, ділення — 11 с.

Головним недоліком релейних машин була їхня невисока швидкодія та відсутність збереженої у пам'яті програми. Тому їх дуже швидко витіснили електронні машини.

Ще у 1906 р. Лі Ді Форест розробив вакуумний тріод, а у 1918 р. професор М. А. Бонч-Бруєвич сконструював двостабільну електронну схему на двох вакуумних тріодах — тригер.

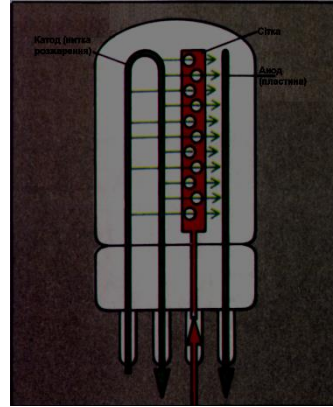


Рис. 1.11. Вакуумний тріод

Роботи зі створення першої обчислювальної машини на електронних елементах (лампах) розпочато у США на замовлення артилерійського управління для розрахунку балістичних таблиць. Це був проект ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), початий у 1943 р. і завершений у 1945 р. Джоном Мочлі та Преспером Екертом у Пенсільванському університеті.

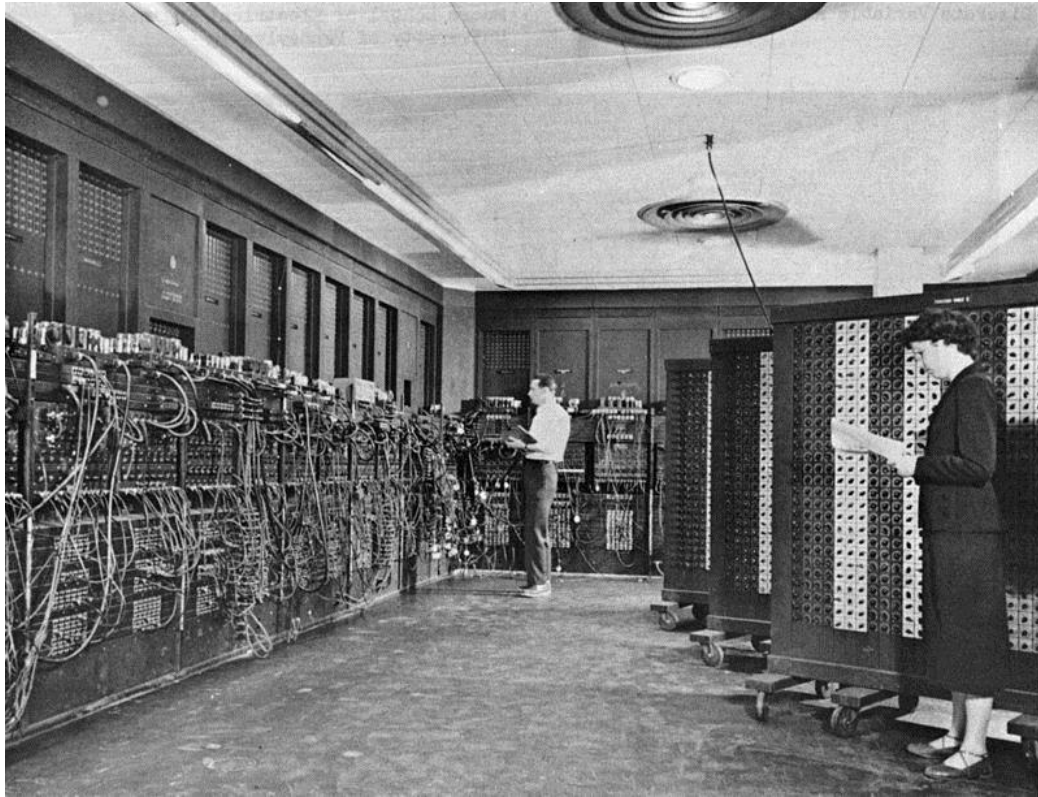


Рис. 1.14. ЕОМ **Еніак**

Замість реле конструктори використали тригери, збудовані на електронних лампах. Машина складалася більше ніж з 18 тис. електронних ламп і 1500 реле, споживала потужність близько 150 кВт. Довжина слова – 11 десяткових розрядів. Швидкодія: операції додавання (віднімання) – 200 мкс, множення – 2,8 мс, ділення – 6,0 мс. Зазначимо, що Д. Мочлі і П. Еккерт конструювали машину, яка б запам'ятовувала програму.

Однак у процесі роботи виникли певні труднощі, і в 1945 р. до проекту було залучено відомого математика Джона фон

Неймана. Унаслідок співпраці у 1946 р. у науковій статті Неймана, Голдстайна і Бернса були викладені основні принципи побудови електронно-обчислювальних машин.



Це відомі нам *принципи фон Неймана*:

*А. Щодо пристроїв комп'ютера, то він повинен містити:*

- ☐ арифметико-логічний пристрій, який виконує арифметичні та логічні операції;
- ☐ пристрій керування, який організовує процес виконання програм;
- ☐ запам'ятовувальний пристрій, або пам'ять для зберігання програм і даних;
- ☐ зовнішні пристрої для введення і виведення інформації.

Ці пристрої повинні взаємодіяти між собою за такою схемою:



*Б. Щодо принципу функціонування комп'ютера:*

- програма розташовується у пам'яті, причому пам'ять повинна бути двох типів – швидка (оперативна) та повільніша (зовнішня);
- програмне керування виконанням завдань, тобто пристрій керування зчитує вміст комірки пам'яті, де є перша команда (інструкція), і організовує її виконання;
- наявність умовного переходу, що дає змогу змінювати послідовність виконання команд, розташованих у пам'яті підряд;
- для відображення інформації необхідно застосовувати двійкову систему числення.

Звичайно, що сучасні комп'ютери дещо відрізняються у побудові від наведених вище вимог. Наприклад, арифметико-логічний пристрій і пристрій керування об'єднано в один пристрій – центральний процесор. Крім цього, введено низку додаткових можливостей, зокрема переривання роботи процесора, паралельне опрацювання інструкцій та ін.

ЕОМ, у якій повністю втілено принципи фон Неймана, побудував англійський конструктор Моріс Уїлкс у 1949 р. (ЕДСАК) та 1952 р. (ЕДВАК). У цьому ж році Дж. Мочлі, Дж. Преспер Еккерт і Джон фон Нейман розпочали розробку нової машини — **ЕДВАК**.

Слід зауважити, що ще у 1941 р. Джон Атанасов і Кліффорд Беррі розробили проект електронної обчислювальної машини з двійковою системою числення і оперативною пам'яттю на конденсаторах (сучасна динамічна оперативна пам'ять є великим масивом мікроскопічних конденсаторів).

