

**Лекція № 1 з навчальної дисципліни**

**“Архітектура обчислювальних систем”.**

**Розділ 1. Організація апаратної частини комп'ютерів**

**Модуль 1.** Організація ядра обчислювальної системи (центрального процесора, пам'яті та системного інтерфейса). Методи розміщення інформації у пам'яті комп'ютерів.

**Тема лекції:**

*Вступні поняття та відомості про архітектуру комп'ютерів.  
Ієрархічний принцип побудови апаратних та програмних засобів, класична архітектура комп'ютера*

**План лекції**

1. Предмет та структура навчальної дисципліни.
2. Класична архітектура комп'ютера.
3. Класифікація та покоління обчислювальних систем.
4. Основні показники та характеристики комп'ютерів.  
Закон Мура.

# 1. Предмет та структура навчальної дисципліни

**Мета:** формування базових знань і умінь, необхідних для обслуговування комп'ютерної техніки на рівні користувача та програмування мовою низького рівня (асемблер).

**Завдання:** формування вміння застосовувати отриманні знання в процесі виконання функціональних обов'язків.

## Структура дисципліни

- Всього 120 години / 4 кредити ECTS.
- 2 модулі (розділи), 4 змістових модулів:

### Розділ 1. Організація апаратної частини комп'ютерів.

ЗМ 1. Організація ядра обчислювальної системи (центрального процесора, пам'яті та системного інтерфейса). Методи розміщення інформації у пам'яті комп'ютерів.

ЗМ 2. Робота процесора з зовнішніми пристроями.

### Розділ 2. Програмування низького рівня.

ЗМ 3. Архітектура та програмна модель мікропроцесорів x86. Основи програмування мовою асемблер.

ЗМ 4. Реалізація складних логічних структур мов програмування високого рівня мовою асемблер. Архітектурні принципи підвищення продуктивності комп'ютерних систем.

- Підсумкова звітність – залік.

# 1. Предмет та структура навчальної дисципліни



**Д. Амдал**  
(Gene Amdahl)

**Комп'ютер – це комплекс апаратних і програмних засобів, що виконує автоматичну обробку інформації згідно заданому алгоритму, який поданий у вигляді програми.**

## **Поняття архітектури комп'ютера:**

Д. Амдал (1964 р.): архітектура – це “структура та поведінка комп'ютера з точки зору програміста мовою асемблера”.

А. Пейджез: архітектура комп'ютера – це “інтерфейс між його апаратним та програмним забезпеченням”.

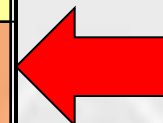
В теорії технічних систем архітектура – це сукупність структурних схем системи.

**Архітектурою комп'ютера називають сукупність принципів його побудови та функціонування, технічних засобів і алгоритмічних правил, що використовуються для класифікації, утворення та експлуатації обчислювальної системи.**

# 1. Предмет та структура навчальної дисципліни

## Ієрархічна організація апаратних та програмних засобів комп'ютера

<b>Рівні організації комп'ютера (Е. Таненбаум)</b>	<b>Дисципліни</b>
<i>Рівень мови високого рівня</i>	<i>Програмування (прикладне)</i>
<i>Рівень мови асемблера</i>	<i>Операційні системи та системне програмування</i>
<i>Рівень операційної системи (макроархітектурний)</i>	
<i>Рівень системи команд (архітектурний)</i>	<i>Архітектура комп'ютерів (обчислювальних систем)</i>
<i>Мікроархітектурний рівень (цифрові автомати)</i>	
<i>Цифровий логічний рівень</i>	
<i>Фізичний (транзисторний) рівень</i>	



# 1. Предмет та структура навчальної дисципліни

## Рівні архітектури комп'ютера:

- **Архітектура апаратних засобів** – склад електронних, електричних, механічних вузлів і блоків, їх взаємозв'язок і взаємодія.
- **Архітектура апаратно-програмної межі** між апаратним забезпеченням (електронними логічними схемами і мікропрограмами) і операційною системою.
- **Архітектура мікропрограмного управління** визначає межу виконання операцій за допомогою логічних електронних схем і мікропрограм (набір мікроінструкцій, що реалізують виконання окремих етапів машинних операцій).
- **Архітектура програмного забезпечення** встановлює рівні розподілу використовуваних мов, програм, програмних модулів.
- **Архітектура процесора** визначає організацію процесора і системного інтерфейса (між процесором та іншими пристроями комп'ютера).
- **Архітектура каналів зв'язку** визначає взаємодію ядра комп'ютера (процесора, оперативної пам'яті) з периферійними пристроями.
- **Архітектура системи** поділяє функції обробки даних, які виконуються системою і зовнішнім середовищем (наприклад, користувачами).

