**1. Историческая справка**

**1.1. Периоды создания и развития вычислительной техники**

В истории развития вычислительных машин различают домеханический, механический, электрический и электронный периоды. Рассмотрим каждый из них подробнее.

**1.1.1. Домеханический период**

Простым и эффективным приспособлением для счета, известным уже в V−IV вв. до н.э. в Греции и Западной Европе, был так называемый *абак*, представляющий собой пластину, выполненную из различных материалов, покрытую слоем пыли. На ней острой палочкой проводили линии и в получившихся колонках по позиционному принципу размещали какие–нибудь предметы, например, камешки или палочки. В Древнем Риме *абак* представлял собой пластину, имеющую полосковые углубления, в которых располагались счетные кости или шарики. Вычисления производились путем перекладывания в определенном порядке камешков, костей и т.п. Китайцы на аналогичном приспособлении (*суан–пан*) в XII−XIII вв. научились выполнять такие сложные математические операции, как извлечение корня квадратного и корня кубического. С его помощью они решали линейные уравнения и считали, что таким образом можно выполнить любую математическую операцию. Они же пришли к выводу, что для выполнения операций необходимы определенные правила — алгоритмы. От *абака* на рубеже XVI−XVII вв. произошли и русские *счеты*, которыми пользовались чуть не до конца XX века.

Великим творцом эпохи Возрождения Леонардо да Винчи (1452−1519 гг.) был разработан эскиз тринадцатиразрядного суммирующего устройства с десятизубыми колесами. Позднее по этому эскизу фирма IBM в целях рекламы построила работоспособную машину.

Знаменательным событием в области усовершенствования инструментального счета было изобретение логарифмов. В 1614 г. шотландский математик Джон Непер (1550−1617 гг.) опубликовал трактат «Описание удивительных таблиц логарифмов» — первое руководство по вычислениям с помощью логарифмов. Изобретение логарифмов позволило существенно упростить выполнение операций умножения и деления, которые были сведены к более простым арифметическим операциям сложения и вычитания. Непер изобрел также палочки для счета, которые впоследствии получили название *палочек Непера*. *Палочки Непера*, как и сам метод, быстро получили распространение в Европе и были одно время даже более популярны, чем логарифмы.

Открытие логарифмов послужило основой для создания логарифмической линейки, появление прототипа которой относят к началу XVII века. Первые логарифмические линейки были изобретены в Англии. Почти 3,5 столетия логарифмическая линейка господствовала среди всех счетных средств.

**1.1.2. Механический период**

Биографии механических вычислительных машин ведутся от машины восемнадцатилетнего французского математика и физика Блеза Паскаля (1623–1662 гг.). Первую модель вычислительной машины, которая получила распространение и могла выполнять арифметические операции сложения и вычитания, он создал в 1642 г. В 1645 г. арифметическая машина «Паскалина», или «Паскалево колесо», получает законченный вид. До настоящего времени сохранилось восемь его машин. Одна из них находится в Музее искусств и ремесел в Париже, где собрана полная коллекция математических инструментов (в том числе и модель арифмометра русского ученого П.Л. Чебышева).

Первая счетная машина, которая механически производила сложение, вычитание, умножение и деление была изобретена в 1670 г. немецким математиком, физиком, философом и изобретателем Готфридом Вильгельмом Лейбницем (1646–1716 гг.). Машина получила название *арифмометр*, ее окончательный вариант был завершен в 1710 г. Но машина была еще несовершенна, а потому не получила широкого распространения. Однако арифмометр Лейбница содержал уже почти все принципы работы позднейших механических арифмометров.

В XIX веке были сделаны открытия в области физики, станкостроения и автоматизации производства, которые положили начало интенсивному развитию вычислительной техники. В 1801–1804 гг. французский изобретатель Ж.М. Жаккар впервые использовал перфокарты для управления автоматическим ткацким станком.

Самым значительным событием XIX века в области создания вычислительной техники стал проект *разностной машины* английского математика Чарльза Бэббиджа (1791–1871 гг.), впервые в истории высказавшего идею создания вычислительных машин с программным управлением. Работать над машиной Ч. Бэббидж начал в 1812 г., к 1822 г. он построил действующую разностную машину и рассчитал на ней таблицу квадратов. Но более совершенную машину изготовить не удалось, поскольку в то время развитие техники и производство точных механизмов находились на недостаточно высоком уровне.

