

**ПРИНЦИП СМЕШАННОГО ЭКСТРЕМУМА КАК ОСНОВА ЭВОЛЮЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ**

Светлой памяти друга и соратника Богдана Попова посвящается

**1. Введение**

Общеизвестно, что одним из определяющих факторов научно-технического прогресса XXI столетия будут информационные технологии вообще и компьютеры, и коммуникации, в частности. С этим необходимо согласиться, так как именно новые технологии определяют прогресс развития производства и общества. Вполне понятен большой интерес к проблеме развития вычислительных средств. Об этом свидетельствуют множество публикаций в научных, научно-технических и научно-популярных журналах и Internet. Обратимся только к некоторым из них: "Компьютерные технологии в новом тысячелетии" [1], "Искусственный интеллект на пороге третьего тысячелетия" [2], "Эволюция вычислительной техники в биосферной системе..." [3], "Перспективы развития вычислительных средств с сетевым взаимодействием" [4], "В погоне за петафлопсом" [5], "Постчеловеческая цивилизация" [6], "The Future of computing" [7] и так далее. При этом составляются различные по форме, содержанию и последствиям прогнозы. Как известно, прогнозы - вещь неблагодарная и часто приводящая к ошибкам. Прогнозы, основанные на "озарении", имеют вероятностный характер. Более надежными прогнозами являются те, которые основываются на законах, являющихся интерпретацией общих законов Природы в данной области знаний и имеющих конкретное подтверждение как в прошедшем, так и сегодняшнем времени. Будущее рождается в настоящем и его необходимо увидеть. Именно новые законы и закономерности позволяют по-иному воспринимать уже известные факты и события.

В настоящее время прогнозы развития вычислительных средств составляются, в основном, исходя из прогресса элементарно-технологического базиса, увеличения сложности вычислительных средств, решаемых ими задач, совершенствования форм организации процесса вычислений и т.д. Однако все более настойчиво пробивает себе дорогу мысль, что процесс развития вычислительных средств имеет эволюционный характер, о чем свидетельствуют работы П.Шустера, [8], Е.И.Брюховича [3], автора данной статьи [3] и другие. Кроме этого, имеются и более общие постановки проблемы об идентичности процессов эволюции живой и неживой природы, общества, деятельности человека, процессов развития мира, а также ряда антропогенных объектов и, в частности, вычислительных средств [4,9]. На основе такого эволюционного развития некоторые исследователи прогнозируют конец человечества уже в XXI веке. Одни - за счет антиприродной деятельности человечества, а другие - за счет прогресса информационных технологий и создания саморазмножающихся и интеллектуальных саморазвивающихся роботов и "искусственного всемирного разума" [6]. Наблюдается одностороннее рассмотрение таких важных проблем, как выживание человечества в соревновании с созданным им же "всемирным разумом". Так, А.В.Болонкин приходит к выводу о конце человечества и возникновении постчеловеческого общества.

В данной работе основное внимание уделено обоснованию принципа, который лежит в основе процесса эволюции и явлений природы, а также развития вычислительных средств в разрезе развития элементарно-технологического, организационного, информационного и алгоритмического базисов.

Для лучшего понимания происходящих эволюционных процессов СВТ необходимо разделить понятия информации и знания, что весьма важно, так как в будущем, в силу предметной специализации вычислительных средств, приведет к разным их структурам и видам. Но, учитывая уже сегодняшнее состояние большинства вычислительных средств, они будут функционировать не автономно, а в сетевом взаимодействии. При этом сетевое взаимодействие будет не только с внешними абонентами, а и внутри самих вычислительных средств. Помимо этого, расширятся образная символика информации, включающая все образы, возникающие у человека в результате воздействия на органы чувств, а также образы абстрактного мышления, выработанные человечеством в процессе развития. В работе, наряду с принципом смешанного экстремума, большое внимание уделяется и другим подходам, используемым для прогноза развития вычислительных средств.

## **2. Постановка проблемы**

Большинство людей осознанно или неосознанно воспринимают гармонию окружающего нас мира. При этом наблюдаются два подхода: восприятие гармонии как необходимого условия, обеспечивающего бесконечное движение, и другой - как возможное изменение вселенной. К первой категории относят философские взгляды Г.Лейбница и Л.Эйлера, а ко второй – П. де Мопертюи. Такого типа проблемы исследовались как в далекой древности, так и в недалеком прошлом. Данную проблему исследовали Платон в "Федоне", Ф.Лейбниц в "Общей характеристике", А.Эйнштейн - в "Мировой формуле" и т.д. Рассматриваемый в нашей статье принцип смешанного экстремума является дальнейшим развитием этой проблемы.

Принцип наименьшего действия П.де Мопертюи гласит [12]: "Если в природе происходит какое-то изменение, то необходимая для этого мера действия является минимальной". М. Планк писал по поводу данного принципа [12]: "Принцип сохранения энергии может быть выведен из принципа наименьшего действия, то есть содержится в нем, так как обратное утверждение неправомечно. Поэтому принцип сохранения энергии уже принципа наименьшего действия".

