

Тема 1. Эволюция развития и современное состояние вычислительной техники

Основные вопросы:

- 1.1. Краткий исторический обзор.
- 1.2. Поколения ЭВМ. Эволюция информационных технологий.
- 1.3. Развитие средств вычислительной техники на современном этапе.

1.1. Краткий исторический обзор

Начнем обзор с упоминания двух событий, произошедших до нашей эры: **первые счеты — абак**, изобретенные в древнем Вавилоне за 3000 лет до н. э., и их более «современный» вариант с косточками на проволоке, появившийся в Китае примерно за 500 лет также до н. э.

Начало XVII века — появление первой механической машины, способной производить 4 арифметических действия.

В **1623 г. В. Шиккард** (1542—1635) изобрел машину, которая не только суммировала, но и частично умножала и делила. Об этой машине мало что известно.

Более известен настольный арифмометр, созданный в **1642 г.** великим **французским философом и ученым Б. Паскалем** (1623—1662). Ему пришла идея механизировать канцелярские расчеты, которые производил его отец, бывший муниципальным инспектором по налогам.

В **1671 г.** немецкий философ и математик **Г. Лейбниц** (1646—1716) создал «зубчатое колесо Лейбница», выполнявшее 4 арифметических действия.

XIX век был веком «значительных» вычислений, выполняемых вручную, — это и составление таблиц логарифмов, и расчеты в астрономии и др.

Задавшись целью автоматизировать процессы создания таких таблиц, **английский математик Ч. Бэббидж** (1791—1871) начал работать в 1821 году над проектированием «разностной машины». По его замыслу эта машина с зубчатыми колесами должна была вычислять значения полиномов. Приводить в движение машину предполагалось с помощью парового двигателя. Однако реализовать эту машину не удалось.

Новая счетная **машина Бэббиджа** получила название «**аналитическая**» и в **1834 г.** он изложил ее основные принципы. Эта машина впервые была применена в ткацком станке с перфокарточным управлением. На одном станке можно было ткать ткани с различными узорами в зависимости от комбинации отверстий на перфокартах.

По замыслу Бэббиджа такая машина должна была автоматически выполнять различные вычисления при последовательном вводе набора перфокарт, содержащих команды и данные.

Аналитическая машина — это программируемая автоматическая ВМ с последовательным управлением, содержащая арифметическое устройство и память.

Меценат проекта — графиня **Ада Августа Лавлейс** (1815—1852) — дочь лорда Байрона — была программисткой этой ВМ. В ее честь назван язык программирования АДА. Реализация машины завершилась лишь на экспериментальной стадии.

К заслуживающим внимание отличительным чертам аналитической машины следует отнести появление *команды условного перехода*.

Во второй половине XIX века **Г. Холлерит** (1860—1929) **разработал машину с перфокарточным вводом**, способную автоматически классифицировать и составлять таблицы данных. Эта машина использовалась в 1890 г. в США при проведении переписи населения. Наличие – отсутствие отверстия в перфокарте обнаруживалось электрическими контактными щетками, а в счетчиках применялись реле.

В **1896 г. Холлерит** основал фирму, которая явилась предшественником IBM¹ (название IBM возникло в 1924 г.). Перфокарты, используемые в этой переписи населения, были применены впоследствии фирмой IBM.

В **Германии в 1938 г. К. Цузе** (1910—1995) создал механическую вычислительную машину Z1. В ней впервые были использованы двоичные числа.

США 1944 г., Г. Айкен (1900—1973) спроектировал универсальную машину, которая появилась на свет при содействии фирмы IBM. Она называлась Mark-I. На проект машины оказали влияние идеи Бэббиджа, поэтому она оперировала десятичными числами.

Скорость вычислений в механических машинах и в машинах на электромеханических реле была не высока, поэтому в 30-х годах начались разработки электронных вычислительных машин (ЭВМ), элементной базой которых стала трех электродная вакуумная лампа — триод, изобретенная **в 1906 г. Л. Форостом**.

