

---

*Torgashev V.A. Динамические автоматные сети.*

**Аннотация.** В статье рассматривается альтернативная концепция вычислительных процессов. Индивидуальное выполнение последовательных программ сложным вычислительным устройством заменяется коллективной деятельностью простых автоматов, каждый из которых самостоятельно решает небольшую часть сложной задачи. Такой подход позволяет многократно увеличить производительность и энергоэффективность компьютеров в сочетании с высокой надежностью и информационной безопасностью.

**Ключевые слова:** автоматные сети, сети с управлением от данных, потоковые компьютеры, рекурсивные вычислительные машины, машины с динамической архитектурой, суперкомпьютеры, экзафлопные суперкомпьютеры.

*Torgashev V.A. Dynamic Automata Networks.*

**Abstract.** The article discusses the alternative concept of computing processes. Individual implementation of consecutive programs by the complex computing unit is replaced with collective activity of simple automata, each of which independently solves small part of a complex challenge. Such approach allows to increase repeatedly productivity and energy efficiency of computers in combination with high reliability and information security.

**Keywords:** automata networks, data driven nets, data flow computers, recursive computers, dynamic architecture computers, supercomputers, exascale supercomputers.

---

**1. Введение.** Решение о создании в ЛНИВЦ АН СССР лаборатории вычислительных структур было принято в конце 1979 года по инициативе Академика-секретаря Отделения механики и процессов управления академика Б.Н.Петрова и первого директора института В.М.Пономарева. Основной задачей лаборатории являлись и являются в настоящее время исследования в области архитектур вычислительных машин на базе динамических автоматных сетей. Лаборатория создавалась под конкретного руководителя — доцента ЛИАП к.т.н. В.А.Торгашева с целью развития уже полученных к тому времени результатов. Датой рождения лаборатории, когда новый коллектив приступил к своей деятельности, является 11 января 1980 года.

**2. Динамические автоматные сети (ДАС) как модель распределенных вычислений.** В динамических автоматных сетях и функции автоматов и межавтоматные связи могут изменяться непосредственно в ходе решения задачи, без какого либо центрального управления. Каждый автомат ДАС сам определяет свое поведение в зависимости от внешних сигналов.

Как известно, для последовательных вычислений существует простая, но исключительно мощная теоретическая модель — машина Тьюринга [1]. Эта машина состоит из конечного автомата и бесконеч-

ной ленты, разбитой на последовательно пронумерованные ячейки. Автомат может перемещать ленту в любом направлении, читать содержимое ячеек, соответствующее символам некоторого конечного алфавита и записывать в них новые символы. Задача считается решенной, когда автомат останавливается. Содержимое ленты после остановки автомата соответствует ответу задачи. Взаимодействие машины Тьюринга с внешним миром, обеспечивающее ввод начальной программы на ленту или вывод ответа задачи, может выполняться тем же автоматом. Очевидно, что большинство современных ЭВМ с одним устройством управления, включая конвейерные или матричные процессоры, легко сводятся к машине Тьюринга. Однако адекватно описать распределенные вычисления данная модель неспособна.

Большинство теоретических моделей для параллельных (распределенных) вычислений соответствует направленным графам (операторным сетям), в узлах которых находятся операторы, выполняющие вычисления, а по дугам перемещаются данные. Оператор выполняет вычисления, если для него готовы данные. Подобные модели нельзя назвать конструктивными, поскольку они не рассматривают такие важные для организации вычислений вопросы, как распределение элементов сети по реальным ресурсам; организацию взаимодействия с внешним миром, включая ввод начальной сети и вывод результатов; изменение сетей в ходе вычислений, например, при рекурсивных вычислениях; работу со структурными данными и т.д. Соответственно на базе этих моделей нельзя создать реальные вычислительные машины, не привлекая добавочной информации. Предлагаемая ниже теоретическая модель распределенных вычислений лишена указанных недостатков и по степени конструктивности не уступает машине Тьюринга. Хотя прямых прототипов данная модель не имеет, ряд основополагающих идей был заимствован из работ фон Неймана [2], Улама [3] и Барзиня [4] по теории самоорганизующихся и растущих автоматов.