Г.Гельмгольц отмечал, что П. де Мопертюи разгадал только часть истины, а Л.Эйлер подчеркивал, что не следует приписывать этому принципу больше, чем в нем заложено, а в природе сам принцип П.де Мопертюи в общем случае места не имеет, так как кроме минимумов могут возникать и максимумы. В результате Л. Эйлер сформулировал свой принцип максимумов и минимумов [12]: "... все явления в природе происходят в соответствии с тем или иным законом максимумов или минимумов...", и это соответствует гармонии в природе. Однако гармония в природе достигается, в основном, в результате процессов эволюции, а основу эволюции, по крайней мере живой природы, составляют механизмы отбора, самоорганизации и выживания, учитывающие адаптацию к внутренним и внешним условиям существования. Помимо этого, в природе и обществе гармония достигается также в результате действия законов сохранения (баланса), с одной стороны, и дуализма - с другой. Но при этом обеспечивается не просто баланс ресурсов, а динамический, иерархический баланс ресурсов. Пример данного подхода излагается в работе [14]. При достижении такого баланса возможно существование противоречивых требований к компонентам, участвующих в его достижении. Это приводит к тому, что необходимо, с одной стороны, использовать детерминированный подход, а, с другой, - вероятностный. Кроме того, достижение этого баланса может требовать достижения не только минимума либо максимума, а смешанного экстремума, учитывающего противоречивые требования к такому балансу. Необходимо отметить, что смешанный экстремум может вырождаться, когда это необходимо, в чистый максимум или минимум. Таким образом, принцип смешанного экстремума можно рассматривать как дальнейшее обобщение принципов Г. Лейбница, П.де Мопертюи и Л. Эйлера, а также их предшественников.

Как уже отмечалось выше, одним из основных механизмов, определяющих эволюционное развитие процессов и явлений "живой" и "неживой" природы, является естественный отбор. Математической моделью описания подобных процессов и явлений в определенной мере может служить теория игр, восходящая к работам А. Вальда, фон ДЖ Неймана и других ученых. Рациональное поведение игроков или автоматов во многих случаях определяется на основе принципа максимина (при наличии в пространстве чистых стратегий и

седловой точки для функции выигрыша либо смешанных стратегий в случае отсутствия седловой точки). При наличии условий неопределенности в теории игр используется либо принцип максимина (минимакса), либо стратегия "игры с природой", когда осуществляется выбор из некоторого множества стратегий и выбирают наиболее благоприятную стратегию природы. При этом наличие априорной информации о поведении природы позволяет достигнуть большего выигрыша по сравнению с максиминной (минимаксной) стратегией, рассчитанной на наихудшую ситуацию. Отметим, что такие подходы теории игр нашли широкое применение также в исследовании операций, экономике, математической статистике, теории управления, теории статистических решающих функций и т.д., что позволяет отображать широкий спектр процессов, происходящих в природе и обществе. При этом в зависимости от решаемых задач используются различные критерии оптимальности, включающие функцию выигрыша, выраженную на основе максимина, минимакса, максимума математического ожидания значения функции выигрыша, и т.д., с использованием как чистых, так и смешанных стратегий, основанных на компромиссах.

Еще в начале девятнадцатого столетия известный итальянский экономист В.Парето сформулировал понятие эффективного компромисса - компромисса, лежащего на верхней границе области эффективных решений, где ни один из участников "игры" не может дальше улучшать свое положение, не ухудшая положение других, то есть из всего множества имеет смысл рассматривать только тот выбор, который удовлетворяет условиям эффективного компромисса (оптимизация по Парето). Во всех остальных ситуациях имеется возможность улучшать свое положение, не прибегая ни к каким компромиссам, то есть находиться вне области компромиссов. Другое условие, которое сформулировал английский математик В.Неш и развили новосибирские ученые Ю.Гермейер и И.Ватец, о необходимости иметь не только эффективные, но и устойчивые компромиссы. Поэтому необходимо рассматривать компромиссы не только эффективные, но и устойчивые.

Формально в математике смешанный экстремум (минимакс и максимин) может быть записан в виде

$$\min_{y \in Y} \max_{x \in X} F(x, y) \quad \text{либо} \quad \max_{x \in X} \min_{y \in Y} F(x, y)$$

Так, в теории игр принцип максимина состоит в стремлении максимизировать минимальный выигрыш. Принцип смешанного экстремума также широко используется в теории аппроксимации функций. Это чрезвычайно важно в силу высказывания известного математика, философа, Нобелевского лауреата Бертрана Рассела, который отмечал [16]: "Хотя это может показаться парадоксальным, вся наука (и, следовательно, весь мир, который она отражает, примечание автора статьи) подчинена идее аппроксимации".

В живой природе также работает принцип смешанного экстремума. Так, например, максимальное приспособление к окружающей среде при минимальном расходе энергии, что способствует выживанию биологических объектов в условиях естественного отбора, который является основой эволюционных процессов. В этом случае, помимо принципа адаптации, действуют механизмы генерации и регенерации на клеточном уровне. Из последних исследований в политической экономике известно, что будущее постиндустриальное информационное общество будет основываться на рыночно - плановой экономике [14], что справедливо и для переходных экономик [15]. Смешанный экстремум используется в технике для минимизации стоимости устройства с заданным уровнем надежности, в компьютерной науке для оценки процесса интенсификации вычислений [10] и устранения "узких мест" в вычислительном процессе [11], а также во многих других приложениях.

