

# От цифровых аналогов через рекурсивные машины к квантовым компьютерам

М.Б.Игнатьев, Ю.Е.Шейнин, А.А.Литовкин

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения*

ignatmb@mail.ru, sheynin@aanet.ru, artemjka@gmail.com

**Аннотация.** В докладе рассматривается эволюция вычислительной техники от цифровых аналогов через фон-Неймановские машины к квантовым компьютерам, которые тоже являются цифровыми аналогами. В 60-е годы цифровые аналоги успешно разрабатывались в Институте электромеханики АН СССР в Ленинграде. Важным этапом в разработке неклассических многопроцессорных машин высокой производительности и надежности была разработка рекурсивных машин, которая осуществлялась в Институте кибернетики АН УССР под руководством В.М.Глушкова и в Ленинградском институте авиационного приборостроения. Общий подход к синтезу осуществляется через лингво-комбинаторное моделирование со структурированной неопределенностью.

## Ключевые слова

экзафлопные вычисления, цифровые аналоги, рекурсивные машины, лингво-комбинаторные модели атомов, структурированная неопределенность, квантовые компьютеры.

## 1 Введение

После организации кафедры вычислительных систем и сетей в Ленинградском институте авиационного приборостроения (ЛИАП – сейчас это Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, ГУАП) в 1972г кроме робототехники важным направлением ее деятельности было выбрано создание развивающихся вычислительных систем нетрадиционной архитектуры. Чтобы понять логику такого решения, необходимо рассказать о состоянии мировой вычислительной техники в начале семидесятых годов.

В это время господствовала фирма ИБМ, грубо нарушая законы о монополиях и ведя судебные процессы во многих штатах внутри США и других странах. Этот монополизм проявился и в компьютерной литературе – там описывались машины ИБМ, и почти ничего не говорилось о машинах других фирм, таких как Контрол Дейта Корпорейшен, Бэрроуз и др., которые выступали конкурентами ИБМ. В машинах фирмы ИБМ реализовывалась классическая фон-Неймановская архитектура, которая уже не могла удовлетворить потребителей. В Советском Союзе шла борьба между двумя тенденциями – между тенденцией развивать свои собственные разработки, такие как БЭСМ, Урал и др. и тенденцией копировать зарубежный опыт, прежде всего копировать машины ИБМ. В этой ситуации наша молодая кафедра, выделившаяся из кафедры технической кибернетики ЛИАП в феврале 1972г, решила развивать нетрадиционные многопроцессорные вычислительные системы, которые в перспективе обеспечивали высокую производительность и надежность. Для д.т.н. М.Б.Игнатьева, заведующего этой кафедрой, это решение было продолжением его работ в области цифровых дифференциальных анализаторов, которые являлись многопроцессорными специализированными рекурсивными структурами с обратными связями, высокопроизводительными и надежными за счет введения избыточности методом избыточных переменных, который ранее был им разработан [1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Важный шаг был сделан нашим доцентом В.А.Торгашевым [35], который предложил распространить и развить эти принципы на универсальные вычислительные машины. В итоге родилась концепция рекурсивных машин, которая получила поддержку Государственного Комитета по Науке и Технике в Москве и Института кибернетики во главе с академиком В.М.Глушковым в Киеве. Сложился коллектив из москвичей, которых представлял В.А.Мясников, из киевлян, которых представлял В.М.Глушков, и ленинградцев с общим центром в ЛИАП. В наиболее ярком виде эта концепция была представлена на международном конгрессе ИФИП в Стокгольме в 1974г в нашем докладе [10]. Впервые советская компьютерная разработка была анонсирована на международной арене, что привлекло внимание с разных сторон. Итогом этой акции было, во-первых, включение работы в программу ГКНТ и выделение финансов на создание экспериментального образца рекурсивной машины, во-вторых, соглашение с фирмой Контрол Дейта по созданию рекурсивной машины на основе наших архитектурных решений, в-третьих, предоставление самой лучшей для того времени элементной

базы и средств отладки. М.Б.Игнатьев стал руководителем рабочей группы по сотрудничеству с фирмой Контрол Дейта корпорейшен и в этом качестве развивал как проект по рекурсивной машине, так и другие проекты, в числе которых была покупка машины Сайбер для Ленинградского научного центра АН СССР, на базе этой машины организовался сначала Ленинградский научно-исследовательский вычислительный центр, а потом Ленинградский институт информатики и автоматизации АН СССР. Следует отметить, это было время некоторого потепления советско-американских отношений, именно в это время реализовывался проект Союз-Аполлон. Таким образом, в результате стечения благоприятных обстоятельств нам удалось развернуть работу по реальному созданию рекурсивной машины. Закипела работа, в которой принимали участие многие сотрудники нашей кафедры – В.А.Торгашев, В.И.Шкиртиль, С.В.Горбачев, В.Б. Смирнов, В.М.Кисельников, А.М.Лупал, Ю.Е.Шейнин и многие другие. В результате к 1979г были изготовлены многие блоки машины и осенью 1979 г экспериментальный образец рекурсивной машины был предъявлен государственной комиссии во главе в академиком А.А.Дородницыным. В специальном Постановлении ГКНТ СССР и Комиссии Президиума Совета Министров СССР от 14.09.1979г за № 472/276 отмечалось, что запуск первого в мире экспериментального образца многопроцессорной рекурсивной машины высокой производительности и надежности является достижением мирового уровня. Были разработаны планы дальнейшего развития этой работы, но в декабре 1979г советские войска вошли в Афганистан и правительство США разорвало все научно-технические связи с СССР, в том числе и по линии фирмы Контрол Дейта, что нанесло нам большой ущерб. Но работа продолжалась, хотя наш коллектив разделился – часть сотрудников в январе 1980г во главе с В.А.Торгашевым перешла в Ленинградский научно-исследовательский вычислительный центр АН СССР, другая часть продолжала работать на нашей кафедре над созданием различных модификаций многопроцессорных систем. В Институте кибернетики в Киеве был создан отдел рекурсивных машин. Таковы внешние контуры этой пионерской работы.