В Англії у 1936 р. Алан Тьюрінг запропонував теоретичні основи побудови обчислювальних машин (машина Тьюрінга), а у 1942-1943 рр. під керівництвом Алана Тьюрінга була створена спеціалізована електронна машина **Колосс** (2000 ламп) для розшифрування німецьких радіограм

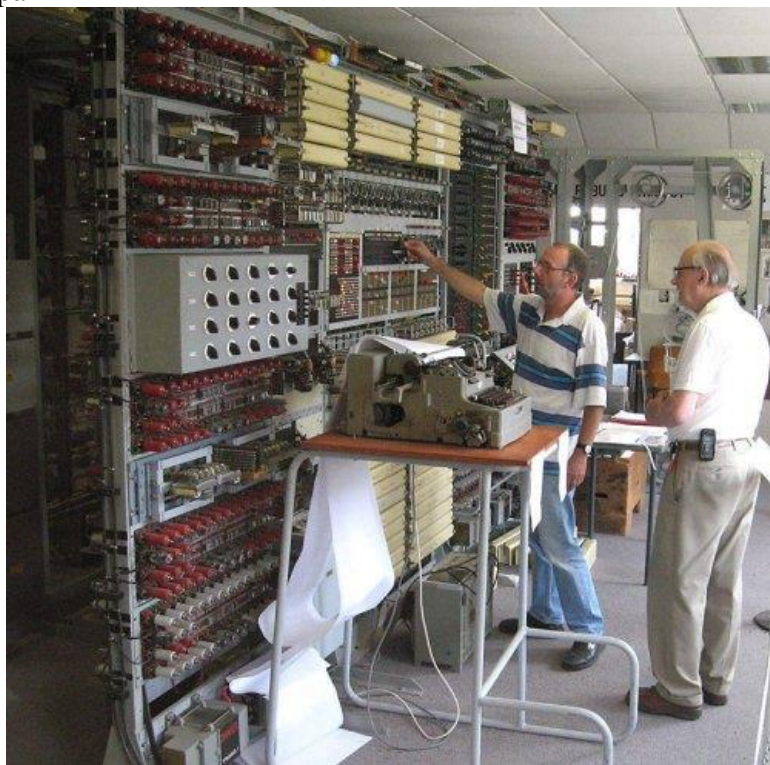


Рис.1.15. Спеціалізована машина **Колосс**

Окремо опишемо розвиток ЕОМ на теренах колишнього Радянського Союзу. У 1947 р. академік С.О.Лебедев очолив роботи з розробки ЕОМ (МЭСМ), яка повністю ґрунтувалась на принципах Неймана. Її дослідну експлуатацію розпочато 1950 р., а промислову – 1951 р. в Україні, в околицях Києва (Феофанія) [3, 8]. Це була ЕОМ першого покоління. Швидкодія такої машини становила 50 операцій за секунду. ЕОМ **МЕСМ** була створена незалежно від розробок західних вчених, адже усі роботи по розробці електронно-обчислювальних машин як у західних країнах, так і у СРСР були глибоко засекречені. Хронологічний список ЕОМ першого покоління виглядає приблизно так:

- 1952 р. – дослідний варіант ЕОМ БЭСМ (С.Лебедев). Швидкодія – 800 операцій за секунду. Оперативна пам'ять на ртутних лініях затримки;
- 1953 р. – БЭСМ (С.Лебедев, М.Сулим, В.Мельников). Швидкодія – 10 тис. операцій за секунду; “Стрела” (Ю.Базилевський) - триадресна ЕОМ;
- 1954 – 1957 рр. (Б.Рамеев) – “Урал”;
- 1958 р. (М.Бруснецов) – єдина у світі ЕОМ з використанням трійкової системи числення “Сетунь”;
- 1959 р. (Г.Лопато, М.Матюхін, І.Брук) – “Минск-1”;
- 1960 р. (С.Лебедев, М.Сулим, М.Шура-Бура та ін.) – М-20.

Швидкодія цих машин не перевищувала 20 тис. операцій за секунду, а ємність оперативної пам'яті – 1 Кбайт.

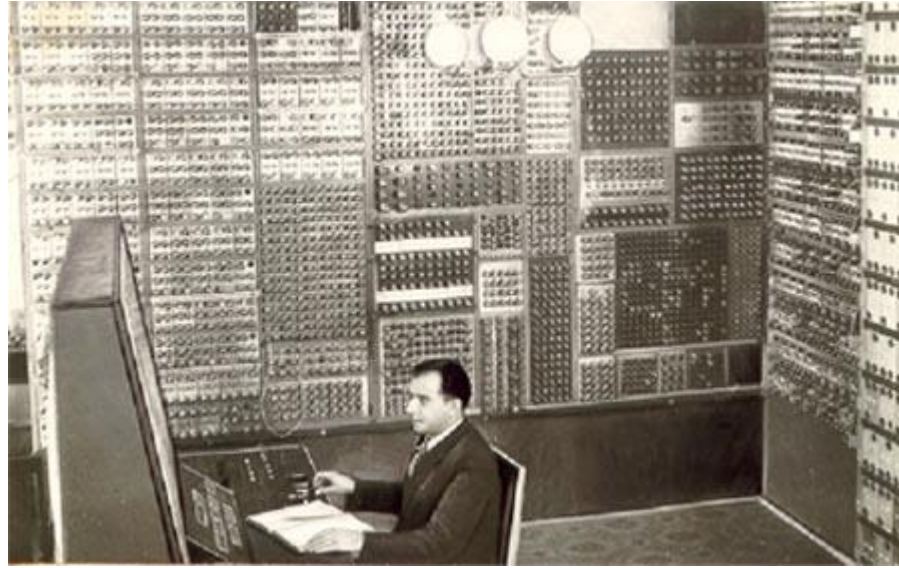


Рис.1.16. Електронно-обчислювальна машина МЕСМ За пультом В.Крайницький.

На цей час припадає становлення обчислювального центру Львівського національного університету імені Івана Франка, де у 1959-1960 рр. встановлено і введено в дію електронну обчислювальну машину "Урал-1". Це була перша машина такого класу на території Західної України. Швидкодія ЕОМ не перевищувала 100 операцій за секунду, а споживана потужність була близько 10 кВт [4].