Таким образом, обобщая вышеприведенные принципы и рассуждения, можно сформулировать следующий принцип: "Все явления природы и общества подчинены гармонии (устойчивости), которая возникает в процессе эволюционного развития на основе отбора, удовлетворяющего смешанному экстремуму, достигающего своего оптимального значения в результате эффективных и устойчивых компромиссов и иерархии дина-

мических балансов". Очевидно, что этот принцип действует не только в развитии живой природы, но и мертвой, включая и развитие антропогенных объектов, а также развитие вычислительных средств. На основе действия принципа смешанного экстремума в процессе эволюционного развития систем различной природы, наряду с их усложнением, наблюдается сочетание структурной и функциональной симметрии (дублирование) и асимметрии (отсутствие дублирования), а также универсальности (сложности) и специализации (простоты), способствующих повышению уровня устойчивости и эффективности этих систем. Помимо этого, на процесс эволюционного развития значительное влияние имеют процессы отбора и самоорганизации. Так, С. Кауфман в работе [28] отмечал следующее: "По-видимому, мы подходим к пониманию эволюции как органического взаимодействия между отбором и самоорганизацией..." Все живые организмы являются ярко выраженными упорядоченными системами... Самоорганизация тесно связана со сложностью".

Однако в данной работе нас интересует не столько обоснование принципа смешанного экстремума как всеобщего закона гармонии природы, общества и антропогенной деятельности человечества, сколько его использование в качестве основы эволюции развития вычислительных средств.

В заключение этого раздела необходимо сделать ряд замечаний, которые позволят уточнить рассматриваемую проблему прогноза вычислительных средств. Во-первых, наличие общих законов эволюции еще не гарантирует правильности постановки проблемы прогноза. Это связано, прежде всего, с тем, что в каждой конкретной области знаний действие основного закона уточняется. Так, закон зеркального отображения В. Савченко [9] и его обобщение, данное в работах [4, 14], имеет дополнительное подтверждение на физико-химическом уровне и дает более глубокое понимание особенностей этого закона.

В химии известно явление, заключающееся в существовании соединений (изомеров) с одинаковым составом и молекулярным весом, но с разными физическими и химическими свойствами. Это явление называется изомерией. Так, например, имея единую молекулярную формулу  $C_2H_6O$ , этиловый спирт и диметиловый эфир имеют разные свойства. Первый - жидкость, которая хорошо растворяется в воде, а второй - газ, который почти не растворяется в воде. Аналогично этому возможна геометрическая (цис - транс) изомерия. Например, элементы цис - транс дихлорэтана имеют различные виды симметрии (обычную и зеркальную) и вследствие этого - различные химические и физические свойства.

Особенно важно это для лекарственных препаратов, когда довольно часто возникает ситуация, при которой одна часть молекулярно-геометрической формулы выступает как лечебное средство, а симметричная часть способствует появлению уродов. (За раскрытие механизмов этих явлений присуждена Нобелевская премия за 2001 год по химии).

Таким образом, хотя закон зеркального отображения является по форме всеобщим законом Природы, но при перенесении его на новые области знаний эти закономерности могут отличаться от исходного закона как свойствами, так и функциями. Так, наверное, "искусственный мозг" на основе ЭВМ будет отличаться от человеческого как базовыми свойствами, так и выполняемыми функциями.

Во-вторых, необходимо уточнить понятие информации, которое в настоящее время включает и просто информацию как отражение внешнего мира, как справедливо заметил В.М. Глушков в работе [26], так и знания, которые предполагают наличие элементов трех видов: объекты, отношения, в которых они находятся, и преобразования, определяющие создание, модификацию, уничтожение и другие действия с объектами и отношениями. В третьих, при решении большинства реальных задач необходимо оптимизировать процессы на основе эффективных и устойчивых компромиссов.

При решении нашей проблемы прогноза развития вычислительных средств следует учитывать разные аспекты этой проблемы, включающие научную организацию труда при обработке информации, специфику обработки знаний в автоматическом и диалоговом режимах, и т.п.

### **3. Эволюция развития вычислительных средств**

Как отмечалось выше, имеются все основания говорить об эволюционном пути развития средств вычислительной техники. Так, П. Шустер утверждает, что воззрения эволюционной теории могут быть перенесены на многие антропогенные объекты, включая компьютеры [8]. А. Болонкин утверждает [6], что есть основной главный закон, смысл существования природы - закон возрастания сложности саморазвивающихся систем, который полностью подтверждается историей возникновения жизни на Земле. На основании этого закона А. Болонкин пишет: "В ближайшие 50-100 лет электронные компьютеры по своим возможностям сравняются с человеческим мозгом. Путь, который потребовал у биологического человечества десятки миллионов лет, будет пройден за полтора, два столетия". То есть речь снова идет об эволюционном пути развития компьютеров.