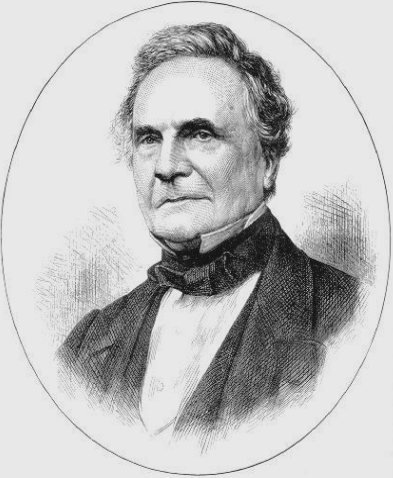
## 2. Класична архітектура комп'ютера

### Принципи автоматизації процесу обчислень:

- **Принцип програмного управління обчислювальним процесом** (Ч.Бєбідж, 1833 р.)
- **Принцип програми, що зберігається в пам'яті** (Д. Нейман, 1946 р.)

Програма разом з даними, що обробляються (операндами), записується до ОП. Функціонування комп'ютера -- покрокове, за вказівками команд програми. В кожному такті виконується команда або її частина – мікрокоманда. Команда вказує тип виконуваної операції та місце розміщення операндів і результату операції.

Для виконання команди необхідно: записати до програмного лічильника адресу команди, зчитати з ОП команду (за вмістом програмного лічильника), провести дешифрування команди з метою її розпізнання, визначити адреси комірок пам'яті, в яких знаходяться операнди та до яких мають бути записані результати, зчитати ці операції з пам'яті та подати в арифметико-логічній пристрій для оброблення, виконати операцію над операндами та записати результати до ОП.



**Ч. Бєбідж**

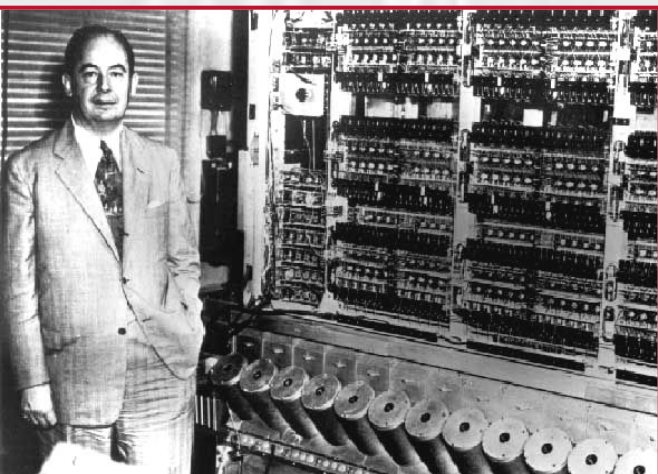


**Д. Нейман**

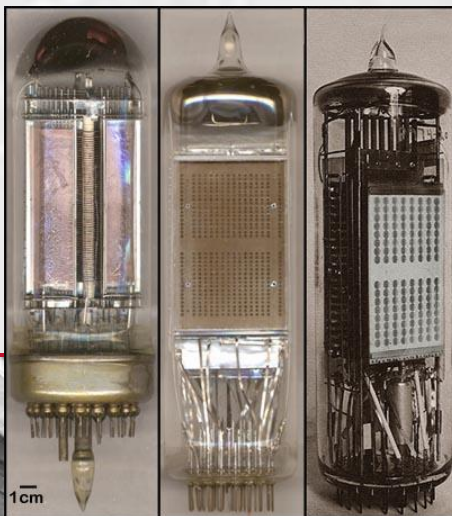
## 2. Класична архітектура комп'ютера

Нейманівська (принстонська) архітектура комп'ютера (1946 р.) -- перша класична обчислювальна архітектура, була запропонована Д. Нейманом на основі досвіду, отриманого при роботі над проектом ЕНІАК (Electronic Numerical Integrator and Calculator, 1943 – 1946 р). у Принстонському університеті (США).

