

АРХИТЕКТУРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Лекция 2

преподаватель кафедры ТМСИ

Губин Максим Владимирович

Электронные вычислительные машины (ЭВМ) получили широкое применение в науке, технике, экономике и промышленности, их интенсивное развитие диктуется постоянно растущими потребностями общества в решении все более сложных задач. Процесс совершенствования ЭВМ характеризуется расширением функциональных возможностей, сокращением стоимости и уменьшением габаритных размеров

Определение

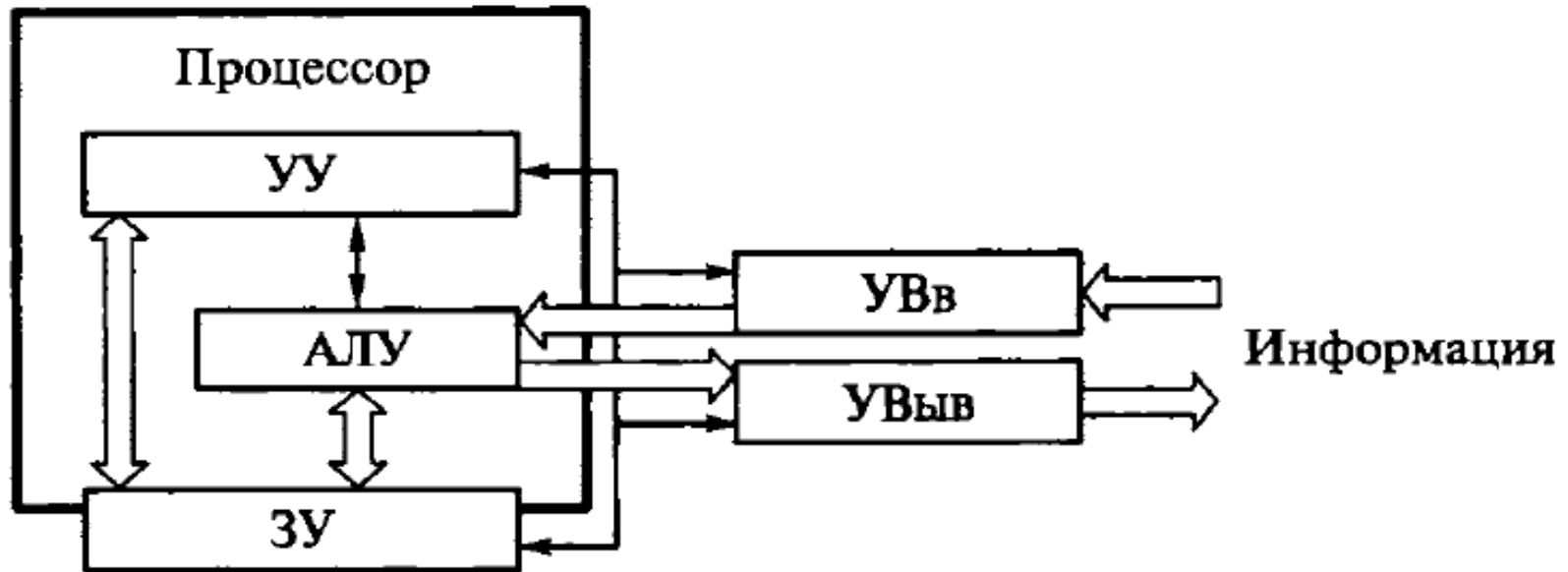
ЭВМ -- это аппаратурно-программный комплекс (Hardware & Software), предназначенный для автоматического выполнения логико-вычислительной работы: для ввода (сбора), обработки, хранения и вывода (передачи вне) информации.

Во время разработки машины EDVAC, в середине 1945 г., Дж. фон Нейман написал 100-страничный отчет, суммирующий результаты работ над ЭВМ. Этот отчет стал известен как первый «набросок» («First Draft of a Report on the EDVAC»).

Архитектурные принципы построения ЭВМ

1. Программное управление работой ЭВМ.
2. Условный переход.
3. Принцип хранимой программы.
4. Использование двоичной системы счислений.
5. Иерархичность запоминающих устройств

Функциональная структура ЭВМ дж. фон Неймана



АЛУ — арифметико-логическое устройство;

ЗУ — запоминающее устройство; УВв — устройство ввода;

УВыв — устройство вывода; УУ — устройство управления;

=> — операнды и команды; --> — управляющие сигналы

Модель вычислителя

Пусть модель вычислителя есть пара:

$$c = \langle h, a \rangle,$$

где h — конструкция вычислителя, a — алгоритм его работы.

