

О МЕТОДИКЕ РАЗРАБОТКИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Э.В. Евреиннов, Д.Г. Косарев

В в е д е н и е

В работе [1] была показана возможность построения вычислительных систем высокой производительности (ВС) и сформулированы основные проблемы, которые надо решить для выполнения этой задачи. Дальнейшее развитие это направление получило в работе [2], где в качестве основы для построения ВС предлагается вычислительная среда (в.среда). Последняя представляет собой n -мерную решетку, в каждом узле которой находится универсальный элемент. Универсальный элемент может выполнять логические функции (конъюнкцию, дизъюнкцию и отрицание), функции задержки сигнала и соединения с ближайшими соседними элементами, а также настройки на любую из указанных выше функций. Были начаты работы и по другим проблемам [3-22].

В ходе этих работ выявилась настоятельная потребность уделить особое внимание методике разработки вычислительных систем. Разработка ВС включает в себя большое число разнородных проблем. Поэтому естественно попытаться найти общие основы такой методике. В возможности создания этих основ авторы убедились, анализируя логические, физические, технологические и производственные проблемы, возникающие при разработке ЭВМ и ВС. Эту возможность подтверждает и успешное применение многих

методов разработки ЭВМ для такой, казалось бы весьма далекой проблемы, как анализ древних письменностей [23]. Оказалось, что если формулировать эти задачи в общем виде, то при их решении возникают в крупном плане одни и те же проблемы.

В данной работе ставятся проблемы, которые необходимо решить для создания методики разработки ВС, и рассматриваются некоторые общие принципы такой методики.

§ I. Проблемы, возникающие при разработке ВС

Основные проблемы, возникающие при разработке ВС [I], связаны: 1) с методами решения задач на ВС; 2) с разработкой в.среды; 3) с разработкой методов общения ВС с внешними источниками информации. В соответствии с этим их можно разделить на три категории.

К первой категории относятся:

1. Разработка методов, сводящих к минимуму затраты труда на постановку и формулировку задачи, ввод данных и анализ результатов. Определяющую роль в решении этой проблемы должны сыграть методы самообучения.

2. Разработка алгоритмов решения задач, наилучшим образом реализующих возможности ВС. Основным свойством этих алгоритмов должна быть способность к параллельному выполнению большого числа операций [I, IO].

3. Разработка методов программирования для ВС, обеспечивающих выбор 1) наилучшего алгоритма, 2) оптимальной схемы реализации алгоритма на в.среде.

4. Разработка оптимальных методов настройки в.среды для создания структуры ВС, реализующей заданную схему алгоритма. Эта задача аналогична созданию специализированной ЭВМ, предназначенной для данного алгоритма. В отличие от обычной такая специализированная ЭВМ не строится заранее, а создается из в.среды путем настройки универсальных элементов.

Ко второй категории относятся:

1. Разработка логических принципов построения в.среды, сводящаяся к выбору:

- а) оптимальной схемы элемента в.среды;
- б) структуры в.среды;
- в) системы настройки элементов.

2. Разработка физических принципов построения в.среды, т.е.

- а) исследование широкого круга физических, химических и

биологических явлений в плане их пригодности для построения в. среды;

б) выбор физических явлений для реализации в.среды.

3. Разработка технологических принципов создания

а) элементов в.среды и б) в.среды в целом.

Решение двух последних проблем тесно связано с разработкой физико-технологической базы, включающей в себя:

а) системы автоматизации физических и технологических экспериментов; б) полностью автоматизированную систему для построения вычислительной среды.

К третьей категории относится разработка методов:

1. ввода и вывода зрительных образов;

2. ввода и вывода звуковых образов;

3. обмена информацией по каналам связи.

Благодаря применению в.среды в качестве основы построения ВС взаимосвязь между перечисленными тремя категориями проблем ослабляется, при этом в значительной степени.

Действительно, свойства в.среды позволяют легко применяться к условиям любой задачи и дают возможность разрабатывать в.среду заранее без детального анализа задач.

В свою очередь разработка методов решения задач не требует детального знания логических, физических и технологических свойств в.среды и может основываться на свойствах универсального элемента в.среды и общем числе элементов.

Проблемы третьей категории по аналогичным соображениям могут решаться в значительной мере независимо от первых двух, и наоборот. Первая и третья категории проблем допускают дальнейшее деление на независимые или малозависимые части.

Проблемы, входящие во вторую категорию, тесно переплетаются и не могут решаться независимо друг от друга. Все они комплексные и состоят из ряда сложных задач, решение которых в свою очередь взаимосвязано. Это обуславливает необходимость полной автоматизации всех этапов разработки и совместного решения всего комплекса задач в виде единого процесса. Отсюда и возникает потребность в создании единой методики разработки ВС.