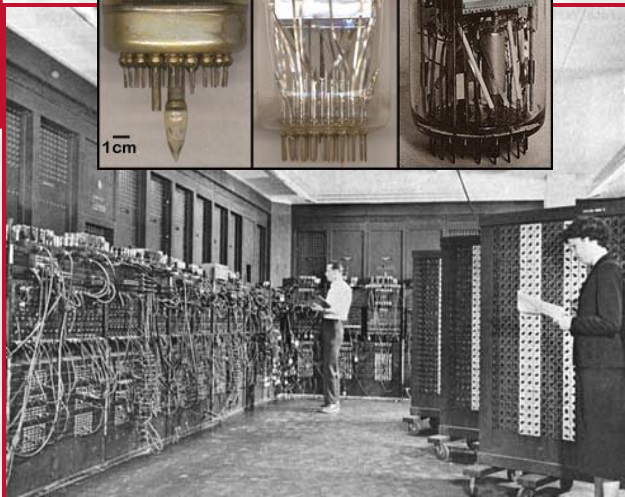
ЕНІАК містив близько 180 тис. електронних ламп, багато електромеханічних реле, причому щомісяця виходило з ладу майже 2 тис. ламп



*Джон фон Нейман*



*Джон Моучлі та  
Проспер Екерт*



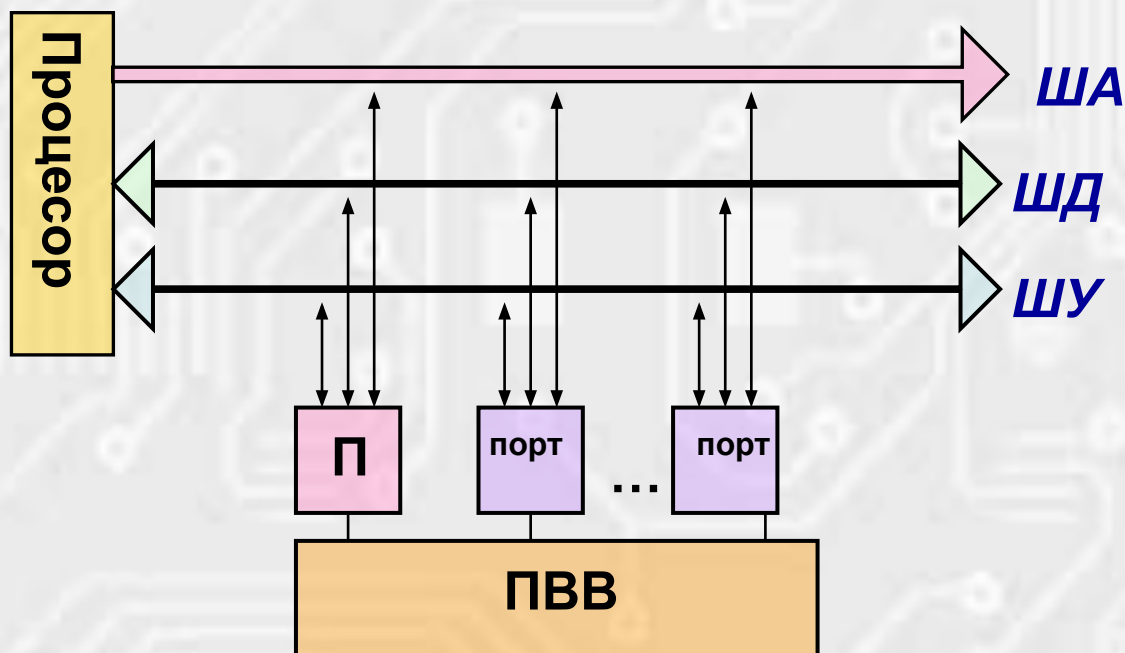
## 2. Класична архітектура комп'ютера

### Особливості організації найманівських комп'ютерів:

- **Принцип єдності інформації.** Інформація в комп'ютері поділяється на команди та дані, представлені двійковим кодом. Те ж саме двійкове число може бути як командою, так і даним (операндом). Це дозволяє зберігати їх в той самій ОП та виконувати операції над ними як над числами.
- **Принцип послідовного програмного керування.** Управління обчислювальним процесом здійснюється централізовано шляхом послідовного виконання команд. Кожна команда керує виконанням окремої операції і передає управління наступній команді.
- **Пам'ять ЕОМ має лінійну організацію, тобто складається з послідовно пронумерованих комірок та довільну адресацію** (у кожному такті можна звернутися до довільної її комірки). Команди і дані зберігаються в пам'яті за відповідними адресами.
- **Для управління використовується мова машинних команд, яким відповідають елементарні операції, що послідовно виконуються над елементарними операндами.** Сукупність всіх виконуваних комп'ютером команд називають його системою команд.