Первая ЭВМ **ENIAC** (Electronic Numerical Integrator And Calculator) появилась в **1946 г.** и была разработана в университете г. Пенсильвания под руководством **Дж. Маушли** и **Дж. Эккерта**. Разработка началась в 1943 г. и закончилась в 1946 г.

Машина весила 30 т, занимала площадь 200м², содержала 18 тыс. ламп и потребляла мощность 140 квт., использовала десятичные операции и ее **программирование осуществлялось путем установки переключателей и коммутации разъемов**. При этом на программирование уходило много времени, и еще вставала проблема с многочисленными ошибками.

Джон фон Нейман (1903—1957), являвшийся в то время консультантом проекта **ENIAC**, предложил записывать алгоритм вычислений в память вместе с данными так, чтобы содержимое его можно было свободно изменять вместе с данными. Этот принцип получил название «*Принцип хранимой программы*».

Дж. Фон Нейман выделил и детально описал **5 ключевых компонентов** того, что сейчас называют «Архитектура фон Неймана» современного компьютера.

Компьютер для обеспечения критериев эффективности и универсальности должен включать в себя следующие компоненты:

1. Центральное арифметико-логическое устройство (АЛУ);
2. Центральное устройство управления (УУ);
3. Запоминающее устройство (ЗУ);
4. Устройство ввода информации;

¹ International Business Machine

5. Устройство вывода информации.

На рис. 1.1. представлена архитектура компьютера, предложенная Дж. Фон Нейманом, которая должна работать *с двоичными числами*, быть *электронной* и *выполнять операции последовательно*.

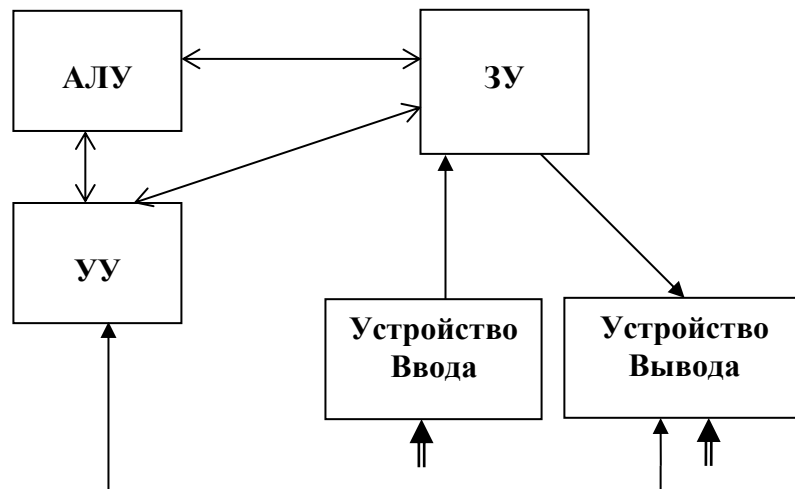


Рис. 1.1. Базовые компоненты архитектуры Фон Неймана

Важнейшие даты развития средств ВТ в России:

1874 г. — русский инженер **В.Т. Однер** изобрел механический арифмометр

1878 г. — акад. **П.Л. Чебышев** изобрел механическую ВМ, которая выполняла $+$, $-$, $*$, $/$

1911 г. — Акад. **А.Н. Крылов** предложил ВМ для решения арифметических уравнений

1918 г. — **М. Бонч-Бруевич** изобрел триггер (электронное реле)

1951 г. — создание первой ЭВМ **МЭСМ** (Малая Электронная Счетная Машина) под руководством акад. С.А. Лебедева (г. Киев, институт Кибернетики).

1955 г. создание машины **БЭСМ** (Быстродействующая Электронная Счетная Машина) в Институте точной механики и вычислительной техники Академии наук СССР (ИТМВТ) г. Москва. Быстродействие 7—8 тыс. оп/сек

1.2. Поколения ЭВМ. Эволюция информационных технологий

В качестве узловых моментов, определяющих появление нового поколения ВТ, обычно выбираются **революционные идеи** или **технологические прорывы**, кардинально изменяющие дальнейшее развитие средств автоматизации вычислений. Одной из таких идей принято считать **концепцию вычислительной машины с хранимой в памяти программой**, сформулированную Джоном фон Нейманом.