В традиционной модели предполагается наличие двух элементов — активного (процессора) и пассивного (памяти). Память это конечное или счетное множество последовательно пронумерованных ячеек, где хранятся элементы программы (инструкции и данные). В каждый момент времени процессор извлекает из памяти очередную инструкцию, в зависимости от которой извлекает из памяти соответствующие данные, над которыми выполняется некоторая операция, результат помещается обратно в память и определяется место в памяти, откуда будет взята следующая инструкция. По своей структуре

инструкции не отличаются от данных, и процессор различает их только по месту расположения в памяти. Такой подход обуславливает низкий уровень безопасности компьютера. Любая ошибка в программе может привести к тому, что из-за неправильной адресации число может быть принято за команду, что в лучшем случае приведет к остановке (зависанию) процессора, а в худшем случае к разрушению программ и данных, хранящихся в памяти. Кроме того, возможность прямого обращения к памяти обуславливает невозможность эффективной защиты от вирусов и хакерских атак.

Существуют два параллельных расширения модели, не меняющих ее сути. В первом случае с одной памятью независимо работают несколько процессоров (например, в многоядерных микропроцессорах), а их взаимодействие осуществляется через общие участки программ в памяти. Во втором варианте, характерном для современных суперкомпьютеров, имеется конечное множество процессоров, каждый со своей памятью, объединенных через коммуникационную сеть. Любой процессор помимо обычных действий может переслать программу (возможно состоящую лишь из данных) из своей памяти в память другого процессора.

Динамические автоматные сети были предложены в 1982 году [5–8] как конструктивная модель для параллельных (распределенных) вычислений, являющаяся альтернативой машине Тьюринга — модели последовательных вычислений, в основе которых лежит понятие алгоритма. Конструктивность модели означает возможность создания действующей вычислительной машины, используя лишь понятия, определенные в этой модели.

Динамической автоматной сетью называется множество динамических автоматов (ДА), связанных между собой. Любой ДА помимо обычных автоматных функций способен изменять свои связи с другими автоматами ДАС, порождать новые ДА, которые по структуре и функциям которых могут отличаться от родителя. В каждом ДА заложены условия, при выполнении которых он ликвидируется путем обрыва всех своих связей.

Решение задачи на ЭВМ можно свести к моделированию изменений структуры объекта, соответствующего данной задаче. При этом из структуры выделяются объекты, которым сопоставляются исходные данные, в то время как отношения между объектами чаще всего определяются неявно (исключение составляют лишь некоторые базы данных) с помощью алгоритмов (программ), задающих преобразование исходных данных в результат. Структура самого алгоритма обычно

слабо связана со структурой моделируемого объекта. Искусственное разделение задачи на данные и алгоритмы, с одной стороны, существенно усложняет подготовку задачи к решению, а с другой стороны, отделяет **моделируемый объект от вычислителя**. Подобный подход был сформулирован А.Н. Колмогоровым в алгоритмической теории информации и развивался в работах В.В. Александрова [9–10].

Другой подход заключается в том, что каждому элементу моделируемой структуры сопоставляется конечный автомат. Из множества отношений, определяемых над элементами структуры, выделяется конечное число типов первичных отношений (например, отношение принадлежности элемента множеству, отношение предшествования, упорядочивающее элементы), и таким отношениям сопоставляются межавтоматные связи. В результате, исходной структуре сопоставляется автоматная сеть. Если структура является динамической, то в ее состав входят такие элементы (динамические автоматы — ДА), которые способны осуществлять преобразование этой структуры, а именно, введение в структуру новых элементов, включая новые отношения, удаление из структуры элементов, изменение структуры элементов. Соответствующая такой структуре динамическая автоматная сеть (ДАС) является распределенным вычислителем, причем решение задачи на таком вычислителе сводится к изменению структуры этого вычислителя. Решение задачи заканчивается, когда в составе ДАС не остается элементов, изменяющих ее структуру. Такая ДАС и является результатом решения задачи.