## 2. Класична архітектура комп'ютера



Взаємодія модулів найманівської ЕОМ здійснюється за допомогою системних шин: *шини адреси (ША), даних (ШД) і управління (ШУ)*.

*ШД* призначена для передачі даних і команд, які обробляються процесором.

*ША* призначена для адресації (вибору) комірок пам'яті і зовнішніх пристроїв. По *ШУ* передаються сигнали управління від МП до інших пристроїв та навпаки.

*Основна пам'ять* (П) зберігає команди і дані. Зв'язок із пристроями введення – виведення (ПВВ) здійснюють модулі, що мають назву портів введення-виведення. Порт є інтерфейсом між МП і зовнішнім пристроєм.

## **2. Класична архітектура комп'ютера**

### **Недоліки нейманівської архітектури:**

1. Використання процесора для управління вводом - виводом інформації зменшує продуктивність комп'ютера, тому що ПВВ, порівняно з процесором, функціонують повільно.

2. У будь-який момент часу в процесорі виконується тільки одна операція. При цьому функціональні вузли (блоки) процесора використовується малоефективно – “працює” тільки один, а інші простоюють.

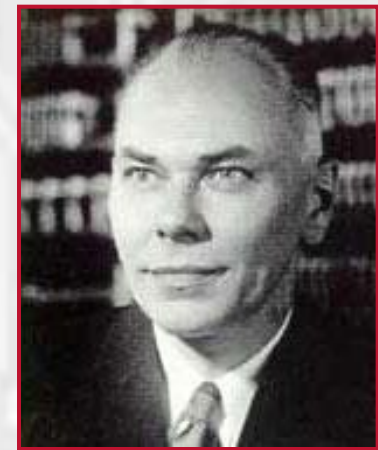
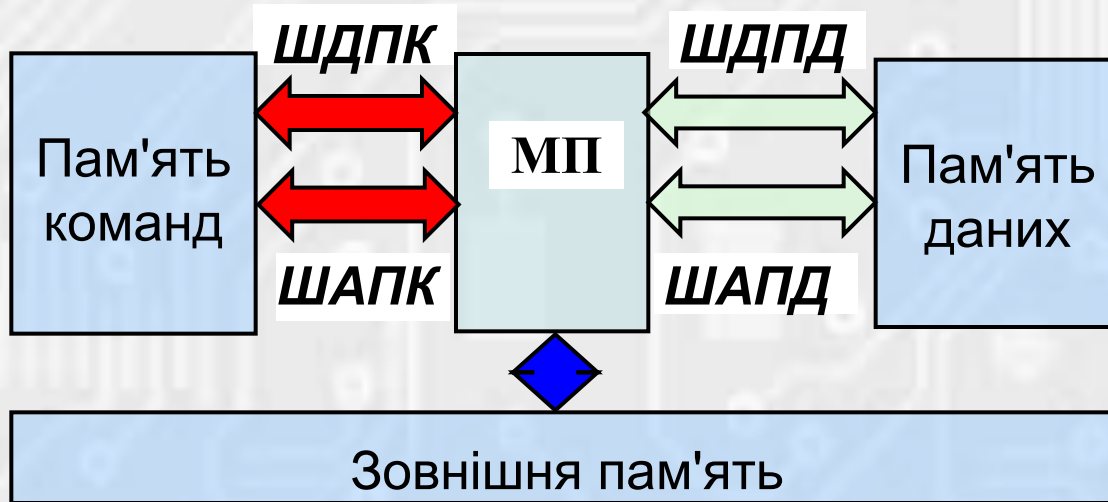
3. Послідовне виконання команд різної довжини зменшує загальну продуктивність комп'ютера (виконання довгих команд затримує виконання наступних команд).

4. Використання спільної пам'яті для зберігання даних та команд не дозволяє одночасно і незалежно зчитувати команди і дані. Також це приводить до значної фрагментації послідовностей команд і даних, що затрудняє їх пошук.