Взяв ее за точку отсчета, историю развития ВТ можно представить в виде трех этапов:

- *донеимановского периода;*

- *эры вычислительных машин и систем с фон-неймановской архитектурой;*
- *постнеймановской эпохи — эпохи параллельных и распределенных вычислений,* где наряду с традиционным подходом все большую роль начинают играть отличные от фон-неймановских принципы организации вычислительного процесса.

Значительно большее распространение, однако, получила привязка поколений к смене технологий. Принято говорить о «механической» эре (нулевое поколение) и последовавших за ней пяти поколениях ВС.

Первые четыре поколения традиционно связывают с элементной базой вычислительных систем: электронные лампы, полупроводниковые приборы, интегральные схемы малой степени интеграции (ИМС), большие (БИС), сверхбольшие (СБИС) и ультра большие (УБИС) интегральные микросхемы.

Нулевое поколение (1492—1945) было рассмотрено разделе 1.1.

«Механическая» эра (нулевое поколение) в эволюции ВТ связана с механическими, а позже — электромеханическими вычислительными устройствами. Основным элементом механических устройств было зубчатое колесо. Начиная с XX века роль базового элемента переходит к электромеханическому реле. Не умаляя значения многих идей «механической» эры, необходимо отметить, что ни одно из созданных устройств нельзя с полным основанием назвать вычислительной машиной в современном ее понимании.

Поколение ЭВМ — серия машин, обладающих едиными научными и техническими принципами построения, возможно созданными в разных странах и фирмах.

Смена поколения определяется:

1. изменением элементной базы;
2. новыми решениями в архитектуре;
3. изменениями в вычислительном процессе и программном обеспечении.

1-ое поколение: 1945 г. — середина 50-х гг.

Элементная база — электронные лампы (остальные компоненты компьютеры использовали резисторы, конденсаторы, трансформаторы.)

Для ЗУ использовались ферритовые сердечники.

Архитектура: архитектура Дж. Фон - Неймана.

Производительность: 10^2 опер/сек- $20 \cdot 10^3$ опер/сек.

Пример: ENIAC - «+» — 500 опер/сек

«*» — 40 опер/сек.

МЭСМ (1950—51 гг.) выполняла 50 опер/сек и 7 тыс. опер/мин.

Стрела, Урал 1;2, БЭСМ-4 — 10 тыс. опер/сек. 1953г.

Программирование: машинные коды.

Основной тип машин: большие машины, потребляли большую мощность и занимали большую площадь.

На рис. 1.2 приведена архитектура ЭВМ 1-го и 2-го поколений, сплошными стрелками указаны информационные потоки, пунктирными — управляющие.