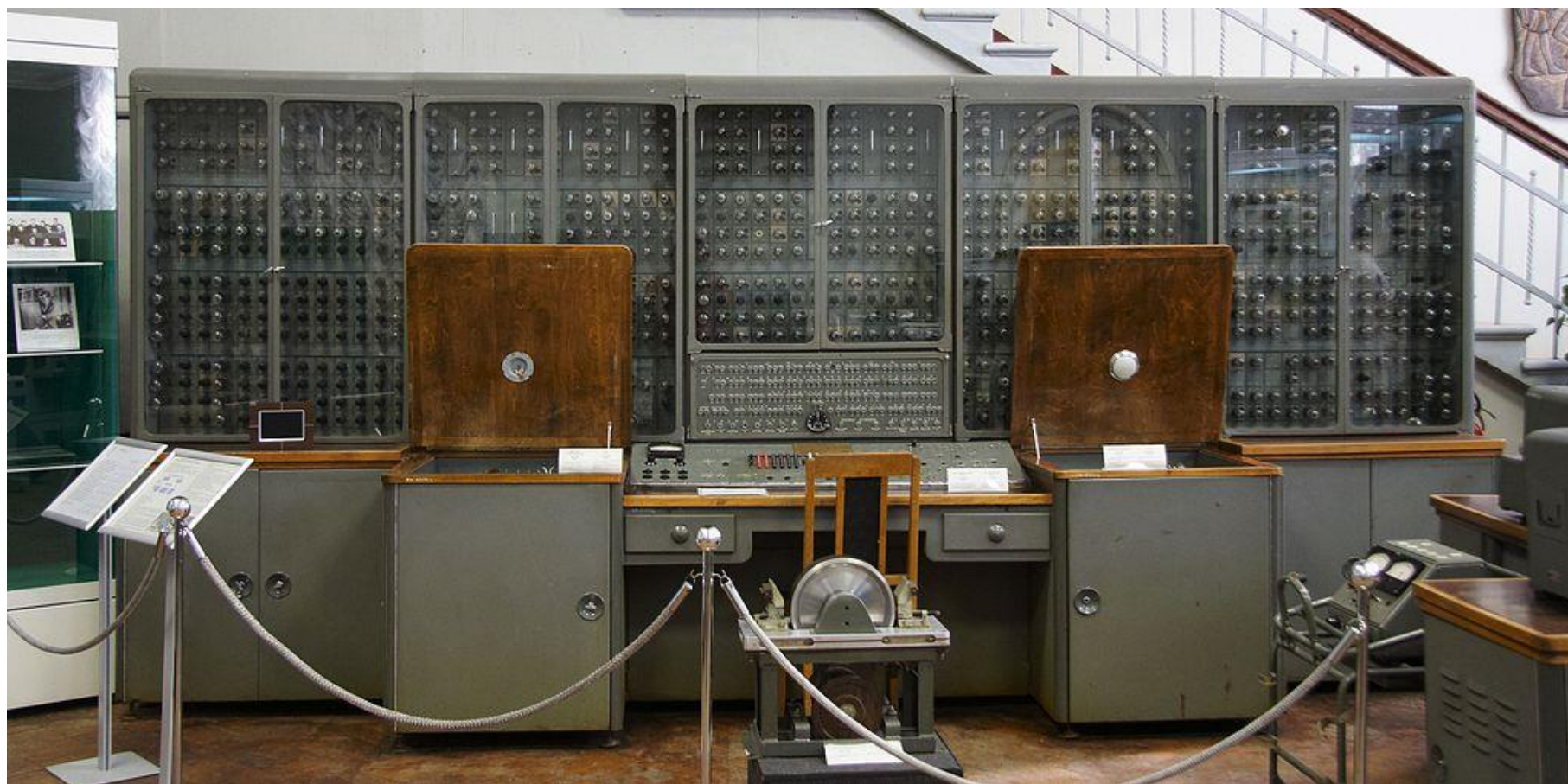


Рис. 1.17. ЕОМ “Урал-1”.



У 1947 р. Волтер Браттейн, Джон Бардін і Вільям Шоклі створили експериментальний зразок транзистора — основного елемента для ЕОМ II покоління.

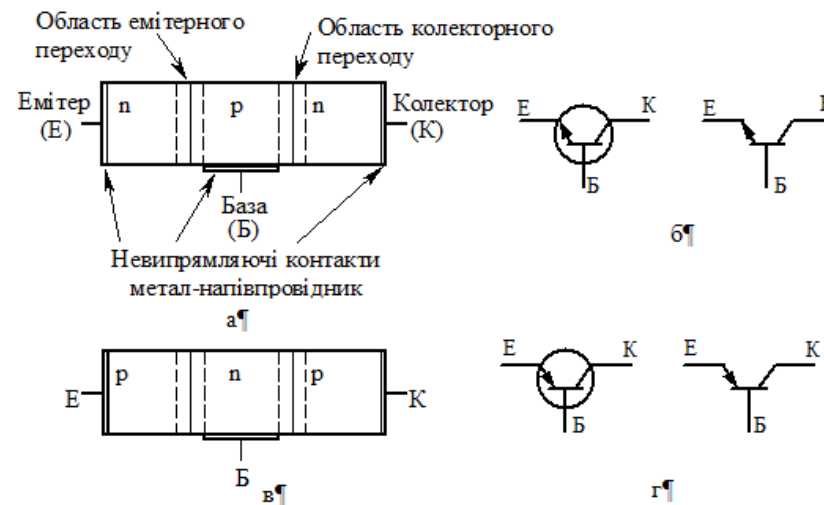
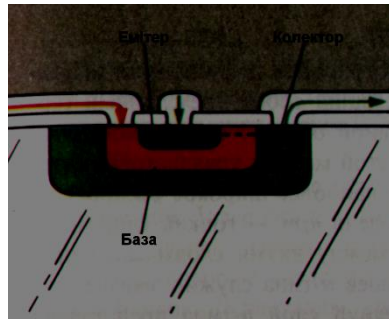


Рис.1.18. Транзистор — элементна база ЕОМ другого покоління

Початок другого покоління ЕОМ (напівпровідникова елементна база) умовно починається з вірменської розробки “Раздан-1”, яка з'явилася у промисловій експлуатації 1961 р. Після неї створено “Минск-2”, “Минск-22”, “Минск-32”, М-220, М-222, БЭСМ-4, Урал-11, -14, -15, -16, “Наири”, “Промінь”, “Мир-1”, “Мир-2”. Машина "Мир-2" мала вмонтовану мову програмування АНАЛІТИК, що давало змогу розв'язувати задачі в аналітичному вигляді. Швидкодія цих машин не перевищувала 80 тис. операцій за секунду (крім ЕОМ "БЭСМ-6") а ємність оперативної пам'яті була в межах 16–32 Кбайти. Завершує ряд ЕОМ другого покоління БЭСМ-6, яку випускали до 1981 р. Її швидкодія була 1 млн. операцій за секунду. Поряд з цими універсальними машинами розробляли низку ЕОМ для керування технологічними процесами (“Київ”, М-6000 та ін.) [5, 8].



Рис.1.19. ЕОМ БЭСМ-6.



В Україні роботи із створення ЕОМ продовжив В.М.Глушков, який після від'їзду С.О. Лебедєва в Москву очолив інститут кібернетики АН УРСР. Наступний короткий перелік (повний список розробок набагато більший) ілюструє розробки київського інституту кібернетики:

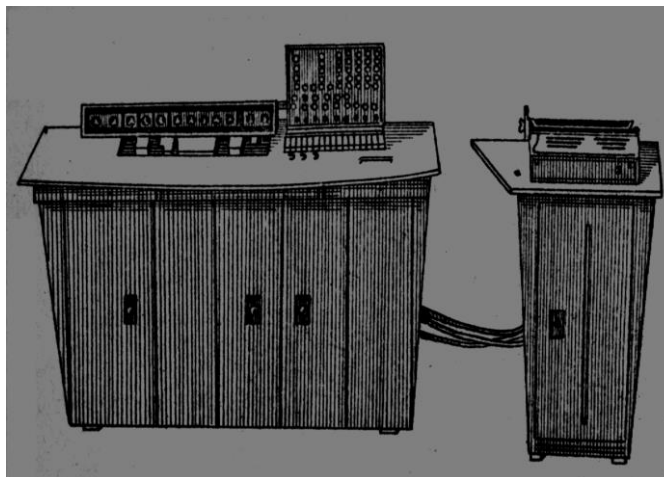
1961 р. — створена напівпровідникова ЕОМ **Днепр** для керування технологічними процесами. Ця ЕОМ випускалась 10 років. Дві ЕОМ **Днепр** використовувались у Байконурі для керування великим екраном під час польоту **Союз-Аполон** (основна частина розробок інституту кібернетики була скерована на створення керуючих ЕОМ різного [в основному спецпризначення]);