Можно показать, что рассмотренная выше модель является универсальной, поскольку в ней можно представить любую из существующих универсальных моделей. При этом модель отличается высокой динамичностью, способностью изменять свою программу в ходе вычислений и достаточной конструктивностью, то есть может быть легко реализована.

Итак, ДАС является столь же конструктивной вычислительной моделью: что и машина Тьюринга, но, если последняя представляет последовательные, алгоритмические вычисления, то ДАС обеспечивает распределенные функциональные вычисления. В определенном смысле ДАС является более “мощной”, чем машина Тьюринга, если под мощностью понимать количество вычислений в единицу времени.

Сравнивая ДАС с остальными известными вычислительными сетями (операторные сети, сети потоков данных, семантические сети и т.д.), можно заметить, что только ДАС не требуют никакого внешнего

управления для своего функционирования и соответственно реализуют полностью распределенные вычисления.

**3. Мультипроцессоры с динамической архитектурой.** В 1985 году был изготовлен и испытан опытный образец мультипроцессора с динамической архитектурой МДА ЕС-2704, содержащий 24 вычислительных модуля. Изначально перед разработчиками МДА была поставлена задача, доказать, что все преимущества МДА обусловлены именно архитектурными решениями. Поэтому было решено реализовать МДА на той же элементной и конструктивной базе, которая использовалась в машинах ЕС ЭВМ. В качестве эталона для сравнительной оценки производительности был выбран процессор ЕС-1055 с производительностью 600 тысяч операций в секунду, имевший примерно такой же объем аппаратуры, что и образец МДА. В ходе испытаний на различных задачах определялось ускорение образца МДА по отношению к эталонной ЭВМ. Это ускорение, в зависимости от решаемых задач, составляло 50–830 раз. Таким образом, было доказано, что новая архитектура ЭВМ, основанная на динамических автоматных сетях, позволяет при одинаковых аппаратных затратах поднять производительность по меньшей мере на два порядка.

МДА ЕС-2704 предназначался в первую очередь для применения в военных системах, работающих в реальном времени. Важнейшей характеристикой таких систем является надежность. Уникальным свойством МДА, характерным только для систем, основанных на динамических автоматных сетях (включая рекурсивные вычислительные машины), является возможность сохранения работоспособности даже при множественных отказах элементов непосредственно в ходе выполнения задач. Очень эффективное доказательство этого свойства было продемонстрировано в ходе приемки ЕС-2704 государственной комиссией. Во время решения одной из контрольных задач члены комиссии имели возможность вытащить из работающего образца любые устройства, включая блоки питания. Никакого резервирования в ЕС-2704 не было предусмотрено. При удалении 11 случайно выбранных устройств, что составляло около 5% от общего объема, задача была успешно завершена с увеличением времени решения примерно на 30%. До сих пор в мире не создано ни одного вычислительного устройства, обладающего такими же возможностями.

**4. Возможности создания МДА на существующих коммерческих микросхемах.** Динамические автоматные сети можно реализовать на программируемых логических интегральных схемах ПЛИС, которые выпускаются американскими фирмами Altera и Xilinx.

Для создания МДА любой производительности и различного назначения, начиная от небольших, но мощных бортовых систем и кончая стационарными суперкомпьютерами, достаточно использовать лишь один конструктивный тип модулей — вычислительный модуль с динамической архитектурой (ВМДА). На небольшой печатной плате с размерами 110x110 мм размещается 4 ПЛИС 5CGXC7 фирмы Altera, 4 микросхемы оперативной памяти по 512 Мбайт и две микросхемы энергонезависимой памяти емкостью 8–64 Гбайт. Там же размещается 20-ваттный источник питания переменного тока 220 вольт. По всем четырем краям платы размещаются one-piece разъемы, обеспечивающие соединение с другими ВМДА с помощью жестких или гибких печатных плат или подключение интерфейсных модулей. Высота ВМДА составляет 25 мм.