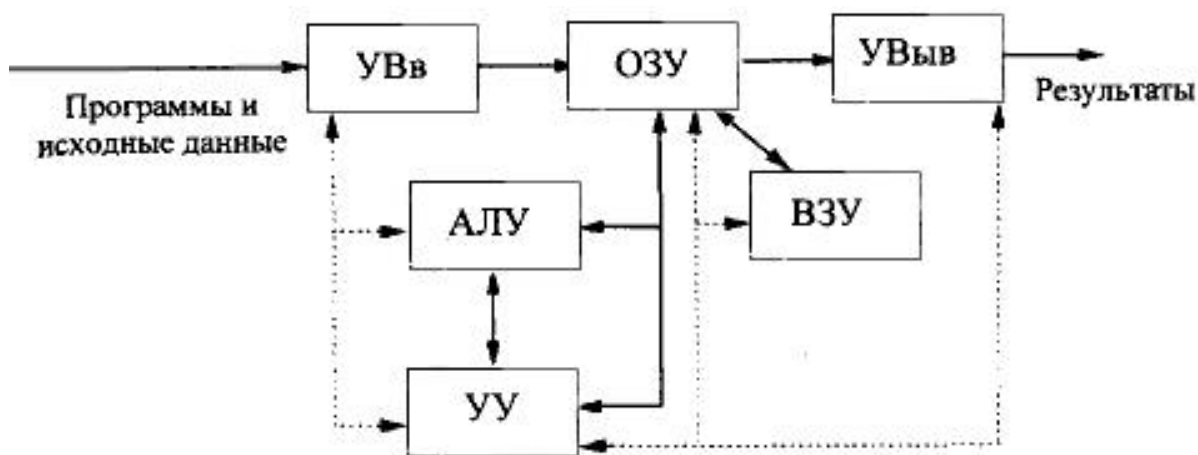


Рис. 1.2. Архитектура ЭВМ 1-го и 2-го поколений

2-ое поколение: середина 50-х — середина 60-х гг.

Элементная база: полупроводниковые приборы.

Производительность: 10^3 опер/сек— 10^5 опер/сек.

Примеры: RCA (США)

Минск -22(32).

Для ЗУ: магнитная лента.

Программирование на языках: Алгол, Фортран, Ассемблер.

Основной тип: большие машины.

Развитие ПО: появляются операционные системы и трансляторы.

Критерий эффективности: время решения задач и объем используемой памяти.

Появление первых средств мультипрограммирования

Расширение групп пользователей.

3-е поколение середина 60-х — конец 70-х гг.

Элементная база: интегральная микросхема.

Производительность: 10^6 опер/сек

Внешнее устройство: расширенный набор программ для ввода/вывода информации.

Примеры: IBM 360/370, ЕС ЭВМ, БЭСМ, СМ ЭВМ — семейство малых ЭВМ

Программирование на языках: Алгол, Фортран, Ассемблер, Кобол, Бейсик, Паскаль, ПЛ/1.

Основной тип: большие машины.

Развитие ОС: появление UNIX

Ключевая технология: режим разделения времени, мультипрограммирование.

Критерий эффективности: трудоемкость разработки программ.

На рис. 1.3. приведена обобщенная архитектура ЭВМ 3-го поколения.

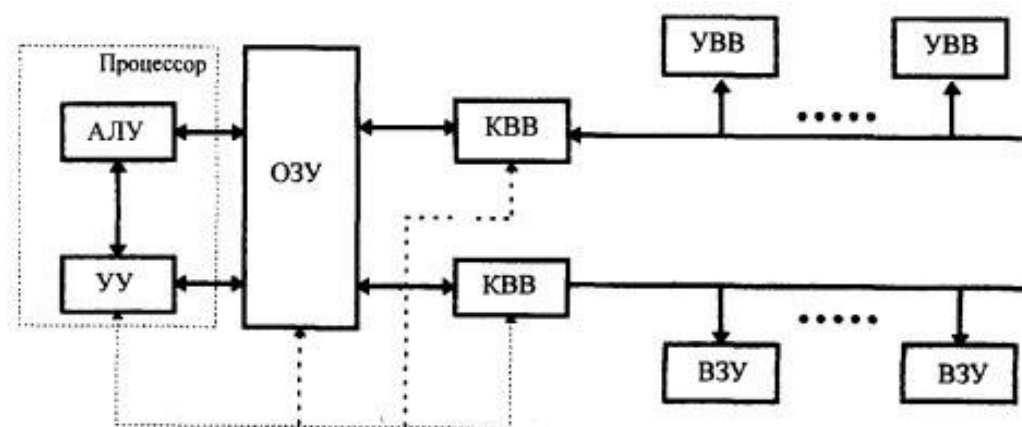


Рис. 1.3. Архитектура ЭВМ 3-го поколения

4-е поколение: конец 70-х — 85 гг.

Элементная база: БИС, СБИС, появление микропроцессоров.

