

УДК 681.3.001

СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕД

Анализ тенденции непрерывного увеличения производительности средств переработки информации показал [1-2], что повышение производительности неизбежно связано с ростом как общего числа запоминающих, так и общего числа логических элементов. В связи с этим была обоснована необходимость коренного пересмотра основ вычислительной техники и использования новых принципов, которые позволили бы в наиболее полной мере облегчить создание высокопроизводительных, надежных средств вычислений для решения широкого круга задач [1-2].

В качестве таких принципов были предложены:

- параллельность выполнения большого числа операций, которая дает возможность наращивать производительность путем простого увеличения числа элементов и позволяет, когда это необходимо, избежать применения сложных и высококачественных элементов;

- конструктивная однородность - однотипность элементов и связей между ними сводит технологию изготовления автоматов к мультипликативному воспроизведению одного и того же элемента вместе с его связями;

- программная изменимость структуры, состоящая в том, что изменение состояний элементов осуществляется программным путем, что обеспечивает высокую надежность, живучесть и универсальность.

Последний дает возможность, оставаясь в рамках конструктивной однородности, создавать произвольно соединенные функциональные структуры, наилучшим образом соответствующие решаемой задаче, чем достигается высокая эффективность при решении разнообразных классов задач.

Эти принципы позволяют достигать высокой производительности уже на существующей технологической базе путем построения однородных вычислительных систем с программно изменяемой структурой.

В наиболее последовательной форме эти принципы привели Э.В. Евремова в 1962 г. к идее создания вычислительных сред [I-I2] - совокупности простейших одинаковых автоматов, одинаковым образом соединенных между собой, программно настраиваемых на выполнение некоторой функции из автомато полного набора. Кроме того, каждый автомат настраивается на выполнение соединительной функции из полного набора соединительных функций, что обеспечивает за счет программной настройки реализации в среде любого автомата.

Вычислительная среда в отличие от однородных сетей с близким воздействием [I-II, У-40] обладает принципиально новым свойством - возможностью программного изменения структуры. Благодаря этому в вычислительной среде могут моделироваться автоматы Неймана-Чёрча и итеративные сети (но не наоборот) так, что элементами последних и их соединениям сопоставляются элементы среды в разных состояниях настройки. Это позволяет рассматривать вычислительную среду как обобщающую модель однородных абстрактных автоматов.

В практическом плане среда позволяет повысить производительность путем увеличения её размеров без изменения математического обеспечения, а также увеличения надежности и живучести за счет специального резервирования и перестройки. При этом надежность обеспечивается еще и простотой элементов среды.

В Институте математики под руководством Э.В. Евремова в 1962-1965 годах были разработаны теоретические основы и намечены пути технической реализации вычислительных сред [I-I, I-2, II-12, II-13, II-14].

Существенные результаты по созданию и исследованию вычислительных сред были получены в 1965 г. в Институте проблем управления (Москва), в лаборатории, руководимой И.В. Прангивили, которая в настоящее время является ведущим научным коллективом по этой проблеме. Первые работы этого коллектива были направлены на повышение эффективности и удовлетворение требований интегральной технологии производства полупроводниковых микрои-

матерных схем [II-4I, УП-19, IY-I, УП-18]. Разработаны основные принципы реализации однородных структур, предложен ряд конкретных вариантов [I-23, I-24, II-10, II-18, II-19, II-20, II-21], показывающих целесообразность их использования для реализации вычислительных устройств.

Вышедшие в 1966 и 1967 годах монографии [I-I, I-6], обобщающие первые результаты в ИМ СО АН СССР и ИПУ, привлекли внимание к этой проблеме, над которой стали работать многие организации: Институт проблем и передачи информации (Москва), Таганрогский радиотехнический институт, Институт механики и математики (Свердловск), Институт кибернетики (Киев), Московский инженерно-физический институт, Украинский физико-технический Институт (Харьков), Московский инженерно-экономический институт и др. Развитие исследований стимулировалось большой научно-организационной работой, проводимой ведущими организациями, работающими над проблемой. В 1966 году в г. Новосибирске был проведен симпозиум [I-15] по вычислительным системам и средам, по инициативе которого был создан Совет по вычислительным системам при Совете по кибернетике, имеющем в своем составе секцию "Вычислительные среды" (председатель секции И.В. Прангивили), координирующую работу по проблеме. Результаты дальнейших работ обсуждались на Всесоюзных конференциях по вычислительным системам и средам, которые состоялись в 1967 году (г. Новосибирск) [I-13, I-14] и в 1969 г. (Москва) [I-12], а также на Межвузовской научной конференции по теории и принципам построения цифровых моделей и цифровых интегрирующих структур (г. Таганрог, 1968 г.) и семинаре "Графы, автоматы, вычислительные среды" (г. Таганрог). Проведенная в 1967 году школа-семинар по программированию в вычислительных средах [I-14] положила начало новому направлению - логическому синтезу в вычислительных средах, которое получило развитие в лабораториях М.А. Гаврилова (ИПУ) и В.Г. Лазарева (ИППИ). Обсуждению задач этого направления были посвящены специальные совещания по логическому синтезу в однородных дискретных средах, проходившие в Мозжинке под Москвой в 1970 и 1971 годах.