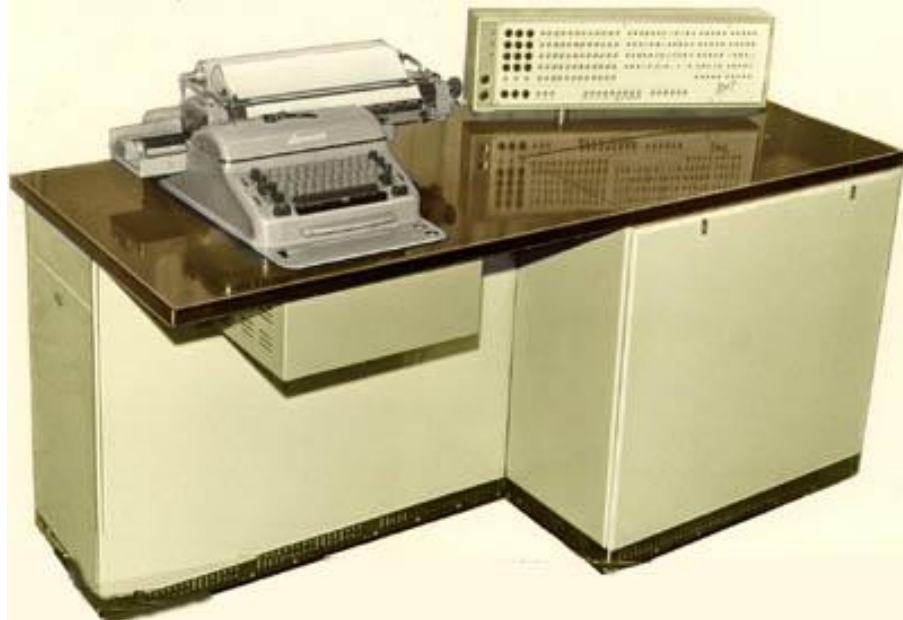
Рис.1.20. ЕОМ **Днепр** - перший вітчизняний напівпровідниковий керуючий комп'ютер широкого призначення. В серії з грудня 1961 року. Розробка Обчислювального центру АН УРСР.

1963 р. — створена напівпровідникова ЕОМ **Промінь** для інженерних розрахунків (100 команд, російськомовна мова програмування, вивід на електричну друкарську машинку);

Рис.1.21. ЕОМ **Промінь**



1965 р. — створена напівпровідникова ЕОМ **Мир-1** для інженерних розрахунків (фірма **ІВМ** придбала одну **Мир-1** для того, щоб довести своїм конкурентам, що у СРСР був створений мікропрограмний принцип керування)



1969 р. — створена напівпровідникова ЕОМ **Мир-2** для інженерних розрахунків. На цій ЕОМ вперше у світі були виконані аналітичні обчислення.



Рис.1.22. Електронно-обчислювальна машина **Мир-2**

У 1958 р. в Московському університеті була створена ЕОМ **Сетунь** (П.П. Брусенцов — апаратне забезпечення, Є.А. Жоголев — програмне забезпечення), яка ґрунтувалась на трійковій системі числення. Використання трійкової системи числення і особливої елементної бази (феритових кілець із обмотками — трансфлюксорів) дозволило створити надзвичайно просту архітектуру ЕОМ.

В 1970 р. в Московському університеті була створена ЕОМ **Сетунь-70**, яка мала особливу систему команд (команди не мали фіксованої довжини. Команду можна було скласти з окремих частин — складів адресації і складів операцій). В **Сетунь-70** були реалізовані принципи структурного програмування. Вона викликала величезний інтерес на Заході, але не була запущена у серійне виробництво в СРСР.

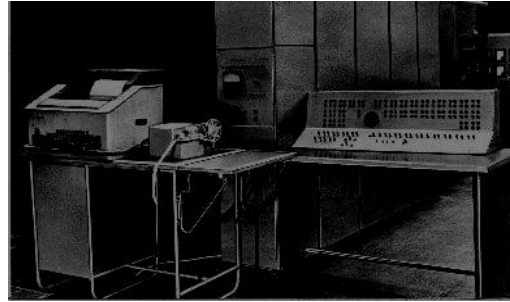


Рис.1.23. Електронно-обчислювальна машина **Сетунь**.

Третє покоління ЕОМ — це не тільки нова елементна база для побудови електронних компонент комп'ютера (інтегральні схеми), а й нова ідеологія, запозичена у фірми ІВМ. З 1972 р. держави — члени Ради Економічної Взаємодопомоги розпочали продукувати так звану серію ЕС ЕОМ: 1010 — Угорщина, 1020, 1021 — Болгарія, 1030 — Польща, 1040 — НДР, 1050, 1060 і проміжні серії (1022, 1035, 1045, 1061 та ін.) — СРСР. Передові розробки радянських вчених були перервані після прийняття ЦК КПРС секретної постанови про заборону власних розробок універсальних ЕОМ і розробку аналогів лише двох ліній:

**IBM 360/370 — серія EC10xx;  
PDP 11 — серія CM.**

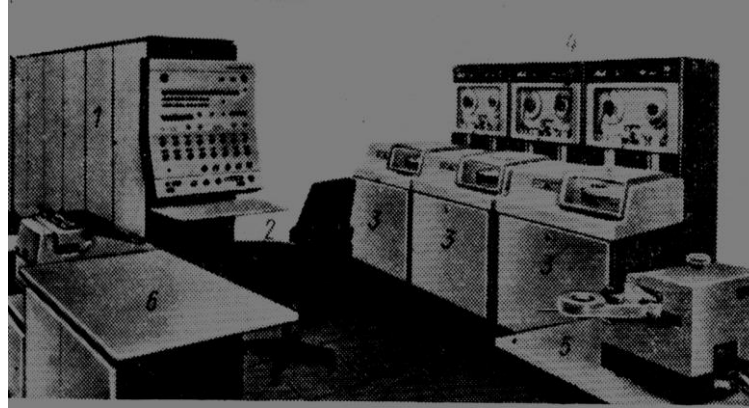


Рис.1.24. Електронно-обчислювальна машина **ЕС 1040**

1 — процесорна стійка, 2 — пульт оператора, 3 — запам'ятовуючий пристрій на магнітних дисках, 4 — цифрові магнітофони, 5 — пристрій читання інформації із перфострічки.

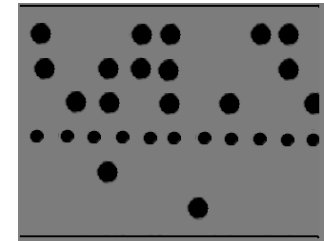


Рис. 1.25. Перфострічка

З цього моменту виникло поняття *архітектура ЕОМ*. Одні автори підручників (Карцев, 1978, Корольов, 1978 ) під архітектурою ЕОМ розуміють логічну організацію машини, інші (Каган, Каневський, 1979) у поняття архітектури вкладають інженерну реалізацію, тобто сукупність рішень, які реалізують логічні та функціональні можливості ЕОМ. Ми будемо використовувати об'єднане поняття, що дасть змогу повніше зрозуміти механізми функціонування сучасних ЕОМ.