Производительность: 10^6 — 10^8 опер/сек

Пример: Многопроцессорный вычислительный комплекс "Эльбрус".

Эльбрус -1КБ имел быстродействие до 5,5 млн. операций с плавающей точкой в секунду, а объем оперативной памяти до 64 Мб. У "Эльбрус-2" производительность до 120 млн. операций в секунду, емкость оперативной памяти до 144 Мб или 16 Мслов (слово = 72 двоичных разряда), максимальная пропускная способность каналов ввода-вывода — 120 Мб/с.

Языки программирования:

- проблемно-ориентированные;
- объектно-ориентированные;
- Паскаль и С

Основной тип:

- персональные
- рабочие станции
- многопроцессорные
- транспьютерные системы
- суперкомпьютеры
- микро ЭВМ.

На рис. 1.4 приведена структурная схема персонального компьютера (ПЭВМ).

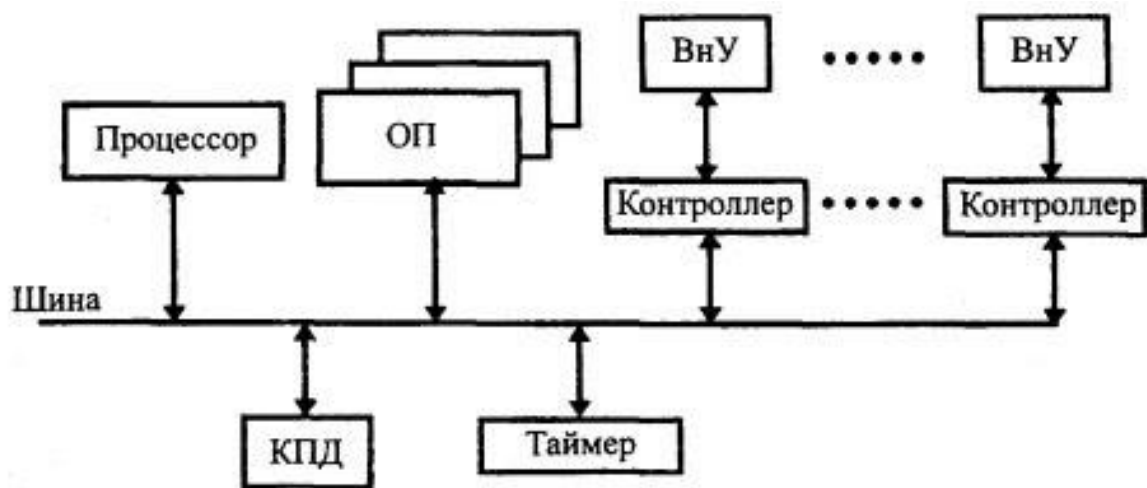


Рис.1.4. Структурная схема ПЭВМ

5-ое поколение: 85—95 гг.

Пятое поколение в общепринятой интерпретации ассоциируют не столько с новой элементной базой, сколько с интеллектуальными возможностями ВС. Работы по созданию ВС пятого поколения велись в рамках четырех достаточно независимых программ, осуществлявшихся учеными США, Японии, стран Западной Европы и стран Совета экономической взаимопомощи. Ввиду того, что ни одна из программ не привела к ожидаемым результатам, разговоры о ВС пятого поколения понемногу утихают. Трактовка пятого поколения явно выпадает из «технологического» принципа. С другой стороны, причисление всех ВС на базе сверхбольших интегральных схем (СБИС) к четвертому поколению не отражает принципиальных изменений в архитектуре ВС, произошедших за последние годы.

Японский проект «Интеллектуальные ЭВМ»:

- Общение с ЭВМ на языке проблемной области (речевой ввод данных, ввод текста, графики, изображения).
- Понимание описываемой проблемы на языке, близком к естественному.
- Автоматический синтез процедуры обработки данных.
- Манипуляция знаниями и получение логических выводов на основе БД.

Машины логического вывода.

В полном объеме проект реализован не был.