## 2 Принципы организации рекурсивных машин и систем

В математике существует большой раздел – рекурсивные функции [3]. Долгое время термин «рекурсия» употреблялся математиками, не будучи четко определенным. Его приблизительный интуитивный смысл можно описать следующим образом. Значение искомой функции  $\Phi$  в произвольной точке  $X$  ( под точкой подразумевается набор значений аргументов) определяется, вообще говоря, через значения этой же функции в других точках  $H$ , которые в каком-то смысле предшествуют  $X$ . Само слово «рекурсия» означает возвращение [17]. Рекурсивные функции – это вычислимые функции. По сути дела все вычислимые на компьютерах функции – это рекурсивные функции, но разные компьютерные архитектуры по разному ведут вычислительные процессы. Чем лучше соответствует структура компьютера структуре задач, тем меньше затраты памяти и времени. Так что когда мы говорим о рекурсивных машинах, мы говорим о соответствии структур машины и задач, а так как задачи бывают разные, то структура машин должна гибко подстраиваться к структурам задач. Математика в настоящее время погружена в программирование, и в программировании рекурсивные операции распространены.

ЭВМ выступает как средство материализации логико-математических преобразований. ЭВМ являет собой иллюстрацию концепции потенциальной осуществимости, поскольку при отсутствии ограничений на время работы и емкость памяти любая ЭВМ в состоянии провести любые вычисления. Конкретное же протекание процессов вычисления проявляется лишь на уровне организации преобразований информации (задействуются конкретные регистры, коммутаторы, процессоры, линии передачи данных в определенном порядке и сочетании и т.д.). С этой точки зрения «архитектура ЭВМ» - это ее структура в состоянии (процессе) реализации алгоритма, то есть как бы ожившая структура. Философской основой такого представления является теория отражения, раскрывающая отображение категорий и явлений одной природы (числа, алгоритмы) на объекты другой природы (физические элементы, сигналы). Причем это отображение взаимно неоднозначно – алгоритму  $a_j$  может соответствовать множество архитектур  $\{A\}$  и обратно – архитектуре  $A_j$  непосредственно не соответствует какой-либо алгоритм  $a_j$ . Специфика взаимодействия  $\{a\}$  и  $\{A\}$  раскрывает глубинные свойства диалектического процесса развития математики и вычислительной техники как частного случая взаимодействия абстрактного и конкретного. Как отмечает С.А Яновская, «лицо машинной математики все более зависит от развития философских и логических оснований математики»[23]. Не представляется возможным непротиворечивая формализация отображения  $\{a\} \rightarrow \{A\}$  из-за его неоднозначности. Поэтому построить соответствующую аксиоматическую теорию проектирования ЭВМ не представляется возможным [24].

Когда мы формулировали принципы организации рекурсивных машин, мы исходили из потребностей развития вычислительных машин и систем, получили множество авторских свидетельств [13, 14, 15 и др.], это был интересный творческий процесс и с точки зрения достоверности сделанного тогда, в 1974-1979 годах. Наш доклад на конгрессе ИФИП в Стокгольме [10] (текст доклада полностью воспроизведен в [34]) содержал анализ недостатков машин традиционной архитектуры, ревизию принципов фон Неймана, принципы архитектуры рекурсивных машин, основные особенности языка рекурсивных машин, фрагментарное описание

рекурсивной машины. В качестве иллюстрации рекурсивной структуры можно привести систему 3М – модульную микропроцессорную систему [18]. Система 3М строится из модулей трех типов – операционных, коммуникационных и интерфейсных. Операционные модули выполняют основную работу по обработке данных, реализации объектов математической памяти, процессов определения готовности и выполнения операторов программы на внутреннем языке. Коммуникационный модуль предназначен для реализации коммуникационной системы – установления логического соединения между модулями, обмена информацией между модулями, поиска в системе ресурсов запрошенного типа. Интерфейсные модули подключаются к внешним устройствам своими блоками ввода-вывода. Вопросы организации обмена информацией с внешним миром имеют большое значение для существенно многопроцессорных систем, оказывают значительное влияние на их фактические характеристики. Различные классы задач требуют различной интенсивности обмена с внешними устройствами. Вычислительная система должна обеспечивать построение таких ее конфигураций для каждого конкретного применения, которые бы обладали оптимальными для этого применения характеристиками по вводу-выводу. Система 3М обеспечивает инкрементное наращивание вычислительной мощности до любого необходимого значения путем подключения дополнительных блоков без внесения изменений в имеющуюся систему и ее программное обеспечение как на этапе разработки системы, так и в ходе ее эксплуатации. Методология проектирования и реализации системы 3М базируется на рассмотрении вычислительной системы как иерархии виртуальных машин. Система 3М имеет рекурсивно-организованную многоуровневую структуру. Рекурсивность структуры состоит в том, что структура всякой модификации системы задается рекурсивным определением. Динамически меняющиеся в ходе вычислений виртуальные процессы требуют постоянной динамической реконфигурации связей между модулями. Сейчас реализуются системы, содержащие тысячи и миллионы процессоров.