ВМДА обеспечивает производительность 625 Гфлопс при энергопотреблении не более 12 Ватт. Энергоэффективность составляет 50 Гфлопс/ватт. В то время как в лучших современных суперкомпьютерах, таких как IBM Sequoia или Cray Titan энергоэффективность не превышает 2 Гфлопс/ватт (в 25 раз ниже) и лишь к 2018 году предполагается достичь величин порядка 50 Гфлопс/ватт. При обработке цифровых сигналов или символьной обработке производительность одного ВМДА достигает 1.9 триллиона операций в секунду. Объем оперативной памяти модуля составляет 2 Гбайт. Объем энергонезависимой памяти — 16–128 Гбайт в зависимости от типа установленных микросхем. Пропускная способность коммуникационных каналов ВМДА — 30 Гбайт/сек. Пропускная способность оперативной памяти ВМДА — 32 Гбайт/сек. Число модулей ВМДА, из которых собирается МДА, может быть сколь угодно большим, но при этом все связи выполняются с помощью печатных проводников фиксированной длины, а программное обеспечение полностью инвариантно к размерам МДА.

**5. Возможности создания МДА на отечественной элементной базе.** Как отмечалось ранее, любую МДА можно представить в виде двумерной структуры, состоящей из одинаковых вычислительных автоматов ВА. Каждый ВА связан с четырьмя ближайшими соседями. Основным критерием выбора структуры ВА является минимизация энергопотребления или числа переключений элементов в единицу времени. Поэтому обработка и передача информации в ВА осуществляется в последовательной форме. Низкая скорость работы ВА с лихвой окупается большим количеством ВА в микросхеме. Для минимизации энергетических затрат введем понятие автоматного кластера АК. Кластер содержит квадратную матрицу из 256 автоматов ВА, генера-

тор синхросигналов ГС и 4 интерфейсных автомата ИА. Все ВА, входящие в кластер, работают и взаимодействуют друг с другом на одной и той же частоте. Взаимодействие между АК как внутри микросхемы, так и за ее пределами осуществляется асинхронно по последовательным каналам.

Назовем двумерную структуру, содержащую  $N \times N$  кластеров АК и выполненную в виде микросхемы, Динамической Электронной Структурой с размерностью  $N$  (ДЭС- $N$ ). Например, микросхема ДЭС-32 содержит 1024 кластеров АК, образующих структуру  $32 \times 32$ .

В состав каждого автомата ВА входят следующие устройства: энергонезависимое запоминающее устройство типа флеш памяти, оперативное запоминающее устройство динамического типа и процессор, который состоит из примитивного операционного устройства и устройства управления. Операционное устройство осуществляет последовательную побитовую обработку информации. Простые операции типа сложения выполняются за  $n$  тактов, где  $n$  — число двоичных разрядов. Для выполнения операций умножения и деления требуется  $n^2$  тактов.

98% от объема (числа транзисторов) автомата ВА занимают запоминающие устройства. Менее 1% от объема процессора (1/5000 от объема ВА) составляет операционное устройство. Однако на это устройство, несмотря на его пренебрежимо малые размеры, приходится более 98% всего энергопотребления автомата ВА. Поэтому величина энергии, потребляемой автоматом ВА, определяется числом активных автоматов ВА, занятых вычислениями. Свободный автомат, или занятый, но ожидающий получения данных практически не потребляет энергии.

Рассмотрим теперь возможные параметры микросхемы ДЭС-32, реализованной по технологии 90 нм, которая к настоящему времени освоена на предприятиях электронной промышленности России. При использовании данной технологии на площади 1 кв. мм можно разместить примерно 120 миллионов транзисторов. Соответственно объем автомата ВА составит 480 тысяч транзисторов. Этого количества транзисторов достаточно для размещения 36 Кбайт энергонезависимой памяти и 9 Кбайт динамической памяти. Энергопотребление ВА пропорционально частоте работы операционного устройства  $f_{\max}$ . Если эта частота равна 500 МГц, то энергопотребление ВА составит 10 микроватт. При этом производительность ВА при вычислениях с плавающей запятой двойной точности составит 2 Мфлопс. При обработке изобра-

жений или других цифровых сигналов производительность ВА составит 12 миллионов операций в секунду.