За рубежом (в основном в США) одной из первых, опубликованных и доступных для нас работ можно считать краткую

заметку Стюарта [П-80], в которой принципы однородности, близости действия и доступности только с краев структуры, реализующей любую логическую функцию, выведены из аналогии с нервными сетями. Более подробные исследования вычислительных сред с обоснованиями целесообразности их создания и анализом логических возможностей связаны, в основном, с рассмотрением конкретных структур [П-63, Ш-48, Ш-50, Ш-53, Ш-55, Ш-56, Ш-58, Ш-64]. Одной из первых была одномерная неуниверсальная структура Майтра [П-66, П-56, П-57, П-58, П-74]. Затем появились двумерные модификации этой структуры: каскада Шорта [П-75], матрицы с простыми связями (cutpoint cellular arrays) [П-67] и структуры с более сложными связями (cobweb cellular arrays) [П-60].

Особенно четко выдвинулось направление создания специализированных вычислительных сред или так называемых "однородных матриц" (cellular arrays) специального назначения. Были разработаны и исследованы коммутационные среды [УП-31], среды для корректировки кодов [УП-32], ассоциативные ЗУ с расширенными логическими возможностями [УП-30], арифметические матрицы [УП-22, УП-24] и ряд других.

Основные теоретические исследования вычислительных сред в США выполняются в Стэнфордском исследовательском институте (Stanford Research Institute, California) [I-41, П-49, П-50, П-52, П-53, П-55, П-68, П-69, П-72], который остается до сих пор ведущей организацией США по этой проблеме.

Круг задач, связанных с проблемой, непрерывно расширяется: с одной стороны, наблюдается углубление исследований по теории вычислительных сред [П-46, П-47, П-48, П-90, П-91, П-29, П-34, П-36], с другой стороны, замечается начало выхода их в практику [УП-14, УП-15, УП-27, УШ-27]. Можно выделить три направления исследований вычислительных сред:

1) абстрактная теория, 2) методы синтеза устройств в средах и 3) пути технической реализации.

I. Теория вычислительных сред

Основными проблемами современной теории вычислительных сред являются: 1) строгие определения и классификация, 2) исследование

вычислительных способностей, 3) оценка сложности реализации автоматов в среде.

В [I-I, П-13, I-23] для исследования среды используется её автоматная модель. Среда определяется как сложный автомат, состоящий из множества одинаковых элементарных автоматов α (элементов), одинаковым образом соединенных только со своими ближайшими соседями. Множество входов каждого элемента подразделяется на два подмножества: x - подмножество информационных входов, y - подмножество настроечных входов. Каждому состоянию настроечных входов P_i (состоянию реализации элемента [I-I]) соответствует одна автоматная функция F_i ($\mathcal{E}, S$ - множества входных и внутренних состояний элементарного автомата соответственно) из автомато-соединительного базиса F . Функция, выполняемая всей средой в целом, определяется программой настройки, т.е. функцией отображения $F \rightarrow \alpha$.

Такая модель позволила [I-I, П-13] достаточно полно исследовать возможности дискретной вычислительной среды с индивидуальным поведением элементов как "универсального конструктора", позволяющего реализовать любой конечный автомат. Исходя из этого требования, на основе этой модели получены условия полноты автомато-соединительного базиса [П-13] и определена минимальная его мощность ($|F|_{min} = 3$ для двумерной и $|F|_{min} = 2$ для трехмерной вычислительной среды). Поскольку автоматное описание элементов этой модели хорошо сочетается с общепринятыми способами логического описания функционирования реализуемых в вычислительной среде устройств, эта модель используется при разработке методов синтеза автоматов в средах.