***Основний недолік немодифікованої нейманівської архітектури - підвищення продуктивності комп'ютера можливе практично тільки за рахунок підвищення тактової частоти.***

## 2. Класична архітектура комп'ютера

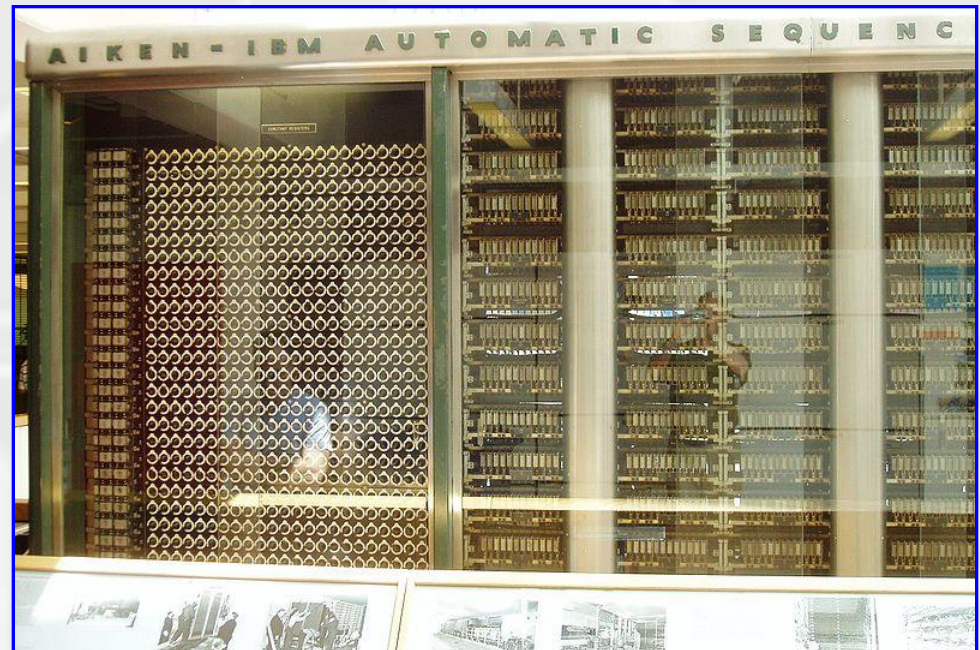
### Архітектура ЕОМ з роздільної пам'яттю (Гарвардська)



Г. Айкен

Спільну пам'ять розділяють на пам'ять команд та пам'ять даних. Читання з цих двох пристроїв взаємозалежне і може виконуватися одночасно.

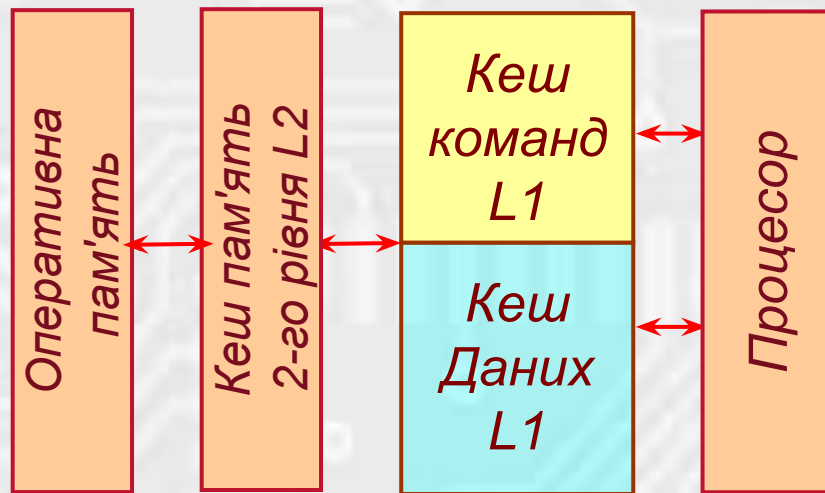
Архітектура вперше була реалізована Говардом Айкеном у релейно – механічному комп'ютері Mark 1 в Гарварді (1944 р.), побудованому для ВМФ США



## 2. Класична архітектура комп'ютера

Комп'ютери гарвардської архітектури є складнішими для програмування порівняно з комп'ютерами принстонської архітектури. Нейманівська пам'ять має властивість “самооптимізації” заповнення. Гарвардська є більш швидкодіючою та забезпечує можливість впровадження конвеєризації обчислень.