Главным поводом для выделения вычислительных систем второй половины 80-х годов в самостоятельное поколение стало стремительное развитие ВС с сотнями процессоров, ставшее побудительным мотивом для прогресса в области параллельных вычислений. Ранее параллелизм вычислений выражался лишь в виде конвейеризации, векторной обработки и распределения работы между небольшим числом процессоров. **Вычислительные системы пятого поколения** обеспечивают такое распределение задач по множеству процессоров, при котором каждый из процессоров может выполнять задачу отдельного пользователя.

В рамках пятого поколения в архитектуре вычислительных систем сформировались два принципиально различных подхода: *архитектура с совместно используемой памятью*, и *архитектура с распределенной памятью*.

Характерным примером первого подхода может служить система **Sequent Balance 8000**, в которой имеется большая основная память, разделяемая 20 процессорами. Помимо этого, каждый процессор оснащен собственной кэш-памятью. Каждый из процессоров может выполнять задачу своего пользователя, но при этом в составе программного обеспечения имеется библиотека подпрограмм, позволяющая программисту привлекать для решения своей задачи более одного процессора. Система широко использовалась для исследования параллельных алгоритмов и техники программирования.

Второе направление развития систем пятого поколения — системы с распределенной памятью, где каждый процессор обладает своим модулем памяти, а связь между процессорами обеспечивается сетью взаимосвязей. Примером такой ВС может служить система iPSC-1 фирмы Intel, более известная как «гиперкуб». Максимальный вариант системы включал 128 процессоров. Применение распределенной памяти позволило устранить ограничения в пропускной способности тракта «процессор—память», но потенциальным «узким местом» здесь становится сеть взаимосвязей.

Наконец, третье направление в архитектуре вычислительных систем пятого поколения — это ВС, в которых несколько тысяч достаточно простых процессоров работают под управлением единого устройства управления и одновременно производят одну и ту же операцию, но каждый над своими данными. К этому классу можно отнести **Connection Machine** фирмы **Thinking Machines Inc.** и **MP-1** фирмы **MasPar Inc.**

В научных вычислениях по-прежнему ведущую роль играют векторные суперэвм. Многие производители предлагают более эффективные варианты с несколькими векторными процессорами, но число таких процессоров обычно невелико (от 2 до 8).

RISC-архитектура выходит из стадии экспериментов и становится базовой архитектурой для рабочих станций (workstations).

Знаковой приметой рассматриваемого периода стало стремительное развитие **технологий глобальных и локальных компьютерных сетей**. Это стимулировало изменения в технологии работы индивидуальных пользователей. В противовес мощным универсальным ВС, работающим в режиме разделения времени, пользователи все более отдают предпочтение подключенным к сети индивидуальным рабочим станциям. Такой подход позволяет для решения небольших задач задействовать индивидуальную машину, а при необходимости в большой вычислительной мощности обратиться к ресурсам подсоединенных к той же сети мощных файл-серверов или суперэвм.

6-ое поколение: 1995 — наст. время

На ранних стадиях эволюции вычислительных средств смена поколений ассоциировалась с революционными технологическими прорывами. Каждое из первых четырех поколений имело четко выраженные отличительные признаки и вполне определенные хронологические рамки. Последующее деление на поколения уже не столь очевидно и может быть понятно лишь при ретроспективном взгляде на развитие вычислительной техники. **Пятое и шестое поколения в эволюции ВТ — это отражение нового качества, возникшего в результате последовательного**

накопления частных достижений, главным образом в архитектуре вычислительных систем и, в несколько меньшей мере, в сфере технологий.

Поводом для начала отсчета нового поколения стали значительные успехи в области параллельных вычислений, связанные с широким распространением вычислительных систем с массовым параллелизмом. Особенности организации таких систем, обозначаемых аббревиатурой **MPP (Massively Parallel Processing)**, будут рассмотрены в ниже. Здесь же упрощенно определим их как совокупность большого количества (до нескольких тысяч) взаимодействующих, но достаточно автономных вычислительных машин. По вычислительной мощности такие системы уже успешно конкурируют с суперЭВМ, которые по сути в начале своего развития являлись векторными ВС. Появление вычислительных систем с массовым параллелизмом дало основание говорить о производительности, измеряемой в **TFLOPS** ($1 \text{ TFLOPS} = 10^{12}$ операций с плавающей запятой в секунду).