Для ДЭС-32 объем энергонезависимой/оперативной памяти составит 9/2.25 Гбайт. При тактовой частоте 500 Мгц производительность ДЭС-32 составит 0.5–3.0 триллионов операций в секунду в зависимости от классов решаемых задач. В случае полной загрузки всех автоматов ВА энергопотребление такой ДЭС-32 составит 2.5 ватт, что соответствует **энергоэффективности 200 Гфлопс/ватт**. Следует сказать, что тактовая частота каждого АК микросхемы ДЭС-32 может изменяться в широком диапазоне от 1 Гц до десятков Кгц даже непосредственно в процессе работы. Соответственно будет изменяться производительность и энергопотребление. Микросхема ДЭС-32 может автоматически поддерживать энергопотребление не выше заданного уровня.

Микросхема ДЭС-32 может быть размещена в корпусе размером 40\*40 мм с 320 выводами, 64 из которых используются для подачи питания и земли. Из одной и той же полупроводниковой пластины можно получать также микросхемы ДЭС-16, ДЭС-8 и ДЭС-4. Последняя микросхема при размерах корпуса 5\*5 мм может обеспечить реальную производительность 100 миллиардов операций в секунду при энергопотреблении всего 80 милливатт.

ДЭС можно рассматривать как пример "вечной" микросхемы, которую можно вывести из строя только с помощью механического воздействия. Действительно, большая часть неисправностей будет приходиться на ячейки памяти, которые занимают 98% объема ДЭС. Однако каждый ВА непрерывно контролирует состояние своей памяти и, в случае возникновения неисправности, исключает соответствующий блок памяти из списка доступных. Тем самым немного уменьшается объем памяти ВА, что никак не сказывается на его функционировании. Выход из строя ВА уменьшает производительность АК, в состав которого он входит, всего на 0.25%. Если, однако, число отказавших ВА окажется достаточно большим, так что снижение производительности АК станет заметным, автоматически увеличится тактовая частота, и производительность АК восстановится до исходного значения. При этом энергопотребление АК сохранится на прежнем уровне, так как отказавшие ВА энергии не потребляют. Аналогичная ситуация возникает и на уровне микросхемы. Если число отказавших АК составляет заметную величину, каждый из исправных АК повышает свою тактовую частоту, чтобы восстановить производительность микросхемы до исходного значения. **Итак, несмотря на полное отсутствие резерви-**



рования, микросхема ДЭС при наличии множественных отказов элементов, число которых может составлять десятки тысяч, не только сохраняет работоспособность, но и поддерживает номинальное значение производительности. Это свойство позволяет использовать ДЭС в условиях сильного радиационного или космического излучения, где обычная электроника мгновенно выходит из строя. МДА, выполненные на базе ДЭС, независимо от размеров могут работать сколь угодно долгое время с номинальными параметрами без какого либо ремонта. Конструкцию таких МДА можно делать неразборной.

**6. Заключение.** За 33 года деятельности лаборатории распределенных вычислительных структур были получены следующие фундаментальные результаты:

1. Разработана конструктивная модель распределенных вычислений — динамические автоматные сети (ДАС), превосходящая по мощности алгоритмическую модель (машину) Тьюринга.
2. Созданы промышленные образцы МДА ЕС-2704, в ходе испытаний и эксплуатации которых было **экспериментально доказано** превосходство автоматных сетей над традиционными архитектурами компьютеров, в том числе повышение производительности на 3 порядка при одинаковом объеме аппаратуры и сверхвысокая надежность.
3. Разработан вычислительный модуль с динамической архитектурой ВМДА на базе коммерческих ПЛИС фирмы Altera, позволяющий создавать суперкомпьютеры, превосходящие лучшие мировые образцы по любым параметрам в десятки раз.
4. Разработана архитектура динамической электронной структуры ДЭС, которая может быть реализована в виде микросхемы с помощью любых существующих технологий, в том числе и тех, которые имеются в России (90 или 130 нм). Микросхема ДЭС, включающая в свой состав оперативную память и энергонезависимую память позволит уже в 2015 году создавать компьютеры и суперкомпьютеры, в том числе эксафлопной производительности, исключительно на отечественной элементной базе при использовании только отечественного программного обеспечения. Эти компьютеры никогда не потребуют ремонта и сохранят работоспособность даже в условиях сильных радиоактивных излучений.