### Дуальна “принстонсько – гарвардська” архітектура



У сучасних ПК “дуальна” архітектура використовується на рівні багаторівневої кеш-пам'яті – шляхом поділу кеша першого рівня (найближчого до ядра процесора) на кеш даних та кеш команд. Об'єднання архітектур підвищує швидкість інформаційного обміну між процесором і пам'яттю та зберігає зручність програмування принстонської архітектури.

### “Дуальна” архітектура кеш-пам'яті

### 3. Класифікація та покоління обчислювальних систем

Узагальнена класифікація КС за ступенем паралелізму обчислень ґрунтується на поняттях потоку команд, які виконує процесор, –  $I$  та потоку даних між основної пам'яттю та процесором –  $D$  в обчислювальній структурі. При цьому розрізняють: одинарний потік –  $S$ ; множинний потік –  $M$ .

Потік даних	Потік команд	
	одинарний	множинний
одиничний	<b><i>SISD (ОКОД) - одинарний потік команд і одинарний потік даних (класичний послідовний комп'ютер)</i></b>	<b><i>MISD (МКОД) - множинний потік команд і одинарний потік даних (конвеєрна обчислювальна машина)</i></b>
множинний	<b><i>SIMD (ОКМД) - одинарний потік команд і множинний потік даних (векторний комп'ютер)</i></b>	<b><i>MIMD (МКМД) - множинні потоки команд і даних (високопаралельні багатопроцесорні компютерні системи)</i></b>

### 3. Класифікація та покоління обчислювальних систем

**SISD (ОКОД)** - *одинарний потік команд і одинарний потік даних.*

Управління здійснює одинарна послідовність команд, кожна з яких забезпечує виконання окремої операції і далі передає управління наступній команді (нейманівська та гарвардська архітектури – однопроцесорний комп'ютер з одним лічильником команд та одним АЛП).

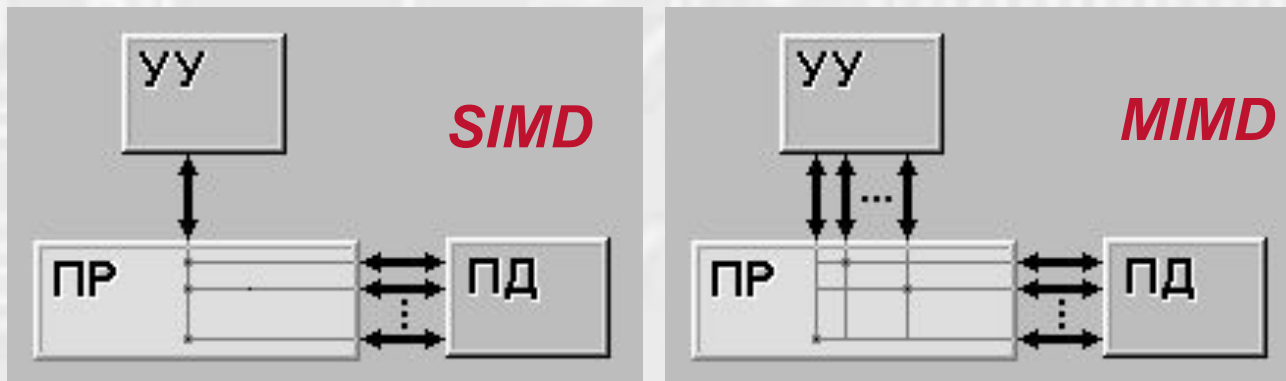


**УУ – пристрій управління; ПР – процесор, ПД – пам'ять даних**

**MISD (МКОД)** - *множинний потік команд і одинарний потік даних.* Конвеєр обробки даних утворюється ланцюжком послідовно з'єднаних процесорів, які управляються паралельним потоком команд. На вхід конвеєра з пам'яті подається одинарний потік даних. Конвеєрну архітектуру КС запропонував академік С.О. Лебедев в 1956 р. Практичного застосування цій клас обчислювальних систем не знайшов, але іноді до нього відносять конвеєрні процесори.

### 3. Класифікація та покоління обчислювальних систем

**SIMD (ОКМД)** - **одинарний потік команд і множинний потік даних**. Як правило, це однорідні системи векторної або матричної обробки. Процесор має векторну або матричну структуру, в вузлах якої знаходиться велика кількість процесорних елементів. Одинарний потік команд виробляє один загальний пристрій управління. Всі процесорні елементи виконують одночасно ту ж саму команду, але над різними операндами, які доставляються з пам'яті множинним потоком.