Другая автоматная модель, так называемый "сотовый автомат" [П-91], является расширенной моделью клеточного (ненастраиваемого, $|F| = 1$) автомата, включающей множество преобразований конфигураций в себя в клеточном массиве (по существу, множество возможных функций перехода "сотового автомата"). В этой модели введены понятия отношения соседства элементарных автоматов, расчленения изоморфизма сотовых автоматов.

Некоторая модификация этой модели, названная "параллельно-действующим итеративным автоматом" и учитывающая возможность влияния на работу каждого элементарного автомата извне, рассматривается в [П-46, П-47]. Здесь дополнительно к массиву оди-

наковых элементарных автоматов вводится центральное устройство управления, сигналы от которого воспринимаются каждым элементом в каждый дискретный момент времени.

Автоматные модели дают возможность классифицировать вычислительные среды по их функциональным и вычислительным возможностям и наглядно показывают, какое место занимают в общей системе различные автоматы с однородной структурой. Так, итеративные комбинационные сети [У-17, У-24, У-28, У-34] можно рассматривать как вычислительную среду без настройки при $(|F| = 1)$, с одним состоянием $(|S| = 1)$, конечный автомат Неймана-Чёрча [У-40] — как среду с $|F| = 1$, $|S| = 29$, обычное ЗУ — как вырожденный случай среды с $|F| = 2$, $S = \emptyset$, $\epsilon = \emptyset$.

Структурные свойства сред наиболее полно отражены в теоретико-множественной модели [П-42, I-32], в которой вычислительная среда рассматривается как дискретное топологическое пространство. Эта модель позволила получить наиболее полную структурную классификацию вычислительных сред, включающую все типы дискретных и континуальных сред любой размерности. Каждый конкретный вариант задается покрытием сети в топологическом пространстве и аксиомами (из определенного набора аксиом), которыми удовлетворяют подмножества этого покрытия.

Для решения широкого класса задач по вложимости сред [I-25, П-23], возможности обеспечения надежности путем перестройки [I-25, IV-7, П-8, П-93] были предложены теоретико-графовая [П-83, I-25], теоретико-групповая [П-2, П-92] и групп-графовая [П-87] модели. Первая ориентирована на машинную обработку алгоритмов вложения и перестройки в вычислительной среде [I-25, IV-8], а последние две — на исследование структурных свойств, классификацию структур и строгое определение однородности соединений.

Знание вычислительной способности сред является одной из важнейших проблем. В [I-I, I-17] показано, что в универсальной вычислительной среде путем настройки может быть реализован любой конечный автомат, и, следовательно, в ней может быть смоделировано любое цифровое устройство, любой клеточный автомат, и если не накладывать ограничения на размеры среды, то и машина Тьюринга. Таким образом, все результаты, полученные путем исследования способности к самовоспроизведению [У-16, У-37,

У-40, У-2] и построения конфигураций [У-19, У-37, У-43, У-1] в клеточном автомате, а также возможности вычисления любой рекурсивной функции машиной Тьюринга справедливы для вычислительных сред. Однако при таком подходе, когда среда рассматривается только как "универсальный конструктор", не учитываются ее другие важнейшие свойства: 1) возможность одновременной обработки множества сигналов в множестве одинаковых элементов; 2) возможность перестройки структуры в процессе вычислений.

Исследование первого свойства привело к созданию модели конечного автомата в виде итеративной однонаправленной сети из комбинационных элементов [У-17, У-24, У-28, У-34, У-35, У-36] и выявило эквивалентность между преобразованиями временных последовательностей в автоматах с памятью и пространственных последовательностей в итеративных сетях.

Дальнейшее исследование эквивалентных пространственно-временных преобразований [I-II, У-34] показало, что путем создания однородных сетей из автоматов можно получить любую эконо-мию времени за счет избыточности в оборудовании при вычислении конечно-автоматных функций (регулярных выражений). Исследование возможностей преобразований некоторых классов последовательностей нерегулярного вида [I-35, У-20, У-21] в реальном времени сеть из одинаковых автоматов выполнено путем конструктивного построения таких сетей, при этом получены зависимости сложности элементарных автоматов от классов преобразуемых последовательностей [I-35].