**1.1.3. Электрический период**

К 30–м годам XX века стала очевидной связь между релейными схемами и *алгеброй логики* (*булевой алгеброй*), основы которой заложил английский математик и логик Джордж Буль (1815–1864 гг.) в работе 1847 г. «Математический анализ логики». Идеи своей алгебры он развил в вышедшей в свет в 1854 г. работе «Исследование законов мышления». Когда появилась принципиальная возможность создания средств вычислительной техники на электрической базе, логические операции, введенные Дж. Булем, оказались весьма полезны. Они изначально ориентированы на работу только с двумя сущностями: *истина* и *ложь*. Нетрудно понять, как они пригодились для работы с двоичным кодом, который в вычислительных машинах представляется всего двумя сигналами: *выключено* и *включено* (ноль и единица). Начиная с 30–х гг. XX века появляются вычислительные машины, использующие логические схемы для электромагнитных реле и оперирующие перфокартами. Эти машины могли выполнять довольно сложные арифметические вычисления.

Первая удачная попытка построить универсальную цифровую машину была предпринята в 1937 г. в США математиком Говардом Айткеном. Эта машина получила название *вычислительной машины с автоматическим управлением последовательностью операций* и известна под именем «Марк–1». Над первым вариантом машины Г. Айткен работал до 1944 г., машина создавалась на базе фирмы IBM и имела программное управление, программа набиралась на коммутационных досках и переключателях. Машина была выполнена на релейных и механических элементах. Это еще не была машина с хранимой и гибко изменяющейся программой, однако она уже показала возможность построения автоматических вычислительных машин, состоящих из большого числа логических элементов. Арифметическое и запоминающее устройства были выполнены на электромеханических устройствах. Основным логическим элементом в схемах, как и в СПМ, были реле. Посравнению с СПМ машина «Марк–1» имела достаточно длинную последовательность программных кодов и хорошее для своего времени быстродействие. Но, как и всякое механическое устройство, машина не обладала тем быстродействием, которое позволило бы осуществить качественный скачок в технологии вычислений. Улучшенная конструкция на реле повышенной надежности легла в основу ЦВМ «Марк–2».

В конце 30–х гг. С.А. Лебедев (1902–1974 гг.) в Институте электротехники АН УССР приступил к конструированию ЭВМ, работающей в двоичной системе счисления. В 1941 г. работа была прервана.

В 1939 г. в США Дж. Стибниц закончил работу над релейной машиной фирмы «Белл», начатую в 1937 г. Машина выполняла арифметические операции над комплексными числами в двоично–пятеричной системе их представления. Это был релейный интерпретатор, управляемый программной перфолентой. В 1940 г. был проведен эксперимент по управлению на расстоянии вычислительной машиной «Белл–1». А в 1942 г. Дж. Стибниц сконструировал вычислительное устройство с программным управлением «Белл–2».

Одной из наиболее совершенных релейных вычислительных машин была советская машина РВМ–1, сконструированная в начале 50–х гг. выдающимся инженером Н.И. Бессоновым (1906–1963 гг.) и построенная в 1956 г. Эта машина успешно работала до 1966 г.

Главными недостатками релейных машин являлось отсутствие хранимой программы, что обусловливалось небольшим объемом оперативной памяти, и невысокая скорость работы, вызванная низким быстродействием электромеханических релейных переключателей.

**1.1.4. Электронный период**

В начале 40–х годов XX века потребность в автоматизации вычислений стала настолько велика, что над созданием машин типа построенных К. Зюсом и Г. Айткеном одновременно работало несколько групп исследователей. В США исследования с ЭВМ продолжил Джон Моучли, который в 1941 г. детально ознакомился с проектом Дж. В. Атанасова, а в 1942 г. предложил собственный проект вычислительной машины, предназначенной для военных целей. В 1943 г. начались работы над реализацией проекта Дж. Моучли по заданию Баллистической исследовательской лаборатории Армии США. Работы велись в Пенсильванском университете под руководством Дж. Моучли и инженера–электронщика Д.П. Эккерта. Ученые начали конструировать вычислительную машину на основе электронных ламп, а не электрических реле. Их машина, названная ENIAC (ЭНИАК) — Electronic Numerical Integrator and Computer (электронный цифровой компьютер), в основном была закончена в 1944 г., её окончательный вариант был введен в строй 15 февраля 1946 г.