**MIMD (МКМД)** - **множинні потоки команд і даних**. До цього класу відносять багатопроцесорні і багатомашинні КС.

Гнучкість *MIMD* структур дозволяє організувати сумісну роботу вузлів (комп'ютерів або процесорів) за розпаралеленою програмою при розв'язанні єдиного складного завдання або роздільну роботу всіх вузлів при одночасному розв'язанні декількох завдань декількома незалежними програмами (кластери, масово-паралельні системи).

### ***3. Класифікація та покоління обчислювальних систем***

**Перше покоління ЕОМ** (1944 – 1954 рр.) на електронних лампах. Це був час становлення архітектури комп'ютерів найманівського типу, розробки й удосконалювання структури ЕОМ та програмного забезпечення, розвитку методів і мов програмування.

**Друге покоління комп'ютерів** (1955 – 1964 рр.) було напівпровідниковим (на дискретних елементах). Період їх бурхливого розвитку та розповсюдження. Сформульовано та впроваджено велику кількість фундаментальних ідей в галузі інформатики та обчислювальної техніки, що зберігають значущість і в наші часи.

**Третє покоління комп'ютерів** (1964 – 1974 рр.) на інтегральних мікросхемах низького та середнього ступенів інтеграції.

Перехід до **четвертого покоління** здійснювалися на протязі 70-х років минулого століття. Установити більше точні границі важко, тому що в різних блоках комп'ютерів надвеликі ІС стали використовуватися в різні часи.

Прогрес у розвитку ОТ з першого по четверте покоління визначався розвитком електронної елементної бази. На протязі вже декількох десятиліть іде подальше вдосконалювання технології виробництва ІС надвеликого ступеню інтеграції, але очікуваний перехід до принципово нових технологій комп'ютерів **п'ятого покоління** ще не відбувся.



## 4. Основні показники та характеристики комп'ютерів. Закон Мура

$$P = \frac{\sum_{i=1}^h k_i}{\sum_{i=1}^h k_i t_i},$$

де:

- $k_i$  – ваговий коефіцієнт, що визначає відносну частоту виконання команд  $i$ -го типу;
- $t_i$  – час виконання команд  $i$ -го типу;
- $h$  – кількість типів команд, що використовуються в комп'ютері.

- **Продуктивністю** комп'ютера називають швидкість виконання команд (операцій). Її оцінюють у вигляді кількості операцій визначеного типу, що виконуються за одну секунду:
  - MIPS (Моп/с) – кількість мільйонів операцій з фіксованою комою за секунду;
  - MFLOPS (Мфлоп/с) – кількість мільйонів операцій з рухомою (“плаваючою”) комою за секунду.Розрізняють пікову (технічну, номінальну) продуктивність  $V_p$  та реальну продуктивність  $V_r$ .

**Пікова продуктивність** – теоретичний максимум швидкодії комп'ютера в ідеальних умовах функціонування.

## 4. Основні показники та характеристики комп'ютерів. Закон Мура

- **Об'єм пам'яті  $V$**  визначається граничною кількістю інформації, що в ній розміщується. Вимірюється в бітах, байтах, словах і кратних їм величинах та визначається розрядністю шини адреси комп'ютера.
- **Операційний ресурс** визначається набором операцій, що реалізуються машиною. Набір операцій складає **систему команд** комп'ютера.
- **Діапазон і точність подання числової та іншої інформації** визначаються розрядністю машинного слова та форматами і формами подання даних, які використовуються в комп'ютері.
- **Швидкість обміну даними** між пристроями визначає швидкодію комп'ютера. Ця характеристика вимірюється в одиницях інформації, що передаються за одиницю часу, наприклад, Кбайт/с, Мбайт/с та ін.