О процессе эволюции вычислительной техники в системе процессов эволюции в биосфере пишет в своей работе [3] Е.И. Брюхович. В. Савченко, в свою очередь, обосновывает закон направленности эволюционного развития Природы - о существовании зеркальной симметрии между явлениями начала мира "мертвой" и "живой" природы с явлениями цивилизации [9]. В работе [4] показана справедливость действия этого закона в развитии естественного и искусственного интеллекта.

Об эволюции средств вычислительной техники говорится также в работах Ж. Затучной, Е. Балашова [7,17], где основное внимание уделяется эволюции функций и технологий. Таким образом, идея эволюционного развития вычислительных средств уже созрела, но подходы ее реализации весьма различны. Поэтому естественно перенести ряд положений действия принципа смешанного экстремума в "живой" природе на вычислительные средства. Благодаря использованию этих принципов и механизмов "живой" природы, которая прошла значительно больший путь эволюционного развития, а также учитывая эволюционный путь развития форм материального производства, можно прогнозировать будущее вычислительных средств. При этом нельзя сбрасывать со счетов и то, что основная цель вычислительных средств есть замещение информационной, а также интеллектуальной деятельности человека и, в конечном счете, создание "всемирного разума". Таким образом, нам необходимо проследить общность и различия в создании "антропогенных объектов" в материальном производстве и в мозгу человека и соотнести их с эволюцией вычислительных средств.

Во-первых, единственным "сырьем" и объектом труда компьютера являются различные виды информации и знаний. Это подобно умственной деятельности человека, но в корне отличается от материального производства. В материальном производстве не имеется единого сырья для выпуска различных видов изделий, что приводит к необходимости иметь различные виды орудий труда и различные специфические технологии получения требуемого изделия. Хотя по форме организации производства и выполняемым функциям эти процессы могут быть подобны тем, что реализуются в компьютерах.

Во-вторых, основой изготовления изделий в материальном производстве является конструкторско-технологическая документация. В компьютерах эту роль играют алгоритмы решения задач и основные операции, выполняемые машиной. При этом, в отличие от материального производства, существует минимальный набор базовых "операций", достаточный для реализации любого алгоритма. На основе подобного набора реализуется система команд - инструкций, которая является избыточной, но достаточно эффективной для решения различных классов задач. В определенном смысле машинный алгоритм (программа) эквивалентен технологической карте маршрутизации в материальном производстве. Но еще ближе процессы, протекающие в ЭВМ с сетевым взаимодействием, к процессам восприятия информации и мышления у человека.

В-третьих, в компьютерах имеется система счисления, которая выступает в качестве орудия труда компьютера, и его "производственная" мощность зависит от величины основания системы счисления. Помимо этого, в работе [19] указывается, что оптимальной является система проблемно - ориентированных счислений, т.е. опять имеет место принцип смешанного экстремума.

Данный перечень сопоставлений может быть продолжен. Но уже из этого сопоставления видно, что фундамент производства "продукции" в материальном и компьютерном производстве, а также у человека, различен, хотя имеется и много общих моментов в процессе самого производства.

Для прогнозирования эволюции ЭВМ необходимо учесть направление их совершенствования. Эта эволюция должна включать совершенствование основных базисов вычислительных средств [18]: элементно-технологического, организационного, информационного и алгоритмического. Помимо этого, необходимо учесть, что гармония (устойчивость) внутри природных, общественных и антропогенных систем обеспечивается в результате динамического баланса всех видов ресурсов, интересов и других компонентов этих систем, которая осуществляется на основе принципа смешанного экстремума и вероятно - детерминированного подхода для ее достижения.

Перейдем к рассмотрению направленности развития упоминавшихся выше базисов вычислительных средств.

Элементно-технологический базис основывается сегодня, в основном, на полупроводниковой технологии, включающей в последнее время использование квантово - механических эффектов. Но в ближайшее время могут широко использоваться молекулярные, квантовые, биологические и оптические технологии. Эти технологии характеризуются массовым параллелизмом и сетевым взаимодействием, поэтому имеют свои эффективные области применения. Учитывая, что в будущих компьютерах необходим широкий набор функциональных возможностей (понимание речи, образов, текстов, автоматическая генерация программ на основе семантических заданий, моделирование сложных процессов, генерация процессов игр и т.д.), потребуется использование набора микросхем, выполненных по различным технологиям и способных эффективно решать задачи заданной предметной области.

В связи с развитием технологий и расширением выполняемых функций необходимо использовать различные виды организации вычислительных средств, образующих организационный базис. По крайней мере, появилась необходимость иметь процессоры с архитектурой, пригодной для работы с образами и знаниями, а также смешанную стратегию организации вычислительных систем различных уровней. Помимо прочего, в этих системах необходимо обеспечить адаптацию к условиям применения системы команд, состава различных функциональных устройств, систем коммутации и связи, реконфигурации системы и т.д. Наиболее полно это может быть воплощено в системах с программируемой архитектурой и структурой. Одновременно необходимо учитывать и научную организацию "труда" ЭВМ, как это подчеркивается в работе [3]. Таким образом, и в этой части необходимо использовать смешанные стратегии (смешанный экстремум).