В 1945 г. Дж. фон Нейман разработал концепцию электронно–вычислительной машины EDVAC (Electronic Discrete Variable Computer) с вводимыми в память программами и числами. Сама машина была завершена в 1950 г. Главными элементами концепции были: принцип хранимой программы и принцип параллельной организации вычислений, согласно которому операции над числом проводятся по всем его разрядам одновременно.

В 1946 г. вместе с Г. Гольдстейном и А. Берксом он написал и выпустил отчет «Предварительное обсуждение логической конструкции электронной вычислительной машины», в котором и были изложены основные принципы логической структуры ЭВМ нового типа.

Авторы всесторонне обосновывали предлагаемые принципы и давали технические проработки их реализации в новой машине. Они утверждали, что ЭВМ должна создаваться на электронной основе и работать в двоичной системе счисления. В ее состав должны входить: *арифметическое устройство* с представлением чисел в форме с плавающей точкой, центральное *устройство управления*, *запоминающие устройства* (в том числе оперативное запоминающее устройство для чисел и команд и связанное с ним внешнее запоминающее устройство большой емкости), устройства *ввода данных* и *вывода* результатов на печать. В системе команд должны быть команды *условной* и *безусловной передачи управления.*

Принципы Дж. фон Неймана определили на многие годы бурное развитие цифровой вычислительной техники. Более того, архитектура большинства ЭВМ с последовательным выполнением команд в программе получила название *фон Неймановской архитектуры ЭВМ*.

С переходом к серийному производству ламповых ЭВМ с хранимой программой начинается период машин *первого поколения*. Здесь история развития вычислительной техники переходит в историю поколений ЭВМ.

**1.2. Поколения ЭВМ**

**1.2.1. Первое поколение**

Первое поколение ЭВМ представляло собой машины дорогие, громоздкие, использовавшиеся только в крупных научных центрах для решения задач, связанных с исследованиями в области ядерной физики, ракетной техники, космоса и метеорологии. Машины этого поколения отличались большим потреблением энергии, низкой надежностью, сравнительно малым быстродействием. Программирование на них велось в машинных кодах. Эти машины создавались и производились с начала и до конца 50–х гг. XX века.

В эти годы появился ряд технологических, структурных и программных нововведений. В технологии наблюдались миниатюризация электронных ламп, улучшение их характеристик и постепенный переход к твердотельным элементам. Этот процесс начался заменой ламповых диодов полупроводниковыми и завершился заменой ламповых триодов транзисторами. Первые серийные универсальные ЭВМ, выполненные на транзисторах, выпущены в 1958 г. в США, Японии и ФРГ, в 1959 г. — в Великобритании, в 1960 г. — во Франции и в 1961 г. — в СССР («Раздан–2», главный конструктор Е.Я. Брусиловский). В системе запоминающих устройств важнейшим изобретением стало создание оперативной памяти на ферритовых сердечниках и долговременной памяти на магнитных дисках. В 1951 г. Дж. Рабинов (США) построил прототип дискового запоминающего устройства. В 1957 г. начался серийный выпуск машин с памятью на дисках.

В организации вычислительного процесса крупнейшим нововведением было *совмещение во времени вычислений и ввода–вывода информации.* Впервые это новшество применили в серийных моделях высокого класса, разработанных в США (IBM–704 (1956 г.) и IBM–709(1958 г.)) и в СССР (М–20 (1958 г.)). В программировании к числу важнейших относятся разработки методов программирования в символических обозначениях и появление алгоритмических языков. В СССР в 1952–1953 гг. А.А. Ляпунов разработал операторный метод программирования, а в 1953–54 гг. Л.В. Канторович — концепцию крупноблочного программирования.

Таким образом, с первым поколением ЭВМ связаны разработки основ программирования, достижение сравнительно емкой и быстрой памяти, переход к ЭВМ на стандартных и специализированных блоках, разработка устройств ввода–вывода (УВВ) информации на перфокартах и перфолентах. Применение машин первого поколения дало возможность накопить опыт конструирования и использования программирования.