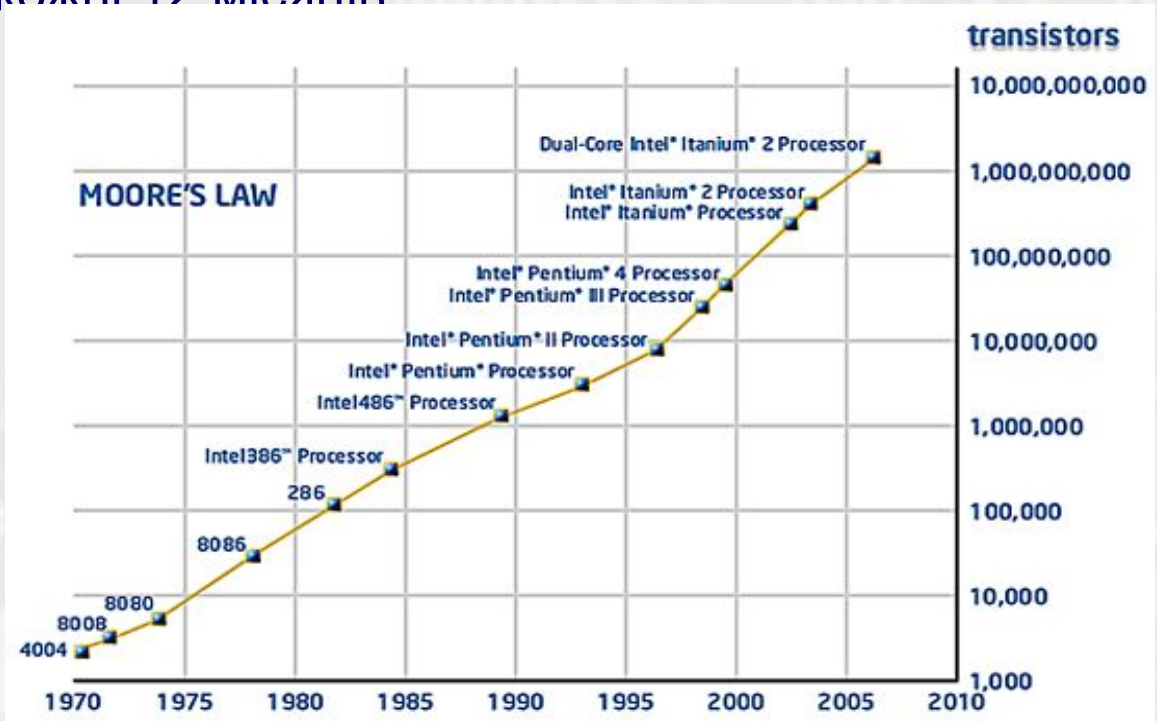
Продуктивність комп'ютера збільшується шляхом покращення характеристик його функціональних вузлів, що потребує ускладнення їх структури. Зростання ємності кристалу мікросхеми (підвищення ступеня інтеграції мікросхем) дозволяє розмішати на ньому складніші схеми, тобто реалізовувати нові архітектурні рішення.

## 4. Основні показники та характеристики комп'ютерів. Закон Мура

**Закон Мура:** кількість транзисторів, що можна розмістити на кристалі мікросхеми подвоюється кожні 12 місяців



**Гордон Мур**



- Ємність ОП зростає у чотири рази за кожні три-чотири роки.
- Швидкість функціонування ОП збільшується в два рази за чотири роки, тоді як продуктивність процесорів за той же час зростає приблизно в три рази. Тому **виникає проблема узгодження швидкодії процесора та пам'яті** (“вузького горла” ядра обчислювальної системи).

## ***Висновки***

1. Основним шляхом покращення характеристик комп'ютера є використання нових архітектурних рішень, які розробляються виходячи з рівня розвитку науки та технології і завдань, що покладають на нього. Покращення характеристик комп'ютера завжди пов'язано з додатковими економічними витратами.
2. Комп'ютер є апаратно-програмним комплексом, глибина взаємопроникнення апаратних і програмних засобів якого визначається його архітектурою. Тому іноді під архітектурою комп'ютера розуміють інтерфейс між його апаратним та програмним забезпеченням.
3. Сучасні персональні комп'ютери засновані на принципах найпростішої класичної архітектури, але суттєво вдосконаленої і модифікованої з метою максимізації їх продуктивності.
4. Більшість шляхів підвищення продуктивності комп'ютера пов'язані з використанням паралелізму обчислень і побудовою паралельних обчислювальних алгоритмів та апаратних структур.
5. “Ідеальних” архітектурних рішень не існує. Вісі вони мають, порівняно з іншими, визначені недоліки і переваги.

## ***Рекомендована література***

Мельник А.О. Архітектура комп'ютера. Наукове видання. – Луцьк: Волинська обласна друкарня, 2008., с. 17-55.