Ряд существенных результатов о вычислительных способностях сред получено в [П-90] на основе предложенной теми же авторами модели "сотового автомата" [П-91]. В [П-90] частично решена задача, аналогичная проблеме Мура о "райских садах" [У-37, У-39, У-1, У-II]: существуют ли конечные образы для данного сотового автомата, которые не могут быть порождены из данного начального образа. Получен утвердительный ответ для одномерного двоичного сотового автомата с окрестностью не менее четырех и отрицательный ответ для такого же автомата с окрестностью, равной 2.

Важные результаты содержатся в [П-46, П-47], где исследовались вычислительные способности "параллельно действующего итеративного автомата". Показано, что одномерные автоматы такого типа способны вычислять любые рекурсивно-вычислимые функ-

ции, если программы центрального управления содержат бесконечные последовательности команд и имеют циклические повторения. Наличие в наборе команд условного перехода упрощает необходимый набор команд.

Неразработанным остается вопрос о вычислительных способностях сред с учетом возможности организации обратной связи между информационными выходами и входами настроечного устройства. Возможно, здесь откроются новые качества сред такие, как способность самоконтроля, самокорректировки, самопрограммирования.

К проблеме определения вычислительной способности тесно примыкает задача оценки сложности реализации автоматов в средах. В теоретическом плане можно говорить только об асимптотических оценках, которые получены для ряда вариантов сред. В этом отношении подробно рассмотрены одномерные среды (однодорожечные [П-27, П-56, П-66] и двудорожечные каскады [П-75, П-77, П-78]). Наилучшая оценка для одномерных сред получена в [П-36], где показано, что произвольная логическая функция от m переменных может быть реализована в одномерной среде с числом элементов не более чем $c \cdot \frac{2^m}{\log m}$. Для двумерных сред наилучшей оценкой является $c \cdot 2^m$ [I-1, UI-3, UI-4], где c — константа, зависящая от конструкции и функционального базиса элемента. Предполагается [I-1], что эту оценку существенно улучшить невозможно.

Оценкой сложности реализации логической сети в двумерной среде является cn^2 (n — число вершин графа, отображаемого в среде) [I-33, UI-17, UI-2, UI-26], что согласуется с общим результатом, полученным для n -мерного случая в [П-5]. Для автоматов с памятью [I-28, UI-28, UI-4] оценки сложности их реализации имеют вид

$$c(p+n+m)(2^{p+n}+p).$$

где p , n и m — числа внутренних, входных и выходных переменных.

II. Методы синтеза автоматов в вычислительной среде

Синтез автоматов в среде рассматривается как проблема отыскания способов использования возможностей среды для наиболее

эффективной организации вычислительного процесса. Можно выделить три принципиально различных подхода к этой проблеме.

1. Создание методов перехода от описания функционирования автомата к программе настройки среды, которая в конечном счете отображает каноническую схему работы автомата (функциональный преобразователь — задержка — обратная связь).

2. Создание непосредственного способа отображения в среде алгоритма функционирования автомата.

3. Использование среды как интерпретатора некоторого алгоритмического языка.

Основные работы по синтезу в средах относятся к первому подходу. Что касается второго и третьего подходов, то здесь можно указать только по одной постановочной работе^{*)}. В первой из них предлагается строить среды типа клеточного автомата, в котором можно отображать таблицу переходов в виде определенных конфигураций, а переходы из состояния в состояние — в виде их изменений. Во второй — предложен универсальный алгоритмический язык (язык подстановок), удобный для параллельных вычислений, и указывается на возможность реализации в среде сети из автоматов, интерпретирующей этот язык.

Методы отображения канонической схемы работы автоматов предполагают использование среды в качестве универсального конструктора. Эти методы предназначены для включения их в общую систему автоматического проектирования ЦВМ. При этом считается, что верхние этапы (этап структурного и логического проектирования) не зависят от того, на какой технологической основе будут реализованы проектируемые устройства: в виде неоднородных больших интегральных схем (БИС), однородных БИС с фиксированной структурой или же реализованы путем соответствующей настройки среды. Учет специфики реализации начинается на этапе технического синтеза, когда построенную по логическому описанию логическую сеть приводят к соответствующему логическому базису, затем разбивают на части в соответствии с заданными технологическими ограничениями (число выводов, число активных компонентов) и, наконец, отображают на плате с печатным монтажом,

^{*)} Эти работы опубликованы в 1971 году в сборниках "Вычислительные системы", вып. 41 и 46 и в библиографии не включены.