Нова епоха у розвитку ЕОМ розпочалася з появою схем високого ступеня інтегрування, а на їхній базі – персональних ЕОМ. Ще 1959 р. Роберт Нойс, майбутній засновник фірми “Intel”, винайшов спосіб інтегрування всіх необхідних електронних елементів на одній пластинці (те, що сьогодні називаємо чіпами). Однак перший комп'ютер на інтегральних схемах з'явився тільки 1968 р. (фірма Burroughs), а у 1970 р. Маршіан Едвард Хофф (фірма Intel) сконструював перший мікропроцесор Intel-4004, який виконував усі функції центрального процесора великої ЕОМ. На початку 1975 р. з'явився перший комерційний комп'ютер “Альтаір-8800” на базі процесора Intel-8080, а наприкінці цього року Пол Аллен і Білл Гейтс (майбутні засновники фірми Microsoft) створили для нього інтерпретатор з мови Basic, що дало змогу спростити доступ до використання цього і наступних комп'ютерів, зробивши їх власне персональними. Особливого розвитку виробництво персональних комп'ютерів набуло після того, як фірма IBM 1979 р. зрозуміла, що майбутнє за ринком власне таких ЕОМ, і приступила до їхнього випуску. Повноцінний 8-бітовий IBM PC офіційно презентований у 1981 р., і відтоді марка цієї фірми стала стандартом у виробництві комп'ютерної техніки.



Рис.1.26. Мікро-ЕОМ **Altair** .

Після створення фірмою **Intel** у 1971 р. мікропроцесора **I4004** (тактова частота 108 кГц, 2300 транзисторів, 10 мікронна технологія ) розпочалися розробки мікро-ЕОМ (**LSI-11**, **microVAX**, **Електроніка-60**, **ДБК-2**). У 1975 р. на мікропроцесорі **I8080** ( 6000 транзисторів, 10 мікронна технологія ) був створений „електронний конструктор” **Altair** (\$397), з якого кожний бажаючий міг зібрати мікро-ЕОМ з 4Кб оперативної пам’яті.

Перші зразки мікропроцесора **I8080** продавались по ціні 300 \$. У 1975 р. фірма **Mos Technologies** випустила мікропроцесор 6502, який продавався по ціні 25\$. На цьому мікропроцесорі у 1976 р. Стефан Возняк і Стівен Джобс створили першу у світі мікро-ЕОМ **Apple I**, яка була орієнтована на **некваліфікованого користувача — персональний комп’ютер (personal computer)**. У 1977 р. розпочався промисловий випуск **Apple II** (процесор 6502, оперативна пам’ять 4Кб, пристрій для читання/запису даних на ГМД, кольорова графіка, електронна таблиця **VisiCalc**).





Рис. 1.27. Персональний комп'ютер **Apple II**

Фірма **Apple** встановила обмеження на ціну своїх ПЕОМ — не більше \$6000 (модель Lisa, яка мала собівартість \$8000 комерційного успіху не мала). Поява на ринку ПЕОМ **Apple II** призвела до небаченого в історії США явища — службовці купували **Apple** за власні кошти для використання їх на службі! У 1977 р. фірма **Commodor International** випустила ПК **PET**, а фірма **Tandy Radio Shack** — **TRS-80** на мікропроцесорі **Z-80**. У 1982 р. фірма **Commodor Business Machines** випустила ПК **Commodor-64**.

У 1981 р. дванадцять інженерів фірми **IBM** під керівництвом Дона Естріджа виставила на загальний огляд свою розробку — **IBM PC** (процесор **i8088** — 16-бітний з 8-бітною шиною даних і тактовою частотою 4.77 МГц, 16Кб [з можливістю розширення до 256Кб ] оперативної пам'яті, вбудований Бейсік, один [два] пристрої для роботи з 160Кб гнучкими магнітними дисками, монохромний або кольоровий дисплей **Zenith**, можливість використання кольорового телевізора замість дисплея). Ціна **IBM PC** з монохромним дисплеєм складала \$3000, з кольоровим - \$6000.



Рис. 1.28. Зовнішній вигляд **IBM PC** (фірмове позначення **IBM 5051**)

Архітектура **IBM PC** була оголошена відкритою — фірма **IBM** сподівалася у такий спосіб заощадити кошти на розробці периферійних пристроїв до своєї ПЕОМ — незалежні виробники, маючи документацію про архітектуру **IBM PC**, могли незалежно від фірми **IBM** (і за власні кошти) розробляти до **IBM PC** пристрої друку, дисплеї, пристрої читання/запису даних на магнітні диски. Однак, попри очікуваний ефект, фірма **IBM** отримала несподіваний результат — незалежні виробники, користуючись відкритою архітектурою **IBM PC**, почали виробляти **IBM**-подібні (**IBM PC compatible**) ПЕОМ. Певні зміни в архітектурі **IBM**-подібної ПЕОМ, які робилися для того, щоб уникнути судових переслідувань з боку фірми **IBM**, узгоджувались з **BIOS** (базовою системою вводу-виводу), і для користувача ПЕОМ ставала дуже подібною на **IBM PC**. Скромні можливості **IBM PC** (а отже і низька конкурентноздатність) змусили фірму **IBM** незабаром виставити **IBM PC-XT** (**eXtended arhiTecture**) та **IBM PC-AT** (**Advanced arhiTecture**). Не отримавши очікуваного результату від відкритості архітектури **IBM PC**, фірма **IBM** спробувала закрити архітектуру своєї нової лінії **IBM PS/2** (до речі усі ПЕОМ фірми **Apple** мають закриту архітектуру), однак очікуваного результату це також не дало — світовий ринок вже був наповнений дешевшими **IBM**-подібними ПЕОМ з співмірними або й кращими характеристиками. Скористався з відкритості архітектури **IBM PC** і Радянський Союз — у другій половині вісімдесятих років були розроблені ПЕОМ **ЕС-1840** (Мінськ), **Іскра-1030** (Смоленськ), **Нейрон** (Київ). Багатоплатна конструкція цих ПЕОМ стала причиною їх низької надійності. Особливе місце серед цих розробок займають **Поиск-1**, **Поиск-2** ” (копія **IBM PC-XT**), які вироблялись на Київському виробничому об’єднанні **Електронмаш**, і **Практик**, **ЕС 7978** (копія **IBM PC-XT**), які вироблялись на Канівському електромеханічному заводі **Магніт**. Слід наголосити на високій надійності ПЕОМ **ЕС 7978** і **Практик** — в одній із львівських шкіл **ЕС 7978** пропрацювала понад 10 років без жодного ремонту (у радянські часи Канівський завод **Магніт** виробляв прилади нічного бачення для танків і мав добре відпрацьовану технологію). Причиною низької надійності ПЕОМ **Поиск-2** у першу чергу було використання неякісних мікросхем оперативної пам’яті (білоруського виробництва). В/о **Електронмаш** і завод **Магніт** освоїли випуск ПЕОМ з процесором **I80386**, однак не змогли витримати конкуренції з невеличкими комп’ютерними фірмами, які масово розпочали збирати **IBM**-подібні ПЕОМ з комплектуючих, виготовлених за кордоном (головно у південносхідній Азії).