### 3 Перспективы развития вычислительных систем.

В связи с изложенным хотелось рассмотреть проблемы развития вычислительной техники. Вычислительные машины предназначены для решения задач. Общая схема решения задач имеет вид

Ячел –>Я ос –>Я пр –>Ямаш -->Я рез

где Ячел – формулировка задачи на естественном языке, Яос – формулировка задачи на языке основных соотношений, Япр – формулировка задачи на языке программирования, Ямаш – формулировка задачи на машинном языке, Ярез – формулировка задачи на языке результата в виде графиков, таблиц, изображений, текстов, звуков и т.п. К сожалению для большинства задач имеется только формулировка на естественном языке, большинство задач плохо формализованы. Поэтому актуальным является переход от описания на естественном языке на язык основных соотношений, лингво-комбинаторное моделирование является одним из способов такой формализации [22]. В результате такой формализации порождаются рекурсивные структуры со структурированной неопределенностью. Таким образом рекурсивная структура машин должна включать три составляющих – явления, смыслы и структурированную неопределенность, которые наличествуют в любой задаче.

Интересное направление в развитии элементной базы - квантовый компьютер — гипотетическое вычислительное устройство, которое путём выполнения квантовых алгоритмов существенно использует при работе квантовомеханические эффекты, такие как квантовый параллелизм и квантовая запутанность. Квантовый параллелизм можно реализовать с помощью метода избыточных переменных, а квантовая запутанность реализуется с помощью структуры произвольных коэффициентов. Лингво-комбинаторное моделирование позволяет строить такие системы, базирясь на использовании ключевых слов, основных понятий, сложившихся в предметной области. Модель состоит из трех групп переменных – характеристик основных понятий, изменения этих характеристик и структурированной неопределенности в эквивалентных уравнениях, которая может быть использована для адаптации и управления. Можно построить лингво-комбинаторных модели атомов, которые можно использовать в качестве квантовых вычислителей. Рассмотрим в качестве примера атом водорода и в качестве ключевых слов возьмем слова «атом», «протон», «электрон», тогда исходная фраза будет иметь вид

Atom + Proton + Electron

А структура эквивалентных уравнений будет иметь вид

$$A1 = U1*E2 + U2*E3$$

$$A2 = - U1*E1 + U3*E3$$

$$A3 = - U2 * E1 - U3 * E2$$

в этих эквивалентных уравнениях  $A1$  – характеристика атома водорода,  $E1$  – изменение этой характеристики,  $A2$  – характеристика протона,  $E2$  – изменение этой характеристики,  $A3$  – характеристика электрона,  $E3$  – изменение этой характеристики. Для моделирования дейтерия используем ключевые слова «атом», «протон», «электрон», «нейтрон»

Atom + proton + electron + neutron

и эквивалентные уравнения будут

$$\begin{aligned} E1 &= U1 * A2 + U2 * A3 + U3 * A4 \\ E2 &= - U1 * A1 + U4 * A3 + U5 * A4 \\ E3 &= - U2 * A1 - U4 * A2 + U6 * A4 \\ E4 &= - U3 * A1 - U5 * A2 - U6 * A3 \end{aligned}$$

где  $U1, U2, U3, U4, U5, U6$  – произвольные коэффициенты, которые могут быть и волновыми функциями,  $A1$  – характеристика атома дейтерия,  $E1$  – изменение этой характеристики,  $A2$  – характеристика протона атома дейтерия,  $E2$  – изменение этой характеристики,  $A3$  – характеристика электрона атома дейтерия,  $E3$  – изменение этой характеристики,  $A4$  – характеристика нейтрона атома дейтерия,  $E4$  – изменение этой характеристики.

Аналогичным образом возможно построение лингво-комбинаторных моделей всех известных элементов таблицы Менделеева и их изотопов и возможных новых элементов и молекул. Это еще один путь для построения квантовых компьютеров. При этом необходимо решать задачу привязки таких моделей применительно к конкретным системам. В этом направлении возможно построение вычислительных систем с производительностью более эксафлопса.

## 4 Заключение

Таким образом была получена алгоритмическая структура атомов и молекул, которые могут быть использованы в качестве инструментов для вычислений и моделирования. С другой стороны лингво-комбинаторный подход позволяет строить модели самых различных плохо формализованных систем, например таких как город и организм человека [ 30, 31, 33, 34 ], при этом эти модели имеют такой же математический вид как модели атомов и молекул, что и позволяет использовать их для взаимного моделирования.

Базовые характеристики квантовых компьютеров в теории позволяют им преодолеть некоторые ограничения, возникающие при работе классических компьютеров. Квантовый компьютер – это разновидность цифрового аналога, цифровое устройство аналоговой природы. Цифровые аналоги активно разрабатывались в 60-е годы в Институте электромеханики АН СССР в Ленинграде под руководством А.А.Воронова[1].