Информационный базис и, прежде всего, системы счислений также требуют использования смешанных стратегий, т.к. одна система связана с численными расчетами, другая - с работой с символьной информацией, третья - с работой с логическими операторами, четвертая - с работой с образами, пятая - с работой со знаниями и т.д.

Один из таких подходов показан в работе [19], где предлагается использование системы проблемно-ориентированных счислений, но возможны и другие решения. Аналогично обстоит дело и с системами хранения и передачи информации.

Алгоритмический базис представляет наибольший интерес в свете высказывания одного из основателей фирмы Sun Гейджа [7]: "Если сохранение бита информации состоит в изменении формы молекулы, то каждый раз при таком изменении выделяется тепло. Запустите вычисления на миллиардах таких переключателей и все расплавится". Для решения этой проблемы, по мнению Гейджа, можно увеличить производительность вычислений "без дополнительного нагревания", используя более совершенные алгоритмы вычислений. Далее Гейдж утверждает [7]: "В течение ближайших пятидесяти лет вычисления будут столь сложными и будут вовлекать столь серьезные ресурсы, что отдельные вычисления могут изменить температуру Вселенной". Эта проблема тесно связана с интенсификацией процесса вычислений [10,18]. Эту проблему уже хорошо

осознают многие специалисты. Об этом свидетельствует тот факт, что Японская премия 2002 года нацелена на вычислительную науку, вычисление и инженерию, включающие интенсивные алгоритмы, программные средства для моделирования и аппаратные средства компьютеров. В области программирования еще в середине прошлого столетия, академик А. Ершов [20] предложил смешанные вычисления, обеспечивающие генерирование эффективных программ для конкретных приложений на основе универсальных машинных алгоритмов. Такие обобщенные алгоритмы обеспечивают адаптацию к условиям применения и генерацию эффективных программных продуктов.

В области символьной обработки (сортировки) подобные обобщенные алгоритмы были получены Г.Е. Цейтлиным [21], а в области аппроксимации функций - Г.С. Теслером [22, 23] - на основе адаптивных по точности, данным и времени аппроксимаций.

Выше уже приводились различия между информацией и знаниями. В заключение данного раздела изложим эти различия в несколько ином аспекте. Под информацией будем понимать внешнее отображение процессов, объектов, явлений и т.п., а под знаниями - алгоритмы воспроизведения процессов, объектов, явлений и т.п. на основе протекающих в них процессов и присущих им свойств. Поэтому естественно считать информацию абстракцией первого ряда, а знания второго. Более полное определение информации и знания будет приведено в следующем разделе. Эволюция в живой природе происходит в результате отбора, адаптации к внутренним и внешним условиям существования, а также использования механизмов саморазвития и самоорганизации. При этом важным элементом такого эволюционного развития является рост сложности объектов, участвующих в процессе эволюции. В силу закона зеркальной симметрии

В. Савченко этот процесс присущ всем явлениям Природы и человеческого общества [9], а в силу обобщения этого закона [4] процесс эволюции присущ и антропогенным объектам вообще, и средствам вычислительной техники. Однако для получения в результате такого процесса устойчивых объектов необходимо учитывать действие принципа смешанного экстремума, изложенного выше. Именно учет вышеизложенных положений позволяет наиболее достоверно осуществить прогноз эволюционного развития будущих средств вычислительной техники.

#### **4. Прогнозные формы ЭВМ**

Основные прогнозные формы ЭВМ гениально предвидел академик В.М. Глушков, который в работе [26] указывал, что высший уровень развития ЭВМ будут иметь мозгоподобные структуры с параллельными процессами, управляемые многими потоками данных и команд. Наряду с этим, как компромиссный вариант, В.М. Глушков [26] предлагал рассматривать ЭВМ "как своеобразную фабрику по переработке информации. Эта аналогия... является в действительности настолько глубокой, что может служить источником новых идей в развитии архитектуры ЭВМ... с целью повышения их производительности." Данную идею прогнозной формы ЭВМ развил проф. Е.И. Брюхович [3].

Однако прогнозная форма ЭВМ, предложенная Е.И. Брюховичем [3], не учитывает ряд законов и положений, влияющих на процесс эволюционного развития вычислительных средств, изложенных в данной работе.

Наряду с принципом смешанного экстремума, который сам является средством для разрешения противоречий (оптимизация по Парето) и баланса ресурсов и энергии (законы сохранения), необходимо непосредственно использовать общие и частные законы иерархии балансов (желательно динамических). Особо это наглядно видно в области вычислительной техники. Так, на нижнем уровне и уровне обработки информации и знаний этот баланс должен соответствовать частоте использования операций, благо, что аспект достаточно хорошо изучен при введении смесей Гибсона. Аналогично обстоит дело с балансом времени, созданием и введением программ в память компьютера и временем решения задачи в автоматизированном и автоматическом режимах. В первом случае за основу взяли диалоговый язык с использованием интерпретатора, а во

втором - компилятора. Отметим, что и в этом случае имеет место действие принципа смешанного экстремума, так как и в одном, и другом режиме действует как трансляция, так и интерпретация, только в разных пропорциях. Естественно, необходим баланс между временем доступа к хранимой и обрабатываемой информации, пропускной способностью каналов и временем обработки информации, а также временем планирования вычислений и самими вычислениями, и так далее.