Конструкция вычислителя допускает следующее представление:

$$h = \langle U, g \rangle,$$

где $U = \{u_i\}$ — множество устройств $u_i, i \in \{1, 2, \dots, k\}$ ($k = 5$ для концептуальной машины дж. фон Неймана);

g — структура связей между устройствами u_i (граф).

Алгоритм работы вычислителя a допускает суперпозицию программы p и данных D :

$$a(p(D)).$$

Тогда, модель вычислителя:

$$c = \langle U, g, a(p(D)) \rangle.$$

Принципы в модели вычислителя

1) последовательная обработка информации, т. е.

Последовательное выполнение:

- операций на множестве U устройств u_i ,
взаимодействующих через связи структуры g ;
- микроопераций в пределах устройств u_i , $i = \{1, \dots, k\}$;

2) фиксированность структуры g и $u_i \in U$;

3) неоднородность составляющих устройств $u_i \in U$ и связей между ними g .

Данная модель вычислителя хорошо показала себя на первых поколениях ЭВМ.

В последующих ЭВМ, основанных на новой элементной базе, технико-экономическая эффективность машин была достигнута уже за счет совмещения операций во времени их выполнения, ручной реконфигурируемости структур, возможности изменения (upgrade) составов машин.

Каждый новый проект ЭВМ характеризовался очередной модификацией принципов построения, и смена поколений ЭВМ сопровождалась все большим отходом от трех первоначальных принципов.

Другое определение ЭВМ

ЭВМ – это средство обработки информации, основанное на модели вычислителя.

Тогда, процесс проектирования ЭВМ включает в себя:

- выбор системы счисления и формы представления данных D ;
- определение средств для написания программ p вычислений;
- подбор состава U вычислительных устройств и системы операций, реализуемых ими;
- формирование структуры g ;
- выбор элементной базы и конструирование устройств $u_i \in U$;
- построение такого алгоритма a функционирования вычислителя s , который обеспечивал бы реализацию программ p .

Допустимы аппаратные, аппаратурно-программные и программные реализации модели вычислителя.

Развитие ВТ по пути создания ЭВМ ограничено, например, скоростью распространения сигналов в средах.

Определение Архитектуры ЭВМ

Архитектура вычислительного средства —

концепция взаимосвязи и функционирования его аппаратурных (Hardware) и программных (Software) компонентов.

Очевидно, что данная концепция раскрывается через совокупность свойств и характеристик, присущих вычислительному средству.

При создании машин ММ 360 фирмы International Business Machines это понятие было определено как «полная и детальная спецификация интерфейса Пользователь-ЭВМ».

Для разных специалистов одно и то же вычислительное средство выглядит в архитектурном плане различным образом.

Таксономия Флинна предложена в 1966 году

Архитектура **SISD** — это традиционный компьютер фон-Неймановской архитектуры с одним процессором, который выполняет последовательно одну инструкцию за другой, работая с одним потоком данных.

В **SIMD**-машинах один процессор загружает одну инструкцию, набор данных к ним и выполняет операцию, описанную в этой инструкции, над всем набором данных одновременно (векторные процессоры).

К классу **MISD** ряд исследователей относит конвейерные ЭВМ, однако это не нашло окончательного признания. Также, возможно считать MISD системами, системы с горячим резервированием.