Рис. 1.29. ПК “Львів”, [персональний комп'ютер](#), розроблений у 1986–1987 роках у [Львівському політехнічному інституті](#) (Конструктор доцент В. Я. Пуйда). Виготовлявся на заводі [ЛОРТА](#).

У 1980 р. на ринку професійних мікро-ЕОМ з'явилась робоча станція **Apollo** (32-бітний мікропроцесор, власна **Unix**-подібна операційна система **Domain OS** з графічним інтерфейсом), яка була набагато дешевшою від великих і міні-ЕОМ (кілька десятків тисяч \$ замість сотень тисяч). Нижче подані результати виконання Фортран-тесту на великій ЕОМ, суперміні-ЕОМ і робочій станції:  
**IBM-360** -780 сек.; **VAX 11/780** - 667 сек.; робоча станція з мікропроцесором **Motorola 68020** (f-20МГц) - 748 сек.

Поява у 1985 р. 32-бітного мікропроцесора I80386 призвела до появи співмірних по потужності з робочими станціями, але значно дешевших IBM—подібних ПЕОМ.

Сучасний ринок пропонує надзвичайно широкий спектр як персональної, так і високопрофесійної комп'ютерної техніки. Тому для нас важливо знати, які характеристики сучасної ЕОМ є найсуттєвішими у разі вибору відповідного обладнання для виконання певного класу задач. Як і для ЕОМ загального

призначення, це швидкодія процесора (або його продуктивність), ємність і швидкодія оперативної пам'яті та наявність відповідного периферійного обладнання. З появою інтегральних схем пам'яті ситуація постійно змінюється на ліпше, і сьогодні оперативна пам'ять звичайного персонального комп'ютера **1 чи 2** Гбайти є нормою.

Продуктивність ЕОМ збільшується кількома шляхами. Спочатку (перші два десятиліття) їхня продуктивність зростала завдяки зміні елементної бази (реле, лампи, транзистори, мікросхеми). Сьогодні для виготовлення мікросхем використовують кремній, рідше – германій. Час зміни логічного стану елементарної електронної схеми на кремнієвій основі становить від 350 пікосекунд до 5 наносекунд. Відомо, що виконання операцій (команд) у цифровій обчислювальній машині розділено на кілька етапів (вибирання чи пересилання операндів у пам'ять чи регістри, операції з регістрами тощо). Процес виконання синхронізований відповідно до сигналів, які виробляє спеціальний генератор. Частоту коливань генератора називають тактовою (одному тактові відповідає один період коливання генератора). Повна операція виконується за кілька тактів, кількість яких не завжди збігається з кількістю етапів.

Головний машинний такт у середньому становить 10–15 нс (для об'ємної кремнієвої технології це близько до межі). Перехід від кремнію до арсеніду галію (GaAs) може підвищити тактову частоту на півтора-два порядки (16 МГц – 62,5 нс). Сучасні розробки, що ґрунтуються на плівкових технологіях (товщина шару приблизно три атомних перерізи), дають змогу досягнути тактових частот кілька десятків гігагерц.

Чому неможливо підвищити продуктивність простим збільшенням тактової частоти? Відповідь на це питання така: за 1 нс сигнал проходить 300 мм (швидкість світла). Практично 1 м сигнал проходить за 4–5 нс по коаксіальному кабелю або за 7,0–7,5 нс по смужковому провіднику (за 1 нс 130–250 мм). Якщо окремі

інтегральні схеми (ІС) в пристрої будуть віддалені на 1м, то сигнал запізнюватиметься на 1 такт. Отже, потрібно:

- зменшувати розміри, тобто збільшувати ступінь інтеграції на кристалі;
- компактно розташовувати ІС на платі ;
- виготовляти якомога тонші провідники та зменшувати відстані між ними (багатошарові плати).

Ще один момент – виділення енергії, тобто перегрівання мікросхем, унаслідок чого потрібне охолодження.

Далі – суперечність між швидкодією логічних схем, арифметико-логічних пристроїв і можливостями запам'ятовувальних пристроїв .

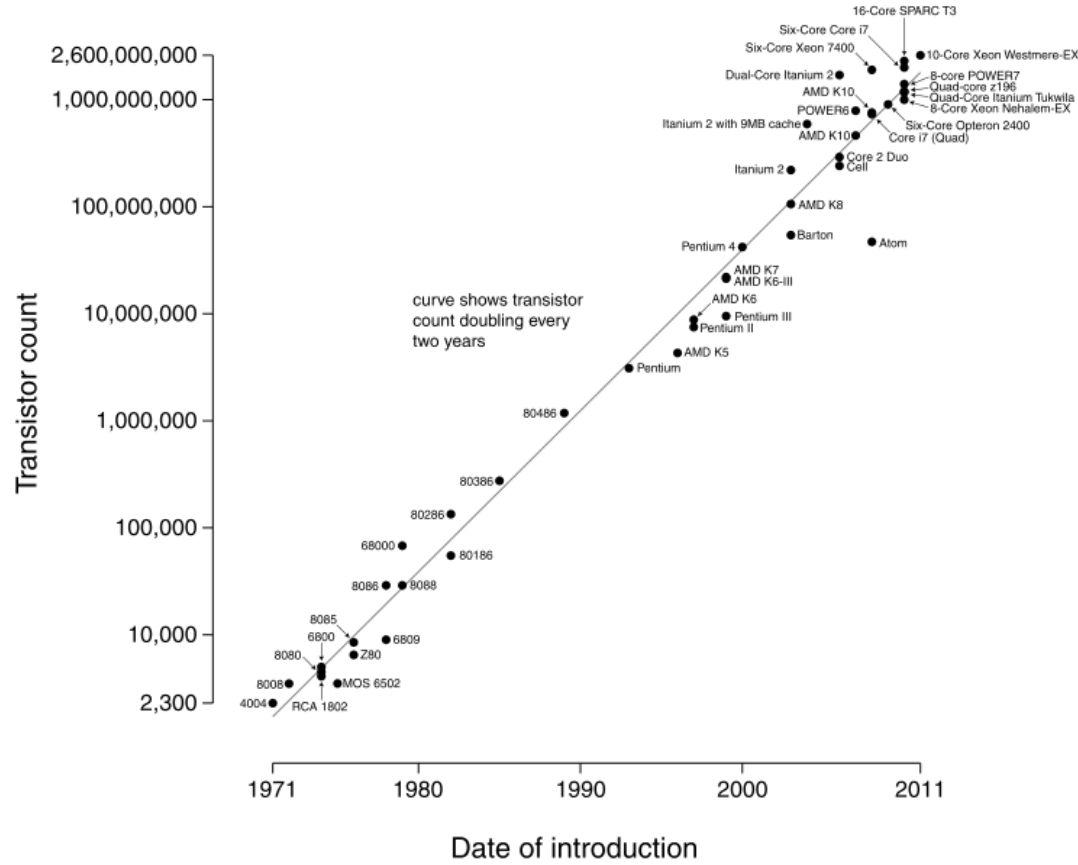
Є також головна семантична суперечність між мовами програмування високого рівня і кодом машинних команд.