Вторая характерная черта шестого поколения — резко возросший уровень рабочих станций. В процессорах новых рабочих станций успешно совмещаются RISC-архитектура, конвейеризация и параллельная обработка. Некоторые рабочие станции по производительности сопоставимы с суперэвм четвертого поколения. Впечатляющие характеристики рабочих станций породили интерес к гетерогенным (неоднородным) вычислениям, когда программа, запущенная на одной рабочей станции, может найти в локальной сети не занятые в данный момент другие станции, после чего вычисления распараллеливаются и на эти простаивающие станции.

Наконец, **третьей приметой шестого поколения в эволюции ВТ стал взрывной рост глобальных сетей.**

Завершая обсуждение эволюции ВТ, отметим, что верхняя граница шестого поколения хронологически пока не определена и дальнейшее развитие вычислительной техники может внести в его характеристику новые коррективы. Не исключено также, что последующие события дадут повод говорить и об очередном поколении.

1.3. Развития средств вычислительной техники на современном этапе

1. Совершенствование элементной базы от микропроцессора до принципиально новых компьютеров: оптических, биологических, нейрокомпьютеров, молекулярных, квантовых.
 2. Бурное развитие сетевых технологий в рамках локальных сетей и супер-эвм + глобальные сети — **GRID-технологии, метакомпьютинг, облачные вычисления.**
 3. Массовость и доступность средств обработки информации.
- 2 и 3 влечет за собой принципиальное изменение рынка труда в сторону роста производителей ИТ-продукции!!*
4. Рост сложно решаемых задач и как результат — рост требований к производительности вычислительных средств.

Примеры сложных расчетных задач:

- а) исследования сверхпроводимости.
- б) расчет генома человека.
- в) задачи фармакология
- г) расчет прогноза погоды и др.

5. Мощные компьютеры есть показатель уровня развития общества.

Информацию о тенденциях развития современных суперкомпьютеров см. в презентации академика В.К.Левина

В презентации приведены данные на ноябрь 2014 г.

Верхний уровень производительности суперкомпьютеров – экстраполяция данных списков Top 500

Годы	2008	2012	2015–16	2018–20
Прогноз [Petaflops]	1	10	100	1000

Факторы повышения производительности:

- физическое быстроедействие компонентов;
- структурный параллелизм
 - внутрипроцессорный и многопроцессорный;
- проблемная ориентация – специализация.

**2011 г. Intel
Knight Corner:**
>50-процессорный чип,
22 нм, 1 Tflops

СК 2015 г. - 100 Pflops,
50–100 тыс. чипов,
~100 стоек, ~10 МВт,
4–8 млн. процессоров

Факторы развития суперкомпьютинга

- Микроэлектроника:
 - быстродействие и уровень интеграции;
 - надежность;
 - стоимость;
 - энергопотребление, теплоотвод.
- Системная интеграция – разнообразие кластеров; программное обеспечение; общая память; сферы и методы применений.
- Проблемно-ориентированные системы.
- Grid-технологии:
 - взаимодействие крупных ВЦ;
 - сети массовых компьютеров.
- Защита информации: модели угроз, нормы, средства защиты, организация эксплуатации.
- Инфраструктура, координация и обмен опытом.
- Поисковые исследования, «нетрадиционные» напр.

|| массовость
производства

Облачные
вычисления

«Ломоносов», НИВЦ МГУ, 2009 г. 414 Tf/s пик.



250 м²
1,5 МВт

4420 узлов по два 4-ядерных Xeon; 2,93 ГГц;
суммарн. оперативная память **57 GB**; сеть Infiniband