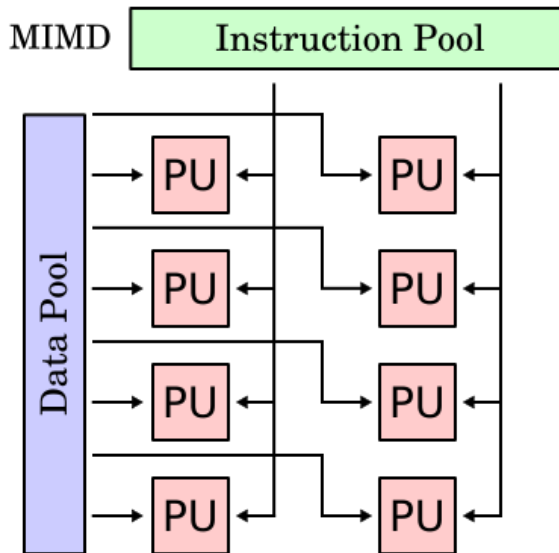
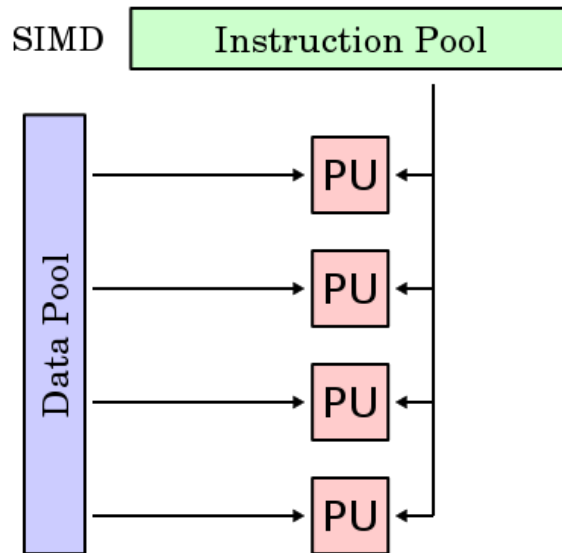
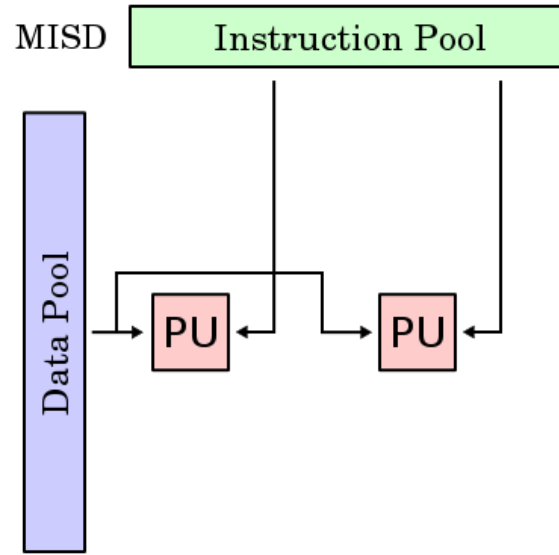
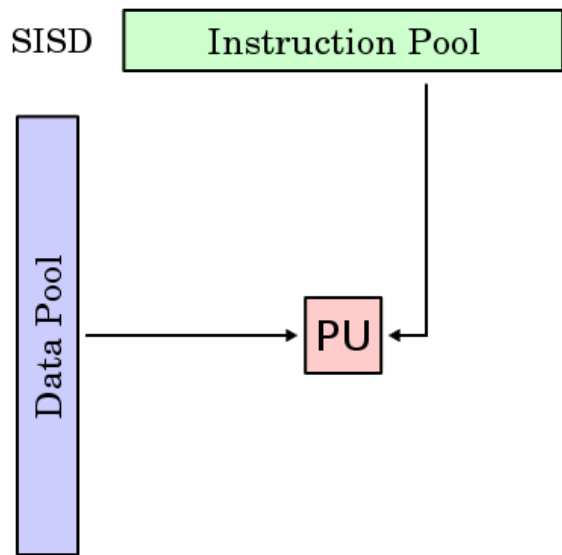
Класс **MIMD** включает в себя многопроцессорные системы, где процессоры обрабатывают множественные потоки данных (мультипроцессорные машины, многоядерные и многопоточные процессоры, а также компьютерные кластеры).

SM-MIMD (shared memory MIMD). В эту группу попадают многопроцессорные машины с общей памятью, многоядерные процессоры с общей памятью.

DM-MIMD (distributed memory MIMD). В этот под-класс попадают многопроцессорные MIMD-машины с распределенной памятью.

SM-SIMD (shared memory SIMD). К этому под-классу относятся векторные процессоры.

DM-SIMD (distributed memory SIMD). К этому под-классу относятся так называемые «матричные процессоры»



Системы с общей памятью

Системами с общей памятью называют системы, в которых несколько процессоров имеют общую оперативную память. Например, компьютеры с многоядерными процессорами (multi-core).

Преимущества:

Не требуется обмен данными.

Для таких систем просто писать программы.

Компактность систем.

Недостатки:

Проблема совместного доступа к памяти.

Проблема синхронности кэшей.

Проблема медленного обращения к оперативной памяти и её ограниченного объёма.

Проблема масштабируемости.