на площади кристалла или на участке вычислительной среды.

Для отображения логических сетей создан целый ряд методов и алгоритмов [У1-7, У1-8, У1-13, У1-17, У1-18, У1-26, У1-37, У1-38, У1-41, У1-46], доведенных до конкретных программ, и решен ряд задач теоретического и прикладного характера, возникших в связи с созданием этих методов. Так, например, предложен аппарат λ -матриц [П-43], позволяющий анализировать сложные графы логических сетей и упрощающий алгоритмы их разбиений и распознавания изоморфизма.

Предложены методы оптимизации для соединительных путей [И-33, У1-13, У1-17, У1-18, У1-37] и их выравнивания [У1-37, У1-38, У1-46].

Очевидно, что чем раньше на этапе проектирования будет учтена специфика среды, тем более удачной должна получиться её реализация, в соответствии с теми критериями, которые закладываются в методы синтеза. Так, например, преобразование булевых уравнений при описании функционирования цифровых устройств производится обычно на основе методов минимизации по числу вхождений переменных, что совершенно не соответствует критериям минимизации по площади среды или кристалла.

В связи с этим возникло несколько методов синтеза, в которых исходными являются булевы выражения [У1-2, У1-3, У1-14, У1-28, У1-57] или автоматные описания [У1-4, У1-25, У1-18, У1-35, У1-36, У1-40, У1-48]. В этих методах исключен этап преобразования логических сетей и построены сквозные алгоритмы перехода от задания автомата к программе настройки среды, в которых учитываются требования оптимизации по площади [У1-4, У1-28, У1-48], диагностируемости [У1-4, У1-14], введения локального резерва [У1-48, У1-57].

III. Вопросы технической реализации вычислительных сред

Большинство предложений по реализации сред ориентируются на полупроводниковую интегральную технологию, а работы последних лет — на МДП-технологию БИС. Это объясняется тем, что эта технология в последние годы получила наибольшее развитие и существует вполне реальная перспектива её использования для реализации сред, имеющих практическое значение.

Среди множества конкретных предложений, использующих эту технологию, можно отметить следующие наиболее полно разработанные варианты:

- вычислительные среды с совмещенными функциями (ИМ СО АН СССР) [Ш-31, Ш-33, Ш-34];
- эквисторные структуры [И-24, Ш-21] (ИПУ);
- однородные структуры для универсальных реализаций ВМ [И-34] (ИПУ);
- матричная однородная среда [Ш-42, Ш-43] (ИППИ);
- однородные вычислительные структуры на пороговых элементах [Ш-11, Ш-26, Ш-27, Ш-37, И-18] (МИЭИ);
- дискретные вычислительные среды [Ш-39, Ш-40] (МИФИ);
- матрицы с простыми и сложными связями Минника [П-67, Ш-60, У1-57];
- многофункциональные элементы Кинга и Джуси [Ш-30].

Наряду с этими вариантами проводятся работы по исследованию возможности реализации ВСР на сверхпроводящих элементах (криотронные среды) [Ш-4, Ш-5, Ш-6, Ш-1, Ш-13, Ш-37, Ш-23, Ш-24, Ш-25, Ш-28, Ш-29, Ш-35, Ш-36], и в последние годы начаты работы по реализации сред на тонких магнитных пленках (ИПУ) и использованию оптоэлектронных и голографических способов (ИПУ).

Возможность реализации вычислительных устройств в средах при наличии отказавших элементов и возможность восстановления работоспособности реализованных устройств при появлении новых отказов показана в работах [И-1, И-6, Ш-59]. Дальнейшие исследования по проблеме надежности среды велись в основном в двух направлениях. В ряде работ [У1-1, У1-5, У1-10, У1-11, У1-12, И-28] решались вопросы анализа надежности реализации логических сетей и вычислительных устройств в среде. Разрабатывались также методы введения избыточности для повышения надежности схем в среде [У1-3, У1-7, У1-9, У1-13, У1-18, И-25, И-28, Ш-60], методы перестройки и расчета надежности среды при применении различных алгоритмов перестройки [И-25, И-28, У1-8].

Задачу контроля и диагностики сред в теоретическом плане можно считать решенной для одномерных и двумерных вариантов. Определены необходимые и достаточные условия контролируемости и диагностируемости среды [У1-19, У1-20, У1-21], и разработаны алгоритмы построения тестов как для общего случая [У1-14, У1-4,

IV-16], так и отдельно для сред комбинационного типа [IV-17, IV-19] и матриц с индивидуальной настройкой [IV-21].