## Литература

1. А.А.Воронов, А.Р.Гарбузов, Б.Л.Ермилов, М.Б.Игнатъев, Г.Н.Соколов, Ян Си Зен «Цифровые аналоги для систем автоматического управления» Изд. АН СССР, 1960, перевод на китайский, 1963.
2. М.Б.Игнатъев «Голономные автоматические системы» изд.АН СССР, Л – М, 1963.
3. А.И.Мальцев «Алгоритмы и рекурсивные функции» М., 1965.
4. М.Б.Игнатъев «О совместном использовании принципов введения избыточности и обратной связи для построения ультраустойчивых систем» Труды III Всесоюзного совещания по автоматическому управлению, том 1, изд. АН СССР, 1968г.
5. М.Б.Игнатъев «Метод избыточных переменных для функционального кодирования цифровых автоматов» Сб. «Теория автоматов» №4, изд. ИК АН УССР, Киев, 1969
6. М.Б.Игнатъев «О лингвистическом подходе к анализу и синтезу сложных систем» Тезисы Межвузовской научно-технической конференции «Техническая кибернетика» изд. МВТУ, М., 1969.
7. М.Б.Игнатъев «Избыточность в многоцелевых системах» Труды IV симпозиума по проблеме избыточности, Л., 1970.
8. М.Б.Игнатъев, Ф.М.Кулаков, А.М.Покровский «Алгоритмы управления роботами-манипуляторами» изд. Машиностроение, 1972г, издание в США Вирджиния пресс, 1973г, третье издание 1977.
9. Г.С.Бритов, М.Б.Игнатъев, Л.А.Мироновский, Ю.М.Смирнов «Управление вычислительными процессами» изд. ЛГУ, 1973.
10. V.Glushkov, M.Ignatyev, V.Miasnikov, V.Torgashev “Recursive machines and computing technology” Proceedings IFIP-74, computer hardware and architecture, p. 65-70, Stockholm, August 5-10, 1974.

11. М.Б.Игнатьев, В.А.Мясников, А.М.Покровский «Программное управление оборудованием» изд.Машиностроение, 1974, второе изд 1984.
12. М.Б.Игнатьев, В.А.Мясников, В.А.Торгашев «Рекурсивные вычислительные машины» Препринт №12, ИТМ и ВТ АН СССР, 1977.
13. М.Б.Игнатьев, В.М.Кисельников, В.А.Торгашев, В.Б.Смирнов «Ассоциативное запоминающее устройство» Авторское свидетельство №4844562, Бюллетень изобретений №34, 1975.
14. А.А.Бекасова, С.В.Горбачев, М.Б.Игнатьев, В.А.Мясников, В.А.Торгашев «Процессор с микропрограммным управлением» авторское свидетельство №814118 с приоритетом от 18.10.1979.
15. С.В.Горбачев, М.Б.Игнатьев, В.М.Кисельников, В.А.Мясников, В.А.Торгашев «Многопроцессорная вычислительная система» Авторское свидетельство №962965 с приоритетом от 27 августа 1974г, Бюллетень изобретений №36, 1982.
16. М.Б.Игнатьев, В.А.Мясников, В.В.Фильчаков «Организация вычислительного процесса при решении прикладных задач на многопроцессорной системе с рекурсивной организацией» журнал АН УССР Кибернетика, №3, 1984, стр.30-37.
17. «Рекурсия» Статья в Математической энциклопедии, том 4, стр. 962-966, М, 1984.
18. М.Б.Игнатьев, А.А.Кочкин, В.А.Мясников, Ю.Е.Шейнин «Микропроцессоры – системы программирования и отладки» Атомэнергоиздат, М., 1985.
19. С.В.Горбачев, М.Б.Игнатьев, Ю.Е.Шейнин «Рекурсивные ЭВМ массового применения» Тезисы 11 Всесоюзной конференции по актуальным проблемам информатики и вычислительной техники, изд. АН Армянской ССР, Ереван, 1987
20. М.Б.Игнатьев, Я.Комора «Обобщенная параметрическая модель реализации локально-рекурсивных структур в трехмерных интегральных схемах» Доклады АН СССР, 1991, том.320, №5, стр.1058-1062.
21. М.Б.Игнатьев, В.В.Фильчаков, Л.Г.Осовецкий «Активные методы обеспечения надежности алгоритмов и программ» изд.Политехника, 1992
22. М.Б.Игнатьев «Лингво-комбинаторное моделирование плохо формализованных систем» журнал «Информационно-управляющие системы» №6, 2003, стр.34-37.
23. С.А.Яновская «Методологические проблемы науки» М, 1972.
24. П.Г.Суворова «Диалектика абстрактного и конкретного в понятии «архитектура ЭВМ» Сб. «Новые идеи в философии науки и научном познании». Ред.Ю.И.Мирошников, Екатеринбург, 2002.
25. М.Б.Игнатьев, Ю.Е.Шейнин «25 лет со времени создания рекурсивной вычислительной машины высокой производительности и надежности и проблемы параллельных вычислений» Доклад на пленарном заседании 23-ей международной конференции по школьной информатике и проблемам устойчивого развития, Санкт-Петербург, Дом ученых им. М.Горького РАН, 16 апреля 2004.
26. М.Б.Игнатьев, Ю.Е.Шейнин «Рекурсивные вычислительные системы» журнал «Информатизация и связь» №2, 2005, стр.33-40.
27. [www.computer-museum.ru](http://www.computer-museum.ru)
28. Р.Пенроуз «Путь к реальности или законы, управляющие Вселенной» М., 2007
29. Ignatiev M. B. "Simulation of Adaptational Maximim Phenomenon in Developing Systems" Proceedings of The SIMTEC'93 - 1993 International Simulation Technology Conference, San Francisco, USA, 1993, p.41-42.
30. Ignatyev M.B.,D.M.Makina, N.N.Petrishchev, I.V.Poliakov, E.V.Ulrich, A.V.Gubin "Global model of organism for decision making support" Proceedings of the High Performance Computing Symposium – HPC 2000, Ed. A. Tentner, 2000 Advanced Simulation Technologies Conference, Washington D.C. USA, 2000, p.66-71.
31. Ignatyev M. B. "Linguo-combinatorial method for complex systems simulation" Proceedings of the 6<sup>th</sup> World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, vol. XI, Computer science II, Orlando, USA, 2002, p.224-227.
32. Бейдер Р. «Атомы в молекулах» М, изд. Мир, 2001.
33. Игнатьев М.Б. «Информационные технологии и микро-, нано- и оптоэлектронике» изд.ГУАП, Санкт-Петербург, 2008.
34. Игнатьев М.Б. «Кибернетическая картина мира. Теория сложных систем» С-Петербург, 2011
35. Торгашев В.А. «Автоматные сети и компьютеры: история развития и современное состояние» / История информатики и кибернетики в Санкт-Петербурге (Ленинграде). Выпуск 3. Под общей редакцией чл-кор.РАН Р.М.Юсупова, С-Петербург, 2012.
36. M.Ignatyev "The linguo-combinatorial simulation in modern physics" American Journal of Modern Physics, USA, 2012, vol.1, No 1, pp. 7-11.