Нещодавно комп'ютерний світ відсвяткував 40-річчя появи мікропроцесорів (1971). Перший шістнадцятирозрядний мікропроцесор Intel8086 фірма Intel випустила у 1978 р. а тридцятидво-розрядний Intel 586-й отримав навіть власну назву – Pentium. Pentium і PentiumPro (шосте покоління) містять відповідно 2,3 та 5,5 млн. транзисторів, а відстані між доріжками 1,0 і 0,8 мікрона. Процесор MMX уміщує 4,5 млн. транзисторів. Тактова частота зросла до 300–400 МГц. Швидкодія сягає 200 млн. операцій за секунду. Процесор PentiumII виготовлений за 0,25-мікронною технологією, а PentiumIII (Katmai) – за 0,18-мікронною. Його тактова частота сягає близько 800 МГц і системної шини 200 МГц. У серпні 2000 року оголошено про випуск процесора PentiumIV, тактова частота якого вже перейшла межу 2 ГГц.

У 2000 р. президент компанії Intel Ендрю Гроув був переконаний, що у 2011 році процесор уміщуватиме близько мільярда транзисторів, його швидкість зросте до 100 000 мільйонів ( $10^{11}$ ) операцій за секунду, а тактова частота – до 10 ГГц. Повідомлення від компанії Intel 2001 р. були ще оптимістичнішими. Їхні лабораторні дослідження давали змогу стверджувати, що тактова частота процесора вже у 2007 р. досягне межі 20 ГГц. Реально на сьогодні маємо тактові частоти порядку 6-8 ГГц, а кількість транзисторів на кристалі перейшла 2 млрд. рубіж.

**Закон Мура** — емпіричне спостереження, зроблене в 1965 році (через шість років після винаходу інтегральної схеми), у процесі підготовки виступу Гордоном Муром (одним із засновників компанії Intel). Він висловив припущення, що кількість транзисторів на кристалі мікросхеми буде подвоюватися кожні 24 місяці. Створивши графік зростання продуктивності запам'ятовуючих мікросхем, він виявив закономірність: нові моделі мікросхем розроблялися через більш-менш однакові періоди (18-24 міс.) після появи їхніх попередників. При цьому їхня місткість зростала щоразу приблизно вдвічі. Якщо така тенденція продовжиться, уклав Мур, то потужність обчислювальних пристроїв експоненціально зросте протягом відносно короткого проміжку часу.

Microprocessor Transistor Counts 1971-2011 & Moore's Law





## Список літератури до теми

1. Енциклопедія кібернетики у 2 т.: –К., 1973.
2. *Аладьев В.З., Хунт Ю.Я., Шишаков М.Л.* Основы информатики: Учеб. пособие.– М., 1999.
2. *Малиновский Б.М.* История вычислительной техники в лицах.–К., 1991.
3. *Кардаш А.І., Костовський О.М., Рикалюк Р.Є.* 40 років обчислювальному центру університету // Вісник Львів. ун-ту. Сер. прикл. матем. та інформатика, 1999. –Вип.1.–с.
4. *Грубов В.И., Курдан В.С.* Справочник по ЭВМ и аналоговым устройствам. –К., 1977.
5. <http://www.intel.com>.
6. <http://www.motorola.com>.
7. <http://www.icfst.kiev.ua/museum/>

Крім **IBM**-подібних ПЕОМ та ПЕОМ фірми **Apple** випускались ПЕОМ інших ліній. Слід згадати **Commodor** (фірми **Amiga**), **Atari** (фірми Atari), **ZX-Spectrum** (фірми **Sinclair Research Ltd**) та його радіолюбительські аналоги, зроблені у Львові, **ПК-Львів** (розробник В.Пуйда, Львівський політехнічний інститут), **Правець-8**, **БК-0010**, **Корвет**, **Агат**. Всі перераховані ПЕОМ випускались в одному корпусі з клавіатурою, використовували 8-бітні мікропроцесори різних виробників і були непристосовані до модернізації, саме тому з появою більш потужних мікропроцесорів ці ПЕОМ просто зійшли з арени.

Для ілюстрації розвитку мікропроцесорів (і ПЕОМ) у таблиці подані основні характеристики мікропроцесорів, які використовувались для побудови ПЕОМ

Мікропроцесор	Розрядність	Швидкодія (тактова частота) МГц	Назва ПЕОМ
Z80A	8 біт	6-8	ZX-Spectrum, Robotron, Arat
Intel 8088	8/16 біт	4.77	IBM-PC, IBM-PC/XT
K1810BM 88 (аналог I8088)	8/16 біт	4.77	Поиск-1
K1810BM 86 (аналог I8086)	16 біт	8	Поиск-2, Практик, ЕС-7978
Intel 80286	16 біт	6-25	IBM-PC/AT
Motorola 68000	16 біт	6-16	Apple, Macintosh
Intel 80386	32 біт	16-40	IBM-PC.386
Motorola 68020	32 біт	16-20	Macintosh***** Беста (виробн. СРСР)
Intel 80486	32 біт	16-120	IBM-PC.486
Motorola 68030	32 біт	16-**	Macintosh*****
Pentium I	32/64 біт	60-133	IBM-PC.PI
Motorola 68040	32/64 біт	16-60	Macintosh*****
Pentium II	32/64 біт	233-500	IBM-PC.PII
Power PC	32/64 біт	100-133	Power Macintosh
Pentium III	32/64 біт	450-1000	IBM-PC.PIII
Power PC G3	32/64 біт	350-500	I Mac
Power PC G4	32/64 біт	400-733	Power Macintosh
Pentium IV	32/64 біт	3700	IBM-PC.PIV

Примітка: \*\*\*\*\* означає фірмове позначення моделі

Сучасні ПЕОМ можна розділити на дві групи:

ПЕОМ від фірми **Apple (Macintosh)**

**IBM**-подібні ПЕОМ від різних виробників ( у тому числі українських).

ПЕОМ від фірми **Apple (Macintosh)** завжди відрізнялись високими споживчими характеристиками, які забезпечувались високим рівнем схемних рішень та високою якістю програмного забезпечення. Одному з авторів доводилось спостерігати у роботі операційну систему **Mac OS 5** з графічним інтерфейсом, яка вантажилась з 3,5” дискети (порівняйте 700 Кб з мінімумом у 100 Мб

для **MS-Windows 95**). Політика закритої архітектури (**Apple** та **Macintosh** випускають лише 4 заводи в світі) дозволяла випускати ПЕОМ лише високої якості. Розробники програмного забезпечення, які бажають писати програми для **Apple**, повинні пройти обов'язкову сертифікацію (у такий спосіб забезпечується високий рівень програмного забезпечення для **Apple**).

#### 1.4. Типи сучасних ЕОМ

Електронно-обчислювальна машина (ЕОМ, англ. computer [обчислювач]) — електронний пристрій для виконання обчислення з використанням електричних сигналів. За використовуваною елементною базою ЕОМ поділяють на п'ять поколінь:

I покоління — лампові;

II покоління — транзисторні;

III покоління — на інтегральних схемах низького ступеню інтеграції;

IV покоління — на інтегральних схемах високого ступеню інтеграції;

V покоління — на інтегральних схемах надвисокого ступеню інтеграції.