Системы с распределённой памятью

Система содержит несколько процессоров, каждый имеет свою оперативную память. Для обеспечения обмена информацией процессоры соединены каналами связи.

Преимущества:

Простота и дешевизна построения.

Эффективное решение задач, требующих малого обмена данными.

Возможность решать задачи, требующие очень больших объёмов оперативной памяти.

Возможность масштабирования.

Недостатки:

Проблема обмена данными.

Сложное программирование.

Большой размер систем и большое энергопотребление.

Гибридные системы

Многие современные системы представляют собой иерархию описанных выше систем.

Например, современные процессоры являются *конвейерными* процессорами, и имеют набор *векторных инструкций* (MMX, SSE и т.п.), позволяющих выполнять *одновременные вычисления* с разными данными.

Кроме того, процессор может иметь два ядра, или может быть несколько процессоров в компьютере. Таким образом, на этом уровне система представляет собой *систему с общей памятью*. Затем можно соединить несколько таких компьютеров в кластер, образовав *новый уровень иерархии: систему с распределённой памятью*.

Семейства ЭВМ

Совокупность архитектурно близких ЭВМ выделенную для фиксированного уровня развития ВТ и электронной технологии, называют **семейством**, или рядом, ЭВМ.

Пионером методологии семейств ЭВМ является фирма IBM.

Понятие «семейство ЭВМ» всегда ассоциируется с совместимостью машин.

Различают аппаратурную, программную и информационную совместимость ЭВМ в границах семейства.

Поколения ЭВМ

Первые три поколения -- это поколения ЭВМ (Computer Generations), основанных на модели вычислителя, их архитектура относилась к классу SISD.

Третье поколение ЭВМ берет начало в 1963-1965 гг. Бурное развитие (точнее, совершенствование их прежде всего по техническим параметрам) в последующие годы осуществлялось на фоне достижений в элементной базе. После появления первых интегральных схем (1959 г.) их возможности каждые 18 месяцев удваивались.

С 60-х годов именно архитектура микропроцессора определяет и архитектуру современной ЭВМ.

Сейчас не говорят о поколениях ЭВМ вообще, а говорят лишь о генерациях машин в пределах семейств (например, семейства ЭВМ PC).

Эффективность

Поколения вычислительных средств будем характеризовать совокупностью показателей эффективности и архитектурных свойств (табл. ниже). Для представления эффективности ЭВМ каждого поколения используем вектор

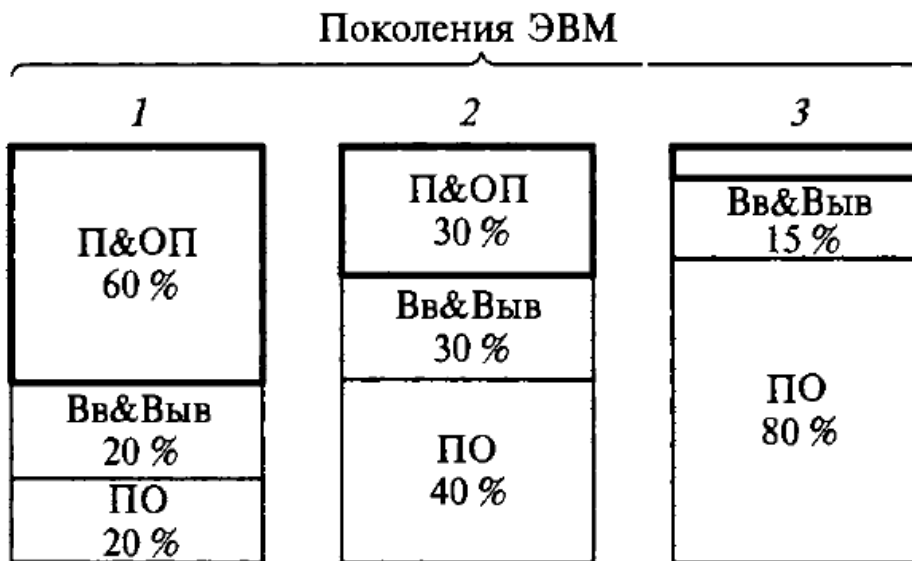
$$E = \{\omega, \nu, \vartheta, \sigma\},$$

где ω -- показатель производительности (опер./с); ν -- емкость оперативной памяти (бит); ϑ -- среднее время безотказной работы ЭВМ (ч); σ -- цена операции, определяемая как отношение цены ЭВМ к ее показателю производительности (измеряется в долларах, отнесенных к опер./с).