Характерные черты ЭВМ первого поколения:

* + элементная база: электронно–вакуумные лампы, резисторы, конденсаторы. Соединение элементов — навесной монтаж проводами;
  + габариты: ЭВМ выполнена в виде громоздких шкафов и занимает специальный машинный зал;
  + быстродействие: 10–20 тыс. операций в секунду;
  + эксплуатация: слишком сложна из–за частого выхода из строя;

Программирование: трудоемкий процесс в машинных кодах. Общение с ЭВМ требовало от специалистов высокого профессионализма.

**1.2.2. Второе поколение**

Второе поколение компьютеров обязано своим рождением транзистору — миниатюрному полупроводниковому прибору, заменившему электронные лампы. Транзистор сконструировали американские физики Уолтер Браттейн, Джон Бардин и Уильям Шокли в 1948 г. Первый промышленный биполярный транзистор был создан также в 1948 г.

В 1954 г. в мире выпускалось около 5 млн транзисторов, в 1958 г. — 200 млн, в 1963 г. — около 1.5 млрд. Использование транзисторов в радио– и вычислительной технике позволило уменьшить размеры и потребляемую мощность устройств.

Период машин второго поколения — наиболее короткий в истории вычислительной техники. Эти машины выпускались с конца 50–х и в начале 60–х годов XX века. Первый компьютер на транзисторах был создан фирмой NCR в США в 1954–1957 гг. Он назывался NCR–304. Всего в мире было изготовлено около 30 тыс. транзисторных ЭВМ, причем произошел крупный сдвиг в области их применения. Если в начале 50–х гг. ЭВМ использовались преимущественно для научно–технических расчетов, то в 60–е гг. первое место стала занимать обработка символьной информации, в основном экономической.

Единственная часть компьютера, где транзисторы не смогли заменить электронные лампы — это блоки памяти, но там стали использовать изобретенные к тому времени схемы на магнитных сердечниках. К середине 60–х годов появились и значительно более компактные внешние устройства для компьютеров, что позволило фирме Digital Equipment Corporation выпустить в 1965 г. первый мини–компьютер PDP–8.

Программирование велось преимущественно на алгоритмических языках. Программисты передавали свои программы на перфокартах или магнитных лентах операторам ЭВМ на ВЦ для организации дальнейших расчетов на ЭВМ. Решение задач производилось в пакетном режиме, т. е. все программы вводились в ЭВМ подряд друг за другом, а их обработка велась по мере освобождения соответствующих ресурсов. Результаты решения распечатывались на специальной перфорированной бумаге.

**1.2.3. Третье поколение**

К 1964 г. появились ЭВМ *третьего поколения* на интегральных схемах (ИС), постепенно заменявших транзисторы. Период создания и внедрения ЭВМ третьего поколения занял по времени отрезок от начала 60–х до середины 70–х гг. Элементной базой этих компьютеров стали ИС, идея создания которых была предложена в 1952 г. инженером из Великобритании Дж. Даммером. В 1958 г. Джек Килби (США) решил задачу, как на одной пластине полупроводника получить несколько транзисторов. В 1959 г. Роберт Нойс (будущий основатель фирмы Intel, США) изобрел метод, позволивший создавать на одной пластине и транзисторы, и все необходимые соединения между ними. Полученные электронные схемы и стали называться интегральными схемами, или *чипами.*

В 1961 г. в продажу поступила первая, выполненная на пластине кремния интегральная схема, содержащая триггер на 6 элементах, в 1963 г. ИС имела 10–20 элементов, в 1967 г. — примерно 100, к 1970 г. — 1000, к 1975 г. — 30000, к 1982 г. — 300000 элементов на кристалле в несколько квадратных миллиметров.

В 1968 г. фирма Burroughs выпустила первый компьютер на интегральных схемах, а в 1970 г. фирма Intel начала продавать ИС памяти.

Характерные черты ЭВМ третьего поколения:

* + элементная база — интегральные схемы;
  + габариты: малые ЭВМ — это в основном две стойки, дисплей. Они не нуждались, как ЕС ЭВМ, в специально оборудованном помещении;
  + производительность: сотни тысяч — миллионы операций в секунду;
  + эксплуатация: более оперативно производится ремонт стандартных неисправностей, но из–за большой сложности системной организации требуется штат высококвалифицированных специалистов. Незаменимую роль играет системный программист;
  + вычислительных центрах появились дисплейные залы, где каждый программист мог подсоединиться к ЭВМ в режиме разделения времени. Как и прежде, основным оставался режим пакетной обработки задач;
  + произошли изменения в структуре ЭВМ. Наряду с микропрограммным способом управления используются принципы модульности и магистральности. Модульность проявляется в построении компьютера на основе набора модулей — конструктивно и функционально законченных электронных блоков в стандартном исполнении. Под магистральностью понимается способ связи между модулями компьютера, когда все входные и выходные устройства подсоединены одними и теми же проводами (шинами). Это — прообраз современной системной шины;
  + увеличились объемы памяти. Магнитный барабан вытесняется магнитными дисками. Появились дисплеи, графопостроители.