# From Digital Analogs through Recursive Machines to Quantum Computer

M.B.Ignatyev , Yu.E.Sheynin, A.A.Litovkin

*Saint -Petersburg State University of Aerospace Instrumentation*

ignatmb@mail.ru, sheynin@aanet.ru, artemijka@gmail.com

**Abstract.** *The report examines the evolution of computers from digital analogs through non-von Neumann machines to quantum computers , which are also digital analogs. In the 60 years of digital analogs successfully developed at the Institute of Electromechanics of the USSR in Leningrad. An important stage in the development of non-classical multiprocessor machine performance and reliability has been the development of recursive machines , which was carried out at the Institute of Cybernetics led V.M.Glushkov and the Leningrad Institute of Aviation Instrumentation . The general approach to the synthesis is carried out through linguo- combinatorial modeling with structured uncertainty.*

## Key words

exaflops computation, digital analog, recursive machines, linguo-combinatorial simulation of atoms, structural uncertainty

## 1 Introduction

After the organization of the Department of Computer Systems and Networks at the Leningrad Institute of Aviation Instrumentation ( LIAP - now it's St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, GUAP ) in 1972, except for robotics important aspect of its activities was enabled developing non-traditional computing systems architecture. To understand the logic of this decision , you need to tell the world about the state of computer technology in the early seventies .

At this time the company was dominated by IBM, in flagrant violation of the laws of the monopolies and conducting litigation in many states in the U.S. and other countries. This monopoly was manifested in a computer literature - it described the IBM machine , and almost nothing was said about the machines of other companies such as Control Data Corporation , Burroughs and others, who were rivals IBM . The computers of the company IBM implemented a classical von Neumann architecture , which could not satisfy the consumers. In the Soviet Union there was a struggle between two tendencies - between the tendency to develop their own design , such as BESM , the Urals and others, and the tendency to copy foreign experience , especially IBM copy machine . In this situation, our young department released from the Department of Engineering Cybernetics LIAP in February 1972 , decided to develop non-conventional multi-processor systems, which in the long term for high performance and reliability. For Dr. M.B.Ignatev , the head of this department , the decision was a continuation of his work in the field of digital differential analyzers , which were specialized multiprocessor recursive structures with feedback , high performance and reliability by introducing redundancy redundant variables method that was previously developed by them [1 2, 4, 5, 6, 7, 8 , 9]. An important step was taken by our lecturer V.A.Torgashev [ 35] , who proposed to extend and develop these principles into mainframe computers . In the end, was born the concept of recursive machines , which received the support of the State Committee for Science and Technology in Moscow and the Institute of Cybernetics , headed by Academician V.M.Glushkov in Kiev. There was the group of muscovites , who represented the V.A.Myasnikov, the group of Kiev , which was represented by V.M.Glushkov and Leningrad with a common center in LIAP . In the most vibrant form, this concept was presented at the International Congress of IFIP in Stockholm in 1974 in our report [ 10]. First Soviet computer development was announced on the international scene that has drawn attention from all sides. The result of this action was, firstly , the inclusion in the program of work and the allocation of the SCS & T finance to create experimental prototype machine recursive , second, an agreement with the firm Control Data to create a recursive machine on the basis of our architectural decisions , and thirdly, to provide the best for the time element base and debugging tools . M.B.Ignatev became the head of the working group on cooperation with the firm Control Data Corporation and as a project developed by the recursive machine and other projects , among which was the purchase of the supercomputer Cyber for Leningrad Scientific Center of the USSR , on the basis of this machine first organizing the Leningrad Research Scientific Computing center, and then the Leningrad Institute for Informatics and Automation , Academy of Sciences of the USSR. It should be noted , it was a time of a warming of US-Soviet relations, it is the time