Такая методика характерна не только для ВС. Аналогичные проблемы возникают и при разработке некоторых проектов (самолетов, морских судов, систем связи и т.п.), при исследовании сложных объектов (физики микромира, биологических систем, язык-

ковых систем и т.п.). Такие объекты исследования получили в литературе название сложных систем (СС) [24, 25].

Трудно заранее предвидеть особенности разработки той или иной СС, поэтому важно найти общие свойства указанных систем и попытаться на их основе построить общую методiku.

§ 2. Общие свойства сложных систем

Дать строгое определение СС в настоящее время трудно, поэтому мы ограничимся перечислением основных черт. К ним относятся:

1. Большое число достаточно сложных подсистем.
2. Разнообразие подсистем.
3. Иерархичность строения.
4. Сильная взаимосвязь между подсистемами на различных иерархических уровнях, наличие множества петель обратной связи. Связи, как правило, носят нелинейный характер и не допускают эффективного расчленения задачи на независимые или слабо зависящие части, вследствие чего такую систему приходится рассматривать как единое целое. Изменение в решении одной подсистемы, как правило, влечет за собой изменения во всех остальных.

5. Трудность математической формулировки задачи из-за большого числа и разнообразия параметров системы, обилия данных и, прежде всего, из-за обычно неопределенной степени достоверности исходной информации. Известно только, что вся совокупность имеющихся данных в основном правильно отражает свойства системы.

6. Большой объем операций, требуемый для решения задачи, в принципе не выполнимый без ЭВМ.

7. Многочисленность связей СС с внешним миром.

В зависимости от возможности пополнения информацией СС можно подразделить на два вида: 1) с ограниченным множеством данных и 2) с неограниченным множеством данных.

К первому виду относится, например, исследование древних письменностей. В этом случае исследователь располагает вполне определенным материалом: древними манускриптами, отдельными историческими фактами, материалами раскопок и т.п. Здесь нельзя рассчитывать, что можно собрать сколь угодно полную информацию об интересующем вопросе.

Ко второму виду относятся исследования физических законов, биологических систем, вычислительных систем и т.п., когда постановкой новых экспериментов можно безгранично увеличивать информацию о СС.

В каждом конкретном исследовании приходится ограничиваться каким-либо конечным количеством данных. В связи с этим возникает вопрос, как установить, содержат ли эти данные достаточное количество информации для решения поставленной задачи. Для систем с ограниченным количеством информации решение можно получить далеко не всегда. Для систем с неограниченным количеством информации решение в принципе можно получить всегда, но встает вопрос о затратах материальных средств и времени на решение.

По условиям задачи определить достаточность количества информации весьма сложно даже для сравнительно простых задач, а тем более для СС. Поэтому в ходе исследования СС следует выработать запросы о необходимой дополнительной информации, то есть осуществлять обратную связь между процессом исследования СС и процессом создания ее модели.

Для различных систем (с ограниченным и неограниченным количеством информации) существуют свои наилучшие стратегии. Анализ всегда начинается с наиболее доступных и удобных для работы данных. Когда они исчерпаны, а решения получить не удалось, то в системе с ограниченным количеством информации приходится брать менее удобную информацию. В системе же с неограниченным количеством информации можно поставить эксперимент, который даст новую информацию в удобной форме. При этом необходимо сопоставлять затраты на получение дополнительной информации с достигаемым эффектом.

§ 3. Общие черты методики решения сложных систем

Описанные выше свойства СС определяют в известной мере и методику их решения, которая предполагает:

1) П р и м е н е н и е Э В М, что обусловлено большим количеством операций и невозможностью эффективного разделения их на независимые части.

В настоящее время ЭВМ применяется для автоматизации отдельных этапов разработки вычислительной техники, в частности:

1. Для выбора оптимального варианта блок-схемы системы команд и отдельных устройств машины путем моделирования на ЭВМ [26-28].

2. Для машинного изготовления документации на стадии эскизного и технического проектирования [29-35].

3. Для управления процессом производства отдельных схем и изготовления технологической документации [28-30, 36, 37].

4. Для расчета физических процессов в приборах, используемых в стандартных элементах [38-40].

5. Для расчета типовых схем ЭВМ (триггеры, логические элементы, трансформаторы и т.п.) [40-44].

6. Для поиска неисправностей в документации, схемах машин и программах [34, 37, 45].

Некоторые работы в этом направлении проведены под руководством авторов [7-9, 11-15, 18-22]. На основании всех указанных работ выяснилось, что применение машин в 10-100 раз эффективнее ручного труда.