**1.2.4. Четвертое поколение. Персональные компьютеры**

Переход к машинам *четвертого поколения* — ЭВМ на больших интегральных схемах (БИС) происходил в середине и второй половине 70–х годов и завершился приблизительно к 1980 г. Машины этого поколения развивались, во–первых, в направлении создания мощных многопроцессорных систем, имеющих производительность до сотен миллионов операций в секунду, и, во–вторых, в направлении создания дешевых компактных мини– и микро–ЭВМ.

Большие ЭВМ четвертого поколения представляют собой многопользовательские машины с развитыми возможностями для работы с базами данных, с различными формами удаленного доступа. Они имеют несколько процессоров и ориентированы на выполнение определенных операций, процедур или на решение некоторых классов задач. Выпуск их стал увеличиваться, хотя их доля в общем парке постоянно снижается. Серия машин IBM S/390 продолжила линию машин IВМ–360 и IВМ–370. Они позволяют задавать переменную конфигурацию (число процессоров 1–10, емкость оперативной памяти 512– 81292 Мбайт, число каналов 3–256).

К числу машин четвертого поколения относятся и машины RS/6000, предназначенные для создания графических рабочих станций, Unix–серверов, кластерных комплексов. Первоначально эти машины предполагалось применять для обеспечения научных исследований.

К числу средних ЭВМ четвертого поколения относят ЭВМ типа AS/400 (Advanced Portable Model 3) — 64–разрядные «бизнескомпьютеры». Они предназначены в первую очередь для работы в финансовых структурах. В этих машинах особое внимание уделяется сохранению и безопасности данных, программной совместимости и т.д. Они могут использоваться в качестве основы серверов в локальных сетях, для управления сложными технологическими производственными процессами.

В 1983 г. был выпущен компьютер IBM PC XT (Personal Computer Extended Technology), имеющий встроенный жесткий диск, в 1985 г. — компьютер IBM PC AT (Personal Computer Advanced Technology) на основе нового микропроцессора Intel–80286, работающий в 3–4 раза быстрее IBM PC XT.

В СССР в 1988 г. был начат массовый выпуск школьных персональных компьютеров и классов учебной вычислительной техники «Корвет», «Электроника УКНЦ» и др., профессиональных компьютеров ДВК–ЗМ, ДВК–4, «Искра–1030», «Нейрон», ЕС–1841 и др.

Выпуск микропроцессоров серии Power PC, разработанных совместно фирмами Apple, IBM и Motorola, начался в 1993 г., а в 1994 г. стали появляться в продаже компьютеры фирм Apple и IBM на базе этого микропроцессора. Большой интерес для пользователей представляет персональный компьютер Power Macintosh, который появился в 1994 г. Этот компьютер использует микропроцессор Power PC. Особенностью Power Macintosh является возможность работать с программами, написанными для IBM–совместимых персональных компьютеров.

В настоящее время на компьютерном рынке рядом с фирмами IBM и Apple Computer трудятся такие крупные фирмы, как Compaq, Packard Bell, Dell, Hewlett–Packard и др.

*Причины успеха персональных компьютеров.* В настоящее время индустрия производства компьютеров и ПО для них является одной из наиболее важных сфер экономики развитых стран. Ежегодно в мире продаются десятки миллионов компьютеров. Только в США объем продаж компьютеров, услуг и программного обеспечения составляет десятки миллиардов долларов и постоянно продолжает расти. Основная причина этого – невысокая стоимость компьютеров и их сравнительная выгодность для многих деловых применений по сравнению с большими и мини–ЭВМ. Но имеются и другие причины:

* + простота использования, обеспеченная с помощью диалогового способа взаимодействия с компьютером, удобных и понятных пользовательских интерфейсов;
  + возможность индивидуального взаимодействия с компьютером без каких–либо посредников и ограничений;
  + относительно высокие возможности по переработке информации (типичная скорость — несколько миллионов операций в секунду, емкость оперативной памяти — до сотен Мбайт, емкость жестких дисков — десятки Гбайт);
  + высокая надежность и простота ремонта, основанные на интеграции компонентов компьютера;
  + возможность расширения и адаптации к особенностям применения — один и тот же компьютер может быть оснащен различными периферийными устройствами и программными средствами;
  + наличие программного обеспечения, охватывающего практически все сферы человеческой деятельности, а также мощных систем для разработки нового ПО.