the project was implemented Soyuz- Apollo . Thus, as a result of a confluence of favorable circumstances, we were able to initiate work on the actual establishment of the recursive machine. Work started , which was attended by many members of our department - V.A.Torgashev , V.I.Shkirtil , S.V.Gorbachev , VB Smirnov, V.M.Kisel'nikov , A.M.Lupal , Yu.E.Sheynin and many others. As a result, by 1979 , many units were manufactured machines and autumn 1979, an experimental model of recursive machine was presented to the state commission , headed by academician in AADorodnitsyn . In the special Decree of the USSR and the SCST of the Presidential Committee of the Council of Ministers on 14.09.1979g for number 472/276 noted that the launch of the world's first experimental model of a multi- recursive machine performance and reliability is the achievement of a world level. Plans have been made for further development of this work , but in December 1979 , Soviet troops invaded Afghanistan and the U.S. government severed all scientific and technical ties with the Soviet Union , including on -line firm Control Data , which caused us a lot of damage . But the work went on, even though our team was divided - some staff in January 1980 , led by V.A.Torgashev moved to Leningrad Research Scientific Computing Center , Academy of Sciences of the USSR , while others continued to work in our department to create different versions of multiprocessor systems. At the Institute of Cybernetics in Kiev was to create Department of recursive machines. These are the external contours of this pioneering work .

## 2 The principles of organization recursive machines and systems

In mathematics there is a large section - a recursive function [3]. For a long time the term " recursion " was used by mathematicians , not being clearly defined . His rough intuitive sense can be described as follows. The value of the desired function  $F$  at a point  $x$  ( a point means a set of arguments ) is defined , in general, through the values of the same function in other parts of  $H$ , which in some sense precede  $H$ . The word " recursion " means the return [17] . Recursive functions - is computable functions . Essentially all computable functions on computers - is a recursive function , but different on different computer architectures are computational processes . The better the structure corresponding to the structure of the computer problems , the lower the cost of memory and time . So when we talk about recursive machines , we are talking about machines and structures according to the tasks , as well as the tasks are different , the structure of the machine should be flexible to adapt to the structure of the problem . Math being immersed in programming and distributed programming recursive operations .

Computer acts as a means of materializing the logical- mathematical transformations . Computer is an illustration of the concept of potential feasibility , as in the absence of restrictions on the time and memory capacity of computers in any condition to any calculation . The specific flow is shown only computing processes at the enterprise level change information ( specific registers are utilized , switches , processors , data lines in a specific order and combination , etc.). From this point of view, " computer architecture " - that is , its structure in the ( process ) of the algorithm , it is like an animated texture . The philosophical basis of this representation is the theory of reflection, revealing a map of categories and phenomena of the same nature (numbers, algorithms) to the objects of a different nature ( physical elements , signals ) . Moreover, this mapping is ambiguous - aj algorithm can match many architectures {  $A$  } and back -  $A_j$  architecture does not directly correspond to any algorithm  $aj$  . The specificity of interaction {  $a$  } and {  $A$  } reveals the underlying properties of the dialectical process of development of mathematics and computer science as a particular case of the interaction of abstract and concrete . As the SA Yanovska , "face mechanized mathematics is becoming increasingly dependent on the development of philosophical and logical foundations of mathematics " [ 23]. It is not possible to display a consistent formalization of {  $a$  }  $\square$  {  $A$  } because of its ambiguity . Therefore, to construct the corresponding axiomatic theory of computer design is not feasible [ 24].

When we formulated the principles of recursive machines, we started from the needs of the development of computers and systems , have received many certificates of authorship [13, 14, 15 , etc. ] , it was a fun and creative process from the point of view of reliability made back in 1974-1979 years. Our report on the IFIP Congress in Stockholm [ 10] (the text of the report is reproduced in full in [ 34]) contained an analysis of the shortcomings of traditional architecture machines , inspection principles von Neumann architecture principles recursive machines , the main features of the language of recursive machines , fragmentary description of the recursive machine. As an illustration of a recursive structure of the system can cause 3M - modular microprocessor system [ 18]. 3M system is built from modules of three types - operational, communication and interface . Operating modules perform most of the work on data processing , mathematical objects of the memory processes determine the availability and implementation of the program operators in the internal language. The communication module is designed to implement the communication system - establishing a logical connection between the modules , the exchange of information between modules , search the resource system of the type requested . The interface modules are connected to external devices for its input-output unit . Questions to exchange information with the outside world are essential to significantly multiprocessor systems have a significant impact on their actual performance. Different classes of problems require different intensities of exchange with external devices. The computer system should provide the construction of its configurations for each particular application, which would have the optimum for this application specifications for input-output . 3M system provides an incremental build-up of computing power to any desired value by adding

additional blocks without making changes to the existing system and its software as a system development phase , and in the course of its operation. Methodology for the design and implementation of a system based on a review of 3M's computer system as a hierarchy of virtual machines. 3M system is recursively organized a multi-level structure. Recursive structure is that the structure of any modification of set recursive definition. Dynamically changing in the course of virtual computing processes require constant dynamic reconfiguration of links between modules. Now implemented systems containing thousands or millions of processors.