Однако технические вопросы диагностики и контроля, а именно разработка необходимой аппаратуры, оценка времени и сложности обработки результатов, рассматривались только по отношению к отдельным вариантам среды.

Наиболее близким к выходу в практику является направление создания специализированных сред, ориентированных на эффективное решение узких классов задач. Уже сейчас можно выделить несколько типов специализированных вычислительных сред, хорошо теоретически и технически проработанных. Среди них основными являются:

а) однородные цифровые интегрирующие структуры, работы над которыми ведутся под руководством А.В.Каляева [I-3, УI-4, УП-5, УП-6, УП-7, УП-8, УП-9, УП-10, УП-11, УП-16, УП-21] (ТРИ);

б) квазианалоговые среды, разрабатываемые под руководством Г.Е.Пухова [УП-1] (ИМ АН УССР);

в) одномерная среда для реализации некоторых систем автоматики [УП-14];

г) универсальные коммутирующие структуры [УП-3, УП-35, УП-31];

д) однородные арифметические блоки [УП-17, УП-18, УП-22, УП-24, УП-34, УП-28].

Отдельно можно выделить широкий класс сред, который по своим вычислительным возможностям является универсальным, а по способу переработки информации — специализированным. Это параллельные процессоры и ассоциативные памяти. С одной стороны, сюда относятся обычные ассоциативные ЗУ [УШ-3, УШ-4, УШ-5, УШ-12, УШ-45, УШ-33] с бедным набором логических операций, с другой стороны — это универсальные параллельные процессоры [УШ-66, УШ-65, УШ-51, УШ-39, УШ-30, УШ-18, УШ-20], так называемые "памяти с распределенной логикой" ("distributed logic memory" или "logic-in-memory"), обеспечивающие высокую параллельность и возможность реализации любых алгоритмов [УШ-17, УШ-20, УШ-23, УШ-24, УШ-29, УШ-38, УШ-42, УШ-64] и систем с конвейерным принципом обработки информации [УШ-7, УШ-8, УШ-10]. Для систем этого типа созданы основы математического обеспечения [УШ-28, УШ-31, УШ-44, УШ-47, УШ-68].

Анализ развития работ над проблемой создания вычислительных сред позволяет сделать вывод, что рост интереса к проблеме, наблюдавшийся в течение прошлого десятилетия, будет продолжаться. Более того, этот интерес должен усилиться в связи с настоятельной необходимостью решения задачи совершенствования вычислительных средств путем аппаратной реализации сложных систем математического обеспечения. К работе над проблемой привлекается все более широкий круг специалистов, нуждающихся в изучении итогов уже проделанной работы. В связи с этим ИМ СО АН СССР предпринято издание настоящей аннотированной библиографии.

Библиография охватывает период с момента появления первых работ по итеративным комбинационным сетям (1958 год) по 1970 год включительно. По содержанию материал разделен на 8 разделов.

I. Общий раздел (книги, диссертации, обзоры, сообщения о конференциях).

II. Теория вычислительных сред (классификация, представления сред, моделирование их, оценки сложности, среды с коллективным поведением, континуальные среды).

III. Реализация вычислительных сред (элементы среды, принципы настройки, устройства настройки, ввода и вывода).

IV. Надежность, контроль и диагностика сред (анализ надежности, резервирование, перестройка, методы контроля и диагностики, методы построения тестов).

V. Итеративные сети, клеточные автоматы (итеративные комбинационные сети, итеративные сети из автоматов, клеточные автоматы, самоорганизация и самовоспроизведение).

VI. Синтез автоматов (методы реализации логических сетей, функций алгебры логики и автоматов) в среде.

VII. Специализированные среды (однородные цифровые интеграторы, квазианалоговые среды, однородные арифметические устройства и другие среды специального назначения).

VIII. Параллельные однородные процессоры и ассоциативные ЗУ (структурная организация однородных процессоров и ассоциативных ЗУ, алгоритмы и языки программирования для параллельных процессоров).

В библиографию не включены работы по технологии сред и микроэлектронике.

Внутри каждого раздела все работы расположены в алфавитном порядке, сначала советские, затем зарубежные.

В библиографию вошли книги, статьи из периодической печати, доклады на конференциях и симпозиумах, ведомственные издания отдельных организаций, а также диссертации по перечисленным вопросам.