Но несмотря на то, что область применения персональных компьютеров очень широка, имеются задачи, которые лучше решать на более мощных ЭВМ.

*Ограниченность* области применения персональных компьютеров:

* + при *обработке больших объемов информации* часто оказывается целесообразным совместное использование компьютеров разного уровня, где на каждом уровне решаются задачи, соответствующие его возможностям. Например, в крупном коммерческом банке обработка информации о клиентах и расчетах скорее всего потребует большую ЭВМ, а ввод данных и анализ результатов может осуществляться и на персональных компьютерах;
  + во многих задачах оказывается недостаточной *вычислительная мощность* персональных компьютеров. Например, расчет механической прочности конструкции из нескольких сотен элементов можно сделать и на персональном компьютере, но если надо рассчитать прочность конструкции из сотен тысяч элементов, то потребуется уже большая или даже супер–ЭВМ;
  + при компьютерном производстве видеофильмов персональный компьютер вполне можно использовать для создания простеньких движущихся картинок на экране. Но для создания реалистичных фильмов и специальных видеоэффектов используются специализированные компьютеры, предназначенные для эффективной обработки трехмерных изображений и анимации.

**1.2.5. Пятое поколение**

С конца 80–х годов XX века в истории развития ЭВМ наступила пора *пятого поколения* машин. Проект машин пятого поколения разработан ведущими японскими фирмами и научными организациями, согласно этому проекту ЭВМ и вычислительные системы коренным образом отличаются от машин предшествующих поколений. Прежде всего, их структура отличается от той, которую предложил Джон фон Нейман, и содержит:

* + блок общения, обеспечивающий интерфейс между пользователем и ЭВМ на языке, близком к естественному;

* + базу знаний, хранящую все необходимые для решения задач сведения о той предметной области, к которой эти задачи относятся;

* решатель, который организует подготовку программы решения задачи на основании знаний из базы знаний и исходных данных, полученных из блока общения.

ЭВМ пятого поколения должны самоорганизовываться в процессе решения задач, иметь собственную внутреннюю модель мира и активно взаимодействовать с внешней средой, распознавать образы, делать выводы из информации, уметь оперировать в нечетких ситуациях, пополнять имеющиеся знания (т.е. иметь способность обучаться), вести диалог с человеком на естественном речевом или графическом языках, иметь способность понимать содержимое базы знаний и использовать эти знания при решении задач. Таким образом, в этих машинах широко используются модели и средства, разработанные в искусственном интеллекте. В них, в частности, широко используются языки, характерные для представления знаний, модели знаний в виде семантических сетей, фреймов и продукций.

Разработка машин пятого поколения ведется на основе СБИС, а также на основе перехода к супермикроэлектронике, где расстояния между элементами схем будут меньше микрона, и на основе использования достижений интегральной микрооптоэлектроники, в которой каналами связи являются световые лучи, а для преобразования электрических сигналов в световые и наоборот используются лазеры, свето– и фотодиоды. Благодаря достижениям современной техники только в компьютерах пятого поколения стало возможным технически реализовать идеи, высказанные еще в 70–е годы.

Отличительные черты ЭВМ пятого поколения:

* + новая технология производства на базе новых материалов;
  + отказ от традиционных языков высокого уровня (Фортран, Паскаль и др.) в пользу языков с повышенными возможностями манипулирования символами и с элементами логического программирования (С++, Piton и др.);
  + акцент на новые архитектуры (например, на архитектуру потока данных) и отход от структур фон Неймана;
  + новые способы ввода–вывода, удобные для пользователя (например, распознавание речи и образов, синтез речи, обработка сообщений на естественном языке);
  + искусственный интеллект, тесно связанный с исследованиями в области экспертных систем.