Таблица сравнения поколений ЭВМ

Поколение ЭВМ	Годы появления	Возможности пользования	Алгоритм управления $a(p(D))$, структура	Элементная и логико-конструктивная базы	Производство	Программное обеспечение	Средства обмена	Показатели			
								Производительность ω , опер./с	Объем памяти v , бит	Безотказность ϑ , ч	Цена 1 опер./с σ , долл.
1	1949–1951	Одна задача, пассивный режим	Последовательный алгоритм, фиксированная структура	Лампы, компоненты	Индивидуальное	Машинные языки	Устройства ввода-вывода (УВВ)	10^5	10^6	1...10	10
2	1955–1960	Набор задач, пассивный режим	Последовательно-параллельный алгоритм, фиксированная структура	Полупроводники, вентили	Мелко-серийное	Алгоритмические языки, трансляторы, диспетчеры	УВВ, каналы связи	10^6	10^7	10^2	10^0
3	1963–1965	Мультипрограммирование, активный режим	Последовательно-параллельный алгоритм, ручное изменение структуры	Интегральные схемы, группы вентилялей	Серийное	Система языков, операционные системы	УВВ, каналы связи, оптические устройства	10^7	10^8	10^3	10^{-1}

Рост стоимости системного ПО



П&ОП -- процессор и оперативная память;

Вв&Выв -- устройство ввода-вывода информации;

ПО -- программное обеспечение

Производительность ЭВМ

Сложное понятие по следующим причинам:

1. ЭВМ применяется во многих областях человеческой деятельности. Для разных задач различные архитектуры дают разную эффективность.
2. Существуют реализации на архитектурах с массовым параллелизмом.

Комплексные показатели тоже противоречивы.

Производительность ЭВМ -- способность обрабатывать информацию.

Например, кол-во операций в секунду, тактовая частота процессора, кол-во операций в секунду на наборах с плавающей запятой или фиксированной.

Номинальное быстродействие

Номинальным (или пиковым, или техническим) быстродействием (Nominal Speed или Peak Speed) ЭВМ назовем среднее число операций, выполняемых процессором (при равновероятном их выборе) в единицу времени (секунду) при работе только с оперативной памятью.

Пусть $\{k_1, k_2, \dots, k_j, \dots, k_k\}$ -- часть операций из их полного набора Системы (не требуют обращений к внешней памяти и устройствам ввода-вывода); τ_j -- время выполнения операции k_j , с; вероятность выбора любой операции k_j ($j \in \{1, 2, \dots, k\}$) есть постоянная вида $1/k$. Тогда по определению математическое ожидание времени выполнения операции в ЭВМ будет равно

$$k^{-1} \sum_{j=1}^k \tau_j;$$

следовательно, номинальное быстродействие:

$$\omega' = k \left(\sum_{j=1}^k \tau_j \right)^{-1}.$$

Неравновероятное использование

Очевидно, что при реализации на ЭВМ реальных программ решения задач имеет место неравновероятное использование тех или иных операций.

Пусть p_j ($j \in \{1, 2, \dots, k\}$) -- вероятность выбора операции k_j . Тогда средним временем выполнения операции ЭВМ и быстродействием ЭВМ по Гибсону будут:

$$\omega^0 = \left(\sum_{j=1}^k \rho_j \tau_j \right)^{-1}$$

Распределение вероятностей $\{p_j\}$, ($j \in \{1, 2, \dots, k\}$) или набор весов зависят от характера задач. Существует несколько наборов весовых коэффициентов или, как говорят, несколько «смесей Гибсона», которые отражают статистику задач, решаемых на ЭВМ.

На практике достаточно часто используют модификации показателей, в которых в подмножество $\{k_j\}$ включаются только операции с фиксированной запятой.

Тест производительности

LINPACK состоит из программ на языке FORTRAN для решения задач линейной алгебры и позволяет оценить производительность ЭВМ на вычислениях с плавающей запятой.

При анализе производительности параллельных ВС. В этом случае берутся наборы параллельных эталонных тестов, например такие, как UNPACK-Parallel и NAS Parallel Benchmark.

Первый набор оценивает производительность ВС при решении систем линейных алгебраических уравнений, а второй состоит из восьми программ, взятых из реальных аэрокосмических расчетных пакетов.