Именно исследование этих балансов позволяет, с одной стороны, выявлять "узкие места" в процессе вычислений, а, с другой стороны, устранять их и тем самым обеспечивать превращение потенциальных возможностей вычислительных средств в реальные. Наиболее динамично эти противоречия разрешаются при использовании механизмов адаптации и саморазвития, что соответствует процессам эволюции "живой" природы. В связи с этим большинство используемых в будущем вычислительных средств должны удовлетворять принципам смешанности, адаптивности и сбалансированности на всех перечисленных выше уровнях организации и технологий обработки информации и знаний. Вопреки прогнозам, данным в работе [3] по совершенствованию вычислительных средств, в которых утверждается, что в будущем останутся только два типа организации машин: ОКОД - персональные ЭВМ и ЭВМ с научной организацией труда, а форма МКМД - тупиковая форма. Из проведенного выше анализа видно, что все формы ЭВМ будут существовать, но в смешанных вариантах. Еще в пятидесятые годы прошлого столетия Дж. фон Нейман отмечал, что высокая производительность, достигаемая человеком в процессе интеллектуальной деятельности, объясняется его способностью распараллеливать обработку информации. Поэтому для работы со всевозможными образами, подобными, воспринимаемыми человеком, и знаниями, в основном, будут использованы архитектуры с сетевым взаимодействием, адаптивные к внутренним и внешним условиям применения. Это следует, с одной стороны, из того, что человек достиг наивысшей формы развития по отношению к этим понятиям, а, с другой стороны, это следует из обобщения закона зеркального отображения В. Савченко [4,9]. Это же следует и из обобщенного закона симметрии [4]. Эти структуры будут иметь организацию типа МКМД.

Как уже отмечалось, основным предметом труда сегодняшних и будущих ЭВМ является информация в широком понимании этого слова. Однако, как отмечалось выше, необходимо отделить понятие информации от знаний. Дадим более полное определение данных понятий.

Под информацией будем понимать сведения об окружающем нас мире и протекающих в нем процессах, воспринимаемых человеком, живыми организмами, включая и клетки организма, либо техническими устройствами, а также сообщения о состоянии чего-нибудь. Таким образом, информация представляет собой внешнее отображение процессов и объектов, т.е. отображение одного объекта в другой. В отличие от информации, являющейся абстракцией первого рода, знания в наиболее общем виде являются результатом познания сущности окружающего нас мира, объектов живой и неживой природы, протекающих процессов и т.д., что приводит к установлению существующих законов и закономерностей. Таким образом, знания в той или иной степени связаны с такими понятиями, как алгоритм, понимание смысла, модель и т.д. Помимо этого, процесс познания предполагает использование системного анализа и подхода, а также более высокого уровня абстрагирования, чем получение информации, т.е. знания представляют абстракцию второго рода. Особым видом знаний являются алгоритмы решаемых человеком или компьютером задач.

В связи с тем, что именно человек является наивысшей точкой в эволюции живой природы по обработке информации, то именно он может являться прообразом вычислительных средств будущего по обработке как информации, так и знаний. Обе эти формы информации и знаний присущи человеку от рождения. Отметим, что непосредственное участие в обработке этой информации и знаний принимает мозг человека, содержащий порядка  $10^9 \dots 10^{10}$  параллельно работающих каналов с полосой пропускания не более 100-150 Гц. Таким образом, мозг человека обеспечивает решение достаточно сложных информационных и интеллектуальных задач с затратой достаточно малой энергии.