Патенты на изобретения, а также внутренние отчеты организаций в библиографию не входят.

Как всегда, при разработке новых научных и технологических проблем возникают определенные терминологические трудности. Составители библиографии не ставили перед собой задачу упорядочить терминологию, связанную с проблемой. Наоборот, при написании аннотаций старались сохранить терминологию авторов, так как она в какой-то мере отражает дух и стиль работы. Однако это не всегда удавалось сделать из-за языковых трудностей (при переводах) или из-за употребления разными авторами одних и тех же терминов в разных смыслах. Поэтому в многочисленных сомнительных случаях при составлении аннотаций приходилось использовать собственные толкования понятий. При этом старались по возможности придерживаться следующей терминологии:

1. **Вычислительные среды** - термин, введенный в ИМ СО АН СССР, достаточно полно определенный в работах [I-I, I-22, II-13, II-42] и получивший наибольшее распространение. Вычислительная среда понимается как множество одинаковых и одинаковым образом соединенных между собой элементарных автоматов, настраиваемых сигналами извне на выполнение одной из универсального набора автоматных-соединительных функций. Программным путем вычислительную среду можно настроить на выполнение функции любого конечного автомата. Строгое определение вычислительной среды дано в [I-I, II-13, II-42].

2. **Однородные структуры** - термин был введен в ИПУ [I-6, I-23, I-31]. По мнению составителей библиографии, принципиальной разницы между терминами "вычислительная среда" и "однородная структура" нет.

3. Термины: **однородные дискретные среды, однородные дискретные структуры, однородные настраиваемые структуры, ячеистые**

структуры обычно относятся к конкретным видам структуры и определяются авторами работ.

4. **Итеративные сети** (iterative networks) понятие, введенное в [I-II, У-24] и определяемое как одномерная сеть из одинаковых ячеек. Каждая ячейка выполняет комбинационную функцию от внешних и внутренних (поступающих с соседних элементов) переменных. Итеративные сети могут выполнять преобразования последовательностей сигналов, описываемых регулярными выражениями, поэтому рассматриваются иногда [I-IO] как пространственные (в отличие от последовательно-временных) модели конечных автоматов. Итеративные сети, ячейки которых обладают памятью, называются итеративными сетями с памятью.

5. **Клеточные автоматы** (cellular automata) понимаются в смысле фон-Неймана, Мура, Кодда [У-40, У-37, I-9]. Клеточный автомат - это множество одинаковых элементарных конечных автоматов - ячеек (cells), размещенных в бесконечном двумерном пространстве. Каждая ячейка соединена только с непосредственными четырьмя соседями, и среди её состояний обязательно имеется "состояние покоя", в котором всегда находятся все ячейки автомата, кроме конечного числа.

6. **Сотовый автомат** (tessellation automata) [II-48] - это клеточный автомат произвольной размерности и любым отношением соседства между ячейками.

7. Термины: **итеративные структуры, итеративные среды, клеточные структуры** в аннотациях заменены терминами, соответствующими их значениям.

8. В зарубежной литературе понятие вычислительной среды наиболее полно соответствует термину programmable array, который часто переводят как программируемые структуры или настраиваемые матрицы. Более часто употребляются термины cellular array, cellular logic, причем последний обычно относится к вычислительным средам комбинационного типа.

В большинстве своем аннотации к работам составлены сотрудниками лаборатории вычислительных сред отделения вычислительной техники Института математики СО АН СССР Бандман О.Л., Гурко В.Ф., Койфманом А.А., Макаровым Л.И., Назаровым Н.И., Пискуновым С.В., Сергеевым С.Н. Часть аннотаций была представлена авторами статей. Аннотации на зарубежные работы, которые получить не удалось (в основном зарубежные ведомственные издания),

сделаны по рефератам, опубликованным в периодической литературе. Небольшая часть зарубежных работ дается без аннотации.

Библиографическое описание работ в основном соответствует ГОСТу 7.1-69; "Описание произведений печати для библиографических и информационных изданий". Только для некоторых зарубежных работ оно воспроизведено по ссылкам в журналах. К библиографии приложены списки сокращений терминов и названий журналов, а также авторский указатель.

Библиографическую редакцию рукописи выполнила В.М.Пестунова. Большую работу по подготовке рукописи к печати провела Т.М.Голубничая.