При составлении списка 500 самых мощных компьютеров мира (Top500 supercomputer list) используется тестовый набор UNPACK-Parallel.

Единицы измерения производительности ЭВМ

Для измерения тактовой частоты ЭВМ используют мегагерцы МГц, (ГГц).

Для оценки номинального быстродействия и быстродействия ЭВМ по Гибсону в случае, когда учитываются только операции с фиксированной запятой, применяются следующие единицы измерения:

- MIPS (Million of Instructions Per Second), $1 \text{ MIPS} = 10^6$ опер./с;
- GIPS, $1 \text{ GIPS} = 10^9$ опер./с.

И измерение на тестах с плавающей запятой:

- 1 FLOPS (FLoating-point Operations Per Second);
- $1 \text{ MFLOPS} = 10^6$ опер./с = 1 млн операций с плавающей запятой в секунду;
- $1 \text{ GFLOPS} = 10^9$ опер./с = 1 млрд опер./с;
- $1 \text{ TFLOPS} = 10^{12}$ опер./с = 1 трлн опер./с;
- $1 \text{ PFLOPS} = 10^{15}$ опер./с = 1 квадриллион опер./с.

Количество информации

Ввел американский инженер и математик К.Э. Шеннон

$$H = -\sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i,$$

где i -- одно из альтернативных устойчивых состояний памяти; P_i -- вероятность нахождения памяти в состоянии $i \in \{1, 2, \dots, n\}$.

Если память может находиться в любом состоянии с равной вероятностью, т. е. если $P = 1/n, i \in \{1, 2, \dots, n\}$, то количество информации определяется формулой

$$H = \log_2 n.$$

Количественная характеристика	Единица количества информации				
	Бит (Bit)	Тетрада (Tetrad)	Байт (Byte)	Слово (Word)	Массив (Array)
H	1 бит	4 бита	8 байт	1 бит	L слов
$n = 2^H$	2	16	256	2^l	2^{ll}

Показатели памяти

1 К бит (1 K bit) = 1024 бит = 2^{10} бит;

1 Мбит (1 M bit) = 1024 К бит = 2^{20} бит;

1 Гбит (1 G bit) = 1024 Мбит = 2^{30} бит;

1 Тбит (1 T bit) = 1024 Гбит = 2^{40} бит;

1 Пбит (1 P bit) = 1024 Тбит = 2^{50} бит.

Ширина выборки -- определяется количеством информации, записываемой в память или считываемой из нее за одно обращение.

Время выборки -- промежуток времени с момента подачи сигналов чтения или записи до завершения соответствующей операции.

Быстродействие памяти характеризуется пропускной способностью или скоростью обмена информацией между ней и другими устройствами (1 бод = 1 бит/с).

Удельная стоимость

Для оценки технико-экономических возможностей памяти используют показатель удельной стоимости (цены). Этот показатель равен отношению стоимости (цены) памяти к ее емкости. Единицей для численного выражения удельной стоимости памяти служит стоимость бита хранимой информации (например, 1 руб./бит или 1 dollar/bit).

Надежность ЭВМ

Не вдаваясь в конструктивные особенности разных компонентов ЭВМ, используя методы из теории надежности и массового обслуживания, рассмотрим:

Отказом называется событие, при котором ЭВМ теряет способность выполнять заданные функции по переработке информации (включая функции по вводу и выводу информации, хранению и собственно преобразованию информации).

Различают полный и частичный отказы ЭВМ.

Восстановлением называется событие, заключающееся в том, что отказавшая ЭВМ полностью приобретает способность выполнять заданные функции по обработке информации.

Функция надежности ЭВМ

Функция восстановления ЭВМ

Функция готовности ЭВМ

Функция осуществимости решения задач на ЭВМ

Технико - экономический анализ функционирования ЭВМ

К технико-экономическим относятся такие показатели ЭВМ, которые характеризуют экономическую сторону разработки, производства, ввода в действие и эксплуатации машины как единого комплекса аппаратурно-программных средств

Способы повышения производительности ЭВМ

- 1) совершенствование и разработка алгоритмов решения задач;
- 2) создание эффективного ПО и оптимизация программ;
- 3) повышение быстродействия и улучшение физико-технических свойств элементов и внутримашинных информационных каналов;
- 4) улучшение алгоритмов выполнения машинных операций и соответствующая модификация структуры процессора;
- 5) модернизация алгоритма управления вычислительными процессами и канонической структуры ЭВМ.