Именно поэтому и в силу закона зеркальной симметрии в будущих ЭВМ должна присутствовать архитектура типа МКМД. Но в силу принципа смешанного экстремума эта архитектура в той или иной степени будет присутствовать в различных видах будущих вычислительных средств. Эволюция вычислительных средств, подчиняясь общим законам Природы, естественно со своими уточнениями для каждой сферы применения, приведет к возникновению трех совершенных форм - ОКОД, МКМД и научной организации вычислений. Однако эти формы в силу принципа смешанного экстремума будут функционировать не изолированно, а совместно. Последняя форма, подобно развитию материального производства, на что обратили внимание академик В.М. Глушков и проф. Е.И. Брюхович [3,26], является аналогом автоматического производства. При этом одним из необходимых условий такого производства является использование принципа научной организации труда на основе разделения труда [3]. Этот принцип наиболее полно сформулировали Эмерсон, Тейлор и Форд, что соответствует фабричной (заводской) форме организации труда с преимущественным использованием технологической (операционной) специализации. Хотя и в этом случае для наиболее массовых частей изделия присутствует предметная специализация. Таким образом, и здесь действует принцип смешанного экстремума. Одним из характерных составных частей организации фабричной формы материального производства является наличие конвейера. Для прошлых форм организации производства характерным было использование прямоточных конвейеров. Однако автоматическое производство потребовало использования гибких автоматизированных производств (ГАП) и других форм конвейерной обработки. Это обстоятельство еще более усиливается в случае ЭВМ в силу ограниченности предметов труда (ограниченность видов обрабатываемой информации), и самая важная особенность состоит в том, что основная масса вычислений заключена в циклах, на что обратил внимание академик В.М.Глушков. В нашем случае конвейер может быть различных видов и не только прямоточным, но и других форм, включая кольцевую, ротороконвейерную, мультиконвейерную (систолическую), ГАП и т.д., осуществляя обработку как простых инструкций, так и макросов. При этом важное значение имеет проблема распараллеливания циклов. Поэтому для полной автоматизации производства, вычислений будет широко использоваться сетевое взаимодействие как внутри вычислительных средств, так и вне его, с использованием суперпозиции различных архитектур, сигнальных и других специализированных процессов, различных алгебр, для повышения эффективности мультиконвейерных вычислений при решении сложных научно-технических задач [24]. При этом необходимо учитывать баланс между многофункциональными и специализированными средствами обработки информации. Как отмечается в работе [25], "На каждом из этапов развития систем последние состоят из многофункциональных и специализированных объектов, причем в начале определенного развития преобладают многофункциональные объекты, а в конце - специализированные". Таким образом, описываемая система может являться основной для создания научно организованного автоматического производства информационной продукции. При этом система является адаптивной как к внутренним, так и внешним условиям. Для увеличения эффективности этой системы, как уже отмечалось выше, необходимо расширить виды и классы обрабатываемой информации. Прежде всего, это работа с образной символьной информацией, включая методы компьютерной алгебры, сочетания аналитических методов с численными и т.д. Подсистема компьютерной алгебры может включать работу с полиномами, матрицами, дифференцированием, интегрированием, работу с числами произвольной разрядности, рациональную и комплексную арифметику и т.д. Для эффективной работы таких подсистем необходимы эффективные средства распознавания различных математических объектов и массовое распараллеливание процессов. Поэтому рассматриваемая форма вычислительных средств даже в рамках основного производства должна сочетать организации типа ОКМД и МКМД и научную организацию труда, сбалансировав ее в рамках принципа смешанного экстремума. Таким образом, останутся три основные формы вычислительных средств для обработки информации, знаний и вычислений: подобие современным персональным ЭВМ (для ремесленного труда в материальном производстве), "мозгоподобные" для обработки образов и знаний и "фабричная" с научной

организацией труда (вычислений). Но, как отмечалось выше, в силу закона смешанного экстремума, эти формы будут существовать как суперпозиция основных форм.

Рассмотрим более подробно эти основные формы. Вычислительные системы с "мозгоподобной" архитектурой имеют следующие характерные особенности: сетевое взаимодействие как на вертикальных, так и горизонтальных уровнях, самоорганизацию и обучение (адаптацию), необходимую избыточность и многое другое, что характерно человеческому мозгу, в частности, и человеку вообще.

Таким образом, будущие вычислительные средства будут основываться на следующих базовых решениях по выполняемым функциям обработки информации (данных, символов, образов и т.д.): обработка знаний и вычисления; по структуре - ОКОД, МКМД, включая сетевое взаимодействие и НОВ (научная организация вычислений, мультимедийная обработка и т.д.) по архитектуре - RISC, CISC, WLIW (с элементами НОВ) и сетевая архитектура [4], включая нейроархитектуры; по технологиям изготовления элементной базы - полупроводниковые, молекулярные, квантовые, оптические и биологические. На основе принципа смешанного экстремума машины обработки информации, знаний и вычислений в той или иной мере будут комбинированными как по выполняемым функциям, так и по архитектуре и структуре.

В заключение необходимо отметить, что упоминавшийся прогноз академика В.М. Глушкова почти полностью подтвердился, за исключением того, что фабричная архитектура является переходной формой к мозгоподобной. Как видно из вышеизложенного, обе эти формы имеют самостоятельное значение и в большинстве случаев будут использованы как комбинированные архитектуры, которые соответствуют принципу смешанного экстремума, но с преобладанием одной из рассматриваемых архитектур. Это будет относиться и к классу ЭВМ, называемых сегодня персональными компьютерами (для реализации индивидуального труда). Подобные результаты вступают в противоречие с прогнозами проф. Е.И. Брюховича, который считает, что в будущем останутся только две формы: в прогнозной форме (фабричной) и типа персональной ЭВМ (разновидность фабричной формы), а архитектура типа МКМД (с массовым параллелизмом) является тупиковой. Но практика как автоматического материального производства, так и обобщенный закон зеркальной симметрии, а также известные сегодня результаты эволюции вычислительных средств, не подтверждают научной гипотезы Е.И. Брюховича в полной мере, хотя в отдельных частностях она и справедлива. В настоящее время имеются факты, что эволюция автоматизированного производства идет именно в том направлении, которое указано в данной статье. Примером этого может служить "Протокол автоматизированного производства" для объединения в сеть производственных компьютеров, роботов и других средств автоматизации для изготовления автомобилей компании General Motors [27]. Эти подходы имеют многих приверженцев не только в США, но и в Европе и Японии [27].