## Литература:

1. *Turing A.M.* On Computable Numbers with an Application To The Entscheidungsproblem. //In: Proc. London. Math. Soc. 1937, v. 43.
2. *Neuman J. von.* Theory of Self-reproducing Automata. // University of Illinois Press, Urbana and London, 1966.
3. *Ulam S.M.* Random Processes and Transformation. // In: Proc. of the Intern. Congress of Mathematicians. 1950, Providence, 1952, v. 11, p. 264–275.
4. *Барзинь Ю.М.* Проблема универсальности растущих автоматов. //Доклады АН СССР, 1964, т. 57, № 3, с. 542–545.
5. *Торгашев В.А.* Управление вычислительными процессами и машины с динамической архитектурой.// Вычислительные системы и методы исследований и управления автоматизации. М., Наука, 1982, р. 172–187.
6. *Плюснин В.У., Пономарев В.М., Торгашев В.А.* Распределенные вычисления и машины с динамической архитектурой.// Вычислительные системы и методы исследований и управления автоматизации. М., Наука, 1982, р. 188–205.
7. *Торгашев В.А., Царев И.В.* Средства организации параллельных вычислений и программирования в мультипроцессорах с динамической архитектурой. // Программирование — 2001, Новосибирск — №4. — с. 53–68.
8. *Торгашев В.А.* Распределенные вычисления и мультипроцессоры с динамической архитектурой // Труды СПИИРАН. Вып. 4. — СПб.: Наука, 2007, с. 50–72
9. *Александров В.В., Сойгин А.М.* Метод прямого компьютерного моделирования — Препринт № 102, Л.: ЛИИАН, 1989, 23 с.
10. *Александров В.В., Арсентьева А.В.* Информация и развивающиеся структуры. — Л.: ЛНИВЦ АН СССР, 1984. — 186 с.

**Торгашев Валерий Антонович** — доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией распределенных вычислительных структур СПИИРАН. Область научных интересов: теоретические основы информатики, архитектура вычислительных систем, распределенная обработка данных. Число научных публикаций — более 150. e-mail: tor@mail.spiiras.nw.ru.; СПИИРАН, 14-я линия В.О., 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-2071, факс +7(812)328-4450.

**Torgashev Valery Antony** — Dr. Sci. (Tech.), Prof., Head of Distributed Computing Structures Laboratory SPIIRAS. Research interest: theoretical basis of informatics, computer system architecture, distributed data processing. The number of publication — more than 150. e-mail: tor@mail.spiiras.nw.ru, SPIIRAS, 14-th Line V.O., 39, St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-2071, fax +7(812)328-4450.

Рекомендовано лабораторией автоматизации научных исследований СПИИРАН.  
Статья поступила в редакцию 05.03.2013.