Однак, у цьому поділі відсутні релейні ЕОМ (**Z3-Z5, Марк-1**) та на магнітних елементах з трьома станами (**Сетунь**).

Сучасні ЕОМ поділяють на:

суперЕОМ (**Cray, IBM BlueGene, Эльбрус**);

робочі станції;

серверні ЕОМ;

персональні ЕОМ, у тому числі стаціонарні, міні, переносні, планшетні, ультрамобільні, кишенькові.

Термін суперЕОМ був введений в обіг через нестримний потяг людей до надзвичайного — суперзірка, суперхіт, суперкнижка, суперфільм, супер, супер, супер. Чіткого визначення терміну суперЕОМ немає. Вважають, що суперЕОМ — це ЕОМ, яка має технічні параметри (швидкість обчислень, обсяг оперативної пам'яті, обсяг дискової пам'яті) значно вищі, ніж доступні для загалу ЕОМ і ПЕОМ. В останній чверті минулого сторіччя до суперЕОМ зараховували ЕОМ **Cray-1 — Cray-4** (США) і **Эльбрус-1 — Эльбрус-3, ПС-2100** (Радянський Союз).



а)



б)

Рис. 1.37. СуперЕОМ ( а — ПС-2100, б — Cray-2)

Сьогодні суперЕОМ виробляють такі фірми як **IBM, HP, NEC, Sun, SGI, Dell**. Сучасні суперЕОМ є багатопроцесорними системами, які побудовані на мікропроцесорах фірм **Intel (CISC-архітектура), AMD, IBM, DEC (RISC-архітектура)** та ін. У таблиці подано список першої десятки суперЕОМ (станом на червень 2006 р.)

Місце	ЕОМ	Кількість процесорів	Країна
1	<b>IBM BlueGene/L - eServer Blue Gene Solution</b>	131072	США
2	<b>IBM eServer Blue Gene Solution</b>	40960	США
3	<b>IBM eServer pSeries p5 575 1.9 GHz</b>	12208	США
4	<b>SGI Altix 1.5 Ghz</b>	10160	США

Місце	EOM	Кількість процесорів	Країна
5	<b>Tera-10 - NovaScale 5160, Itanium2 1.6 GHz</b>	8704	Франція
6	<b>Dell Thunderbird - PowerEdge 1850, 3.6 GHz</b>	9024	США
7	<b>NEC/Sun Sun Fire X64 Cluster, Opteron 2.4/2.6 Ghz,</b>	10368	Японія
8	<b>IBM eServer Blue Gene Solution</b>	16384	Німеччина
9	<b>Cray Inc. Red Storm Cray XT3, 2.0 GHz</b>	10880	США
10	<b>NEC Earth-Simulator</b>	5120	Японія

Більш докладну інформацію про сучасні суперЕОМ можна отримати за адресою: **[www.top500.org](http://www.top500.org)**

СуперЕОМ 70-х і 80-х років минулого сторіччя будувались з використанням векторних процесорів. На початку 90-х років відбувся перехід до використання великої кількості паралельно з'єднаних скалярних процесорів. Наприкінці двадцятого сторіччя для створення суперЕОМ стали широко використовувати кластери, які забезпечують високу продуктивність при мінімальній вартості.

В якості операційних систем для суперЕОМ використовують Unix-подібні ОС ( **Unix, Linux, Solaris** тощо).

Робочі станції належать до професійних ПЕОМ. Значно менші обсяги виробництва робочих станцій, значно вищі їх технічні характеристики зумовлюють істотно вищі ціни на робочі станції порівняно з цінами на персональні ЕОМ. На рис. 1.38 зображені робочі станції фірм **Silicon Graphics** і **Sun Microsystems**



а



б



в



г

Рис. 1.38. Робочі станції  
а - Silicon Graphics Fuel, б - Silicon Graphics Onyx 4, в - Sun Ultra 40, г - Sun Ultra 45

На серверні ЕОМ покладають завдання опрацювання запитів від багатьох ПЕОМ у мережі.

Залежно від завдань, які покладаються на сервер, їх можна розділити на сервери:

початкового рівня (файл-сервер, Інтернет-сервер, термінальний сервер, сервер баз даних для малих та середніх робочих груп [від кількох ПЕОМ до кількох десятків ПЕОМ]) ;

середнього рівня (файл-сервер, Інтернет-сервер, термінальний сервер, сервер баз даних, сервер програмного забезпечення для корпорації [від кількох десятків ПЕОМ до кількох сотень ПЕОМ]) ;

верхнього рівня (сервер розподілених баз даних, центральний корпоративний термінальний сервер, **SQL**-сервер, **Exchange**-сервер).

Як уже згадувалося, персональні ЕОМ сьогодні поділяють на стаціонарні (рис. 1.39-1.40), переносні (рис. 1.41-1.43) і кишенькові (рис. 1.44-1.45).

Стаціонарні ПЕОМ складаються із системного блоку, дисплея, клавіатури і мишки до яких за потреби додають інші пристрою вводу/виводу даних (сканери, пристрою друку, Веб-камери, голосники і т.ін.). Останнім часом виробники стали пропонувати системні блоки із зменшеними габаритами, що дозволяє закріплювати їх на задній стінці рідкокристалічного дисплея (**Imac G5**) або у підставці рідкокристалічного дисплея (рис. 1.40)



Рис. 1.39. Стаціонарні ЕОМ



Рис. 1.40. Стационарна ПЕОМ **LLUON LXMA52-1**





Рис. 1.41. Фотографія переносної ПЕОМ

Планшетна ПЕОМ (англ. **Tablet PC**) повинна мати розмір товстого журналу, сенсорний екран, голосовий ввід, бездротовий і потужність сучасної ПЕОМ. Їх розробки ведуться кілька останніх років.



Рис. 1.42. Планшетна ПЕОМ **Pepper Pad**

Для уведення алфавітно-цифрових даних використовують рукописний ввід або вбудовану клавіатуру (не усі моделі планшетних ПЕОМ мають клавіатуру). Для обміну інформацією з стаціонарними ПЕОМ використовують бездротові інтерфейси, інтерфейс **USB**, локальні мережі. Планшетні ПЕОМ працюють під керуванням ОС **Linux (Pepper Pad)** або **Microsoft Windows**. Подальшим розвитком ідеї планшетних ПЕОМ можна вважати розробки ультрамобільних ПЕОМ (**UMPC**). На рис. 1.43 зображено ультрамобільну ПЕОМ **OQO model1**



Рис.1.43. Ультрамобільна ПЕОМ **OQO model1**

Усі кишенькові ПЕОМ обладнані сенсорними дисплеями з функцією рукописного вводу. До них можна приєднати клавіатуру (складану або гнучку), деякі моделі мають вбудовану клавіатуру зменшених розмірів. На рис. 1.44 зображена кишенькова ПЕОМ фірми **Asus**



Рис. 1.44. Кишенькова ПЕОМ Asus MyPal A600

Поєднання в одному пристрої кишенькової ПЕОМ і мобільного телефону призвело до появи комунікаторів — ви можете розмовляти по телефону або працювати з цим пристроєм як з кишеньковою ПЕОМ. На рис. 1.45 зображені комунікатори.



Рис. 1.45. Комуникатори, планшети