## 5. Выводы

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Принципы смешанного экстремума и зеркальной симметрии являются одними из определяющих в эволюционном развитии будущих ЭВМ.
2. Настало время разделить понятия информации и знаний.
3. Основными базовыми архитектурами будущих ЭВМ будут прообраз современной ПЭВМ для работы конечных пользователей, "мозгоподобные" ЭВМ для работы со знаниями и ЭВМ с фабрично подобной формой автоматического производства с научной организацией труда. Архитектура и структура таких систем являются предметом самостоятельного исследования.
4. Все эти формы, с одной стороны, связаны сетевым взаимодействием, а, с другой стороны, проникают друг в друга, реализуя баланс на основе смешанного экстремума.
5. В настоящее время имеются отдельные элементы этих форм, что подтверждает реалистичность существования общего эволюционного процесса, совершенствования вычислительных средств.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яценко В.А. Компьютерные технологии в новом тысячелетии // Математические машины и системы. 2000.- №2,3.- С.3-15.
2. Шевченко А.И. Искусственный интеллект на пороге третьего тысячелетия // Искусственный интеллект, - 1998.-№2. - С.13-24.
3. Брюхович Е.И. К вопросу об информатизации общества //Математические машины и системы.-2000.-№2,3.-С.194-209.
4. Теслер Г.С. Перспективы развития вычислительных средств с сетевым взаимодействием // Математические машины и системы -2001.-№1-2 С.3-12.
5. Зиновьев Д. В погоне за петафлопсом / www. ipi. publ.-1998.
6. Болонкин А. Постчеловеческая цивилизация XXI века. Конец человечеству и возникновение постчеловеческого общества // Энергия разума .- 2000. С.2-7.
7. Затучная Ж. Назад в будущее // Компьютерные ведомости .-№2-2001.-С.21-28.
8. Colin J. Biologist posits "artificially active theory". Electronic engineering times //Computer Weekl 1995р.-№ 36. - С.42,44. ,
9. Савченко В.И. Мир перед точкой закипания: попытка аналитического пророчества. В кн.: Визит сдвинутой фазисоники: Сб. фантастики. - Киев: Молодь, 1991.-254с.
10. Теслер Г.С. Интенсификация процесса вычислений // Математические машины и системы. -1999.-№2.-С.25-37.
11. Теслер Г.С. Оценка эффективности функционирования программных и технических средств на основе принципа равнопрочности // Обработка данных в многопроцессорных распределенных вычислительных системах. - Киев: ИК АН УССР, 1987.-С.19-24.
12. Тиле Р. Леонард Эйлер. - Киев: Вища школа, 1983-192 с.
13. Лопатников Л.И. Популярный экономико-математический словарь .- М: Знание, 1973. -168 с.
14. Теслер Г.С. Концепция построения постиндустриального информационного общества // Математические машины и системы. - 2000. - № 2,3, - С185-193.
15. Павловський М.А. Стратегія розвитку суспільства. -Київ: Техніка, 2001.- 312 с.
16. Корнейчук Н.П., Лигун А.А., Доронин В.В. Аппроксимация с ограничениями.- Киев: Наукова думка, 1982.-252 с.
17. Балашов Е.П., Частиков А.П. Эволюция вычислительных систем. М.: Знание,1981. - 64с.
18. Теслер Г.С. Место и роль алгоритмического базиса в решении проблемы производительности // Математические машины и системы-1997. - №1.- С.25-33.
19. Брюхович Е.И. Экономическая стратегия разработки вычислительных средств: место и роль счислений //УСиМ , - 1990.- №2.-С.3-18.
20. Ершов А.П.Смешанные вычисления // В мире науки. -1986г.-№6-С.28- 42.
21. Цейтлин Г.Е. Введение в алгоритмику. -Киев: март, 1996.-310с.
22. Теслер Г.С. Построение базы знаний на основе порождающих алгоритмов // Разработка и внедрение цифровых вычислительных комплексов и систем с распределенной обработкой данных .- Киев: Институт кибернетики АН УССР, 1986.- С.21-27.
23. Попов Б.А., Теслер Г.С. Вычисление функций на ЭВМ. - Киев: Наукова думка, 1984. - 600с.
24. Вышинский В.А., Яковлев Ю.С., Задорожный В.Ф. Проблема создания ЭВМ для решения задач большой размерности // Математические машины и системы. - 2000 -№1.- С.38-45.
25. Балашов Е.П., Григорьев В.Л., Петров Г.А. Микро- и миниЭВМ.- Ленинград: Энергоатомиздат, 1984. - 376 с.
26. Глушков В.М. Основные архитектурные принципы повышения производительности ЭВМ // Избранные труды В.М.Глушкова. Т. 2. Киев: Наукова думка, 1990.- С.53-70.
27. Стикс Г. Сети делают автомобили //В мире науки. Scientific American. - 1991. - №10, окт. - С.32-33.
28. Кауфман С.А. Антихаос и приспособление // В мире науки Scientific American.- 1991. - №10.- С.58-65.