### 3 Prospects for the development of computing systems.

In connection with the above, would consider the problems of computing . Computing machines are designed to solve problems. The general scheme of solving the problems of the form

$$L_{\text{man}} > L_{\text{equation}} > L_{\text{prog}} > L_{\text{machine}} > L_{\text{user}}$$

where  $L_{\text{man}}$  - formulation of the problem in natural language,  $L_{\text{equation}}$  - formulation of the problem in the language of the basic relations ,  $L_{\text{progr}}$  - formulation of the problem in a programming language,  $L_{\text{machine}}$  - formulation of the problem in machine language,  $L_{\text{user}}$  - formulation of the problem in the language of the result in the form of graphs , tables, images, texts , sounds , etc. Unfortunately for most purposes there is only the wording in natural language, most of the tasks poorly formalized. So is the actual transition from the description in natural language to the language of the basic relations , linguo-combinatorial modeling is one of the ways of such formalization [ 22]. As a result of the formalization of recursive structures generated with structured uncertainty. Thus the recursive structure of the machines should include three components - the phenomenon, the meanings and the structured uncertainties, which are present in any task .

An interesting direction in the development of hardware components - a quantum computer - a hypothetical computing device that by performing quantum algorithms essentially uses when working quantum mechanical effects, such as quantum parallelism and quantum entanglement . Quantum parallelism can be realized by using the redundant variables and quantum entanglement structure realized by arbitrary coefficients. Linguo-combinatorial modeling allows you to build such a system , based on the use of key words , key concepts prevailing in the subject field. The model consists of three groups of variables - characteristics of the basic concepts , changes in these characteristics and structured uncertainty in equivalent equations , which can be used for adaptation and management. You can build a linguistic- combinatorial model of atoms, which can be used as a quantum computer . Consider as an example a hydrogen atom and as keywords take the word "atom" , "proton" , "electron" , then the initial phrase is of the form

Atom + Proton + Electron

A structure equivalent equations will take the form

$$\begin{aligned} A1 &= U1 * E2 + U2 * E3 \\ A2 &= - U1 * E1 + U3 * E3 \\ A3 &= - U2 * E1 - U3 * E2 \end{aligned}$$

These equations are equivalent to A1 - characteristics of the hydrogen atom , E1 - variation of this characteristic , A2 - characteristics of the proton, E2 - variation of this characteristic , A3 - characteristics of the electron, E3 - variation of this characteristic. For simulation of deuterium using the key word " atom" , "proton" , "electron" , "neutron"

Atom + proton + electron + neutron

and the equivalent equations are

$$\begin{aligned} E1 &= U1 * A2 + U2 * A3 + U3 * A4 \\ E2 &= - U1 * A1 + U4 * A3 + U5 * A4 \\ E3 &= - U2 * A1 - U4 * A2 + U6 * A4 \\ E4 &= - U3 * A1 - U5 * A2 - U6 * A3 \end{aligned}$$

where U1, U2, U3, U4, U5, U6 - the arbitrary coefficients , which may be the wave functions A1 - characteristics of the deuterium atom , E1 - variation of this characteristic , A2 - characteristics of the proton atoms of deuterium E2 - variation of this har akteristiki , A3 - characteristics of an electron of an atom of deuterium , E3 variation of this characteristic , A4 - characteristics of the neutron of the deuterium atom , E4 - variation of this characteristic.



Similarly, the possible construction of linguistic and combinatorial models of all the known elements of the periodic table and their isotopes and possible new elements and molecules . This is another way to build quantum computers. It is necessary to solve the problem of binding of these models as applied to specific systems. In this direction is possible to build computer systems with the productivity over exaflops .

## 4 Conclusion

Baseline characteristics of quantum computers in theory allow them to overcome some of the limitations that arise when working with classical computers . A quantum computer - a kind of digital analog, digital device analog nature. Digital analog were actively developed in the 60 years of Electromechanic Institute of the USSR Academy of Sciences in Leningrad under the direction A.A.Voronov [1].