## РЕФЕРАТ

### *Торгашев В.А.* **Динамические автоматные сети.**

В статье рассмотрена конструктивная модель распределенных вычислений — динамические автоматные сети ДАС — превосходящая по мощности алгоритмическую модель (машину) Тьюринга. Динамической автоматной сетью называется множество динамических автоматов ДА, связанных между собой. Любой ДА помимо обычных автоматных функций способен изменять свои связи с другими автоматами ДАС, порождать новые ДА, которые по структуре и функциям которых могут отличаться от родителя. В каждом ДА заложены условия, при выполнении которых он ликвидируется путем обрыва всех своих связей. Решение задачи на ЭВМ можно свести к моделированию изменений структуры объекта, соответствующего данной задаче. В рамках ДАС каждому элементу моделируемой структуры сопоставляется конечный автомат, а отношениям между элементами структуры сопоставляются межавтоматные связи. В результате, исходной структуре сопоставляется автоматная сеть. Если структура является динамической, то в ее состав входят такие элементы, которые способны осуществлять преобразование этой структуры, а именно, введение в структуру новых элементов, включая новые отношения, удаление из структуры элементов, изменение структуры элементов. Соответствующая такой структуре динамическая автоматная сеть является распределенным вычислителем, причем решение задачи на таком вычислителе сводится к изменению структуры этого вычислителя. Решение задачи заканчивается, когда в составе ДАС не остается элементов, изменяющих ее структуру. Такая ДАС и является результатом решения задачи.

Показано, что в ходе испытаний и эксплуатации промышленных образцов МДА ЕС-2704 было экспериментально доказано превосходство динамических автоматных сетей над традиционными архитектурами компьютеров, в том числе повышение производительности на 3 порядка при одинаковом объеме аппаратуры и сверхвысокая надежность.

Рассмотрен вычислительный модуль с динамической архитектурой на базе недорогих коммерческих ПЛИС фирмы Altera, позволяющий создавать суперкомпьютеры, превосходящие лучшие мировые образцы по любым параметрам в десятки раз.

Рассмотрена архитектура динамической электронной структуры ДЭС, которая может быть реализована в виде микросхемы с помощью любых существующих технологий, в том числе и тех, которые имеются в России (90 или 130 нм). Микросхема ДЭС, включающая в свой состав оперативную память и энергонезависимую память позволит уже в 2015 году создавать компьютеры и суперкомпьютеры, в том числе эксафлопной производительности, исключительно на отечественной элементной базе при использовании только отечественного программного обеспечения. Эти компьютеры никогда не потребуют ремонта и сохраняя работоспособность даже в условиях сильных радиоактивных излучений.

## SUMMARY

### *Torgashev V.A.* **Dynamic Automata Networks.**

The constructive model of the distributed computations, known as the DAN – “dynamic automata networks”, surpassing in power the algorithmic model (machine) of Turing is considered in the article. The set of dynamic automata DA, connected among them is called “dynamic automata networks”. Any DA, besides usual automaton functions, is capable to change his links with other DAS automata, to generate new DA, whose structure and functions can differ from the parent’s ones. Every DA has conditions, at which performance it is liquidated by breaking all their links. The solution of a task on the computer can be consolidated to modeling of changes of structure of the object corresponding with this task. DAN automata are compared with each element of structure, and between elements of structure automata links are compared to these relations. As a result, the automata network is compared with initial structure. If the structure is dynamic, its structure includes such elements which are capable to carry out transformation of this structure, namely, introduction in structure of new elements, including the new relations, removal from structure of elements, change structure of elements. The dynamic automata network, corresponding to such structure is the distributed computer, and the solution of a task on such computer is consolidated to change of structure of this computer. The solution of a task comes to the end when in structure of DAN doesn't remain elements changing its structure. Such DAN also grows out of the solution of a task.

It is shown that during tests and operation of industrial samples ES-2704 was experimentally proved a superiority of dynamic automatic networks over traditional architecture of computers, including productivity increase by 3 orders at the identical volume of the equipment and ultrahigh reliability.

The computing module with dynamic architecture on the basis of inexpensive commercial Altera FPGA, allowing to create the supercomputers surpassing the best world samples in any parameters by tens times is considered.

The architecture of dynamic electronic structure DES which can be realized in the form of a chip by means of any existing technologies including what are available in Russia (90 or 130 nanometers) is considered. The chip of DES including in the structure random access memory and non-volatile memory will allow creating in 2015 computers and supercomputers, including exaflops productivity, is exclusive on domestic element base with usage of only the domestic software. These computers never will demand repairing and will keep working capacity even in the conditions of strong radioactive radiations.