## References

- [1] A.A.Voronov , A.R.Garbuzov , B.L.Ermilov , M.B.Ignatyev , G.N.Sokolov , Yang Xi Zhen "Digital analogues for automatic control systems " izd. USSR Academy of Sciences , 1960 , translated into Chinese , 1963 .
- [2] M.B.Ignatyev "Holonomic automatic systems " izd. AN USSR , L - M , 1963 .
- [3] A.I.Mal'tsev " Algorithms and recursive functions" , Moscow, 1965 .
- [4] M.B.Ignatyev "On the joint use of the principles of redundancy and feedback to build ultrastability systems" Proceedings of the III All-Union Conference on Automatic Control , Volume 1, izd. Academy of Sciences of the USSR , 1968 .
- [5] M.B.Ignatyev "The method of redundant variables for the function of coding digital machines" Sb. " Automata Theory" № 4 , Kiev, 1969
- [6] M.B.Ignatyev "On the linguistic approach to the analysis and synthesis of complex systems ," Proceedings Interuniversity Scientific Conference "Technical Cybernetics" M. , 1969 .
- [7] M.B.Ignatyev " Redundancy in the multi-purpose systems, " Proceedings of the IV Symposium on the problem of redundancy , L. , 1970 .
- [8] M.B.Ignatyev , F.M.Kulakov , A.M.Pokrovsky " Control algorithms robotic manipulators " izd. Mashinostroenie , 1972 , in the U.S. edition of Virginia Press , 1973 , third edition 1977 .
- [9] G.S.Britov , M.B.Ignatyev , L.A.Mironovsky , Yu.M.Smirnov "Control of computer processes" izd. LGU , 1973 .
- [10] V.Glushkov , M.Ignatyev , V.Miasnikov , V.Torgashev "Recursive machines and computing technology" Proceedings IFIP- 74 , computer hardware and architecture, p. 65-70, Stockholm, August 5-10, 1974 .
- [11] M.B.Ignatyev , V.A.Myasnikov , A.M.Pokrovsky " Program control of equipments " izd. Mashinostroenie , 1974, second edition 1984 .
- [12] M.B.Ignatyev , V.A.Myasnikov , V.A.Torgashev " Recursive computers" Preprint number 12 , ITM and CM, Academy of Sciences of the USSR , 1977 .
- [13] M.B.Ignatyev , V.M.Kiselnikov , V.A.Torgashev , V.B.Smirnov " Associative memory " Certificate number 4844562 , Invention Bulletin number 34 , 1975 .
- [14] A.A.Bekasova , S.V.Gorbachev , M.B.Ignatyev , V.A.Myasnikov , V.A.Torgashev " CPU with firmware control " certificate number 814118 with priority from 18.10.1979 .
- [15] S.V.Gorbachev , M.B.Ignatyev , V.M.Kiselnikov , V.A.Myasnikov , V.A.Torgashev "Multiprocessor system " Certificate number 962965 with a priority date of 27 August 1974 , the Inventions Bulletin number 36, 1982 .
- [16] M.B.Ignatyev , V.A.Myasnikov , V.V.Filchakov "The organization of the computational process for solving applied problems on a multiprocessor system with a recursive organization," Journal of Cybernetics , Academy of Sciences of the USSR , № 3 , 1984, p.30 -37 .
- [17] " Recursion " article in the Mathematical Encyclopedia , Vol. 4 , pages 962-966 , M , 1984 .
- [18] M.B.Ignatyev , A.A.Kochkin , V.A.Myasnikov , Yu.E.Sheynin " Microprocessors - system programming and debugging " Atomenergoizdat , M. , 1985 .
- [19] S.V.Gorbachev , M.B.Ignatyev , Yu.E.Sheynin " Recursive machines for wide application" Theses of 11 All-Union conference on Computer Science , izd. Armenian SSR, Yerevan , 1987
- [20] M.B.Ignatyev , Ya.Komora " A generalized parametric model of the locally - recursive structures in three-dimensional integrated circuits, " Reports of the USSR , 1991, tom.320 , № 5, str.1058 - 1062.
- [21] M.B.Ignatyev , V.V.Filchakov , L.G.Osovetsky "Active methods to ensure the reliability of algorithms and programs" izd.Politehnika , 1992
- [22] M.B.Ignatyev " Linguo-combinatorial modeling badly formalized systems", Information and Control Systems » № 6 , 2003, p.34 -37 .
- [23] S.A.Yanovskaya " Methodological problems of science" M , 1972 .
- [24] P.G.Suvorova " Dialectics of the abstract and the concrete in the concept of computer architecture " Sb "New ideas in the philosophy of science and technical knowledge ." M., 2002 .

- [25] M.B.Ignatyev , Yu.E.Sheynin "25 years since the creation of recursive computer performance and reliability, and the problem of parallel computing," Report to the plenary session of the 23rd International Conference on the computer science and sustainable development , St. Petersburg, house of Scientists, Russian Academy of Sciences , April 16, 2004 .
- [26] M.B.Ignatyev , Yu.E.Sheynin " Recursive Computing " , Informatization and Communication № 2 , 2005, p.33 - 40.
- [27] [www.computer-museum.ru](http://www.computer-museum.ru)
- [28] R.Penrouz "The path to reality or the laws that govern the Universe" , Moscow, 2007
- [29] Ignatiev M. B. "Simulation of Adaptational Maximim Phenomenon in Developing Systems" Proceedings of The SIMTEC'93 - 1993 International Simulation Technology Conference, San Francisco, USA, 1993 , p.41- 42.
- [30] Ignatyev M.B., D.M.Makina, N.N.Petrischev, I.V.Poliakov, E.V.Ulrich, A.V.Gubin "Global model of organism for decision making support" Proceedings of the High Performance Computing Symposium - HPC 2000 , Ed. A. Tentner, 2000 Advanced Simulation Technologies Conference, Washington DC USA, 2000 , p.66- 71.
- [31] Ignatyev M. B. "Linguo-combinatorial method for complex systems simulation" Proceedings of the 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, vol. XI, Computer science II, Orlando, USA, 2002 , p.224- 227.
- [32] R. Bader "Atoms in Molecules " M, izd. Mir, 2001 .
- [33] Ignatyev M.B."Information technology and micro -, nano- and optoelectronics " izd.GUAP , St. Petersburg, 2008 .
- [34] Ignatyev M.B. "Cybernetic world picture . The theory of complex systems , " St. Petersburg, 2011
- [35] Torgashev VA " Automaton networks and computers : history and current state of development " / History of computer science and computer science at St. Petersburg (Leningrad ) . Issue 3 . Under the general editorship of R.M.Yusupov , St. Petersburg , 2012.
- [36] M.Ignatyev "The linguo-combinatorial simulation in modern physics" American Journal of Modern Physics, USA, 2012, vol.1, No 1, pp. 7-11.