2) Применение методов моделирования. Большое число взаимных связей между подсистемами на различных уровнях не позволяет решать задачу аналитическими методами. В ходе решения требуется вносить поправки не только в исходные данные, но и в сам процесс вычисления.

Мы располагаем фактически не схемой СС, а ее частными проявлениями. Требуется разработать такую схему, которая давала бы те же частные проявления. Поэтому единственный метод здесь такой: (1) строим предполагаемую модель СС; (2) испытываем ее на удовлетворение последовательно $1, 2, \dots, n$ проявлениям, затем на одновременное удовлетворение комбинациям проявлений и, наконец, всем проявлениям.

Моделирование применяется как для анализа, так и для синтеза. Метод моделирования для целей анализа применяется в настоящее время во многих областях, например, в энергетике [46, 47], для решения следующих задач: (1) при заданной модели установить связь между входными и выходными данными; (2) при заданной модели и заданных входных сигналах установить изменение в выходных сигналах при изменении каких-либо параметров модели. Вторая задача применяется как для оценки устойчивости, надежности системы, так и для синтеза более совершенных моделей.

Известные применения моделей для синтеза собственно сводятся к задаче анализа, то есть к выработке подсобных материалов для ручного синтеза.

При исследовании СС нельзя ограничиться только машинным

анализом и ручным синтезом из-за огромного числа вариантов. Поэтому модель должна изменяться автоматически, кроме некоторого числа наиболее сложных случаев. В настоящее время математические методы синтеза СС неизвестны. Даже синтез сравнительно простых систем сводится практически к перебору. По-видимому, в ближайшее время нельзя надеяться на успешную разработку аналитических методов синтеза СС, поэтому основой методики исследования СС остается перебор, и основные усилия должны быть сосредоточены на уменьшении числа вариантов, то есть на разработку методов направленного перебора. Следует отметить, что при расчете каждого из вариантов может оказаться возможным применение известных аналитических методов. Тогда очень важно сократить до минимума время счета по этим методам, для чего необходимо разработать систему алгоритмов и программ, дающих оптимальное время решения. Таким образом, задача заключается в отыскании наилучшей комбинации направленного перебора с аналитическими расчетами по известным методам.

В общем виде задача решения СС сводится к построению модели на основании совокупности исходных данных.

Исходные данные, по-видимому, всегда можно отнести к одному из трех множеств:

множеству входных данных X ,

множеству выходных данных Y и

множеству налагаемых на модель ограничений Z .

Тогда СС сводится к построению модели, отображающей множество X на множество Y при заданных ограничениях Z .

Например: при разработке вычислительных машин под множеством X может пониматься совокупность алгоритмов, для выполнения которых предназначается ЭВМ; под множеством Y - совокупность имеющихся физических реализаций (наборов стандартных элементов, узлов и блоков); под множеством Z - требования к конструкции (например, к производительности, габаритам, потребляемой мощности, надежности и т.д.). К множеству Z можно отнести и имеющиеся варианты решения аналогичных задач.

При исследовании неизвестной письменности (например, иероглифических рукописей майя) множество X включает в себя вскрытые закономерности рассматриваемых текстов, множество Y - закономерности языка и всевозможные историко-литературные данные (описание быта, искусства и т.п.), которые могут быть темой рукописей; множество Z - некоторые сведения о системе исследуемой письменности, полученные по свидетельствам очевидцев.

При исследовании мозга к множеству X можно отнести внешние воздействия на мозг, к множеству Y — соответствующие реакции, к множеству Z — сведения о структуре отдельных частей мозга.

Отнесение первоначальной информации к одному из указанных множеств не всегда однозначно и устанавливается по воле исследователя и поэтому процесс решения должен предусматривать возможность корректировки этого отнесения.

3. П р и м е н е н и е с х е м ы ч е л о в е к - м а - ш и н а. Для решения сложных систем требуется выполнение разнообразных массовых операций и некоторого числа сложных задач по управлению ходом решения, которые в настоящее время не под силу ЭВМ. Тем не менее можно ожидать, что успехи в области самообучения машин позволят в будущем решать и эти задачи машинным способом.

В настоящее время неперенным условием исследования СС является тесное взаимодействие человека и машины. Под схемой человек-машина следует понимать совместную работу коллектива людей и совокупности машин, так как для исследования СС необходимо использовать знания из различных областей науки и техники, что не под силу одному человеку, даже вооруженному машиной.

В результате применения схемы человек-машина возникают такие вопросы, как: (1) наилучшее разделение функций между человеком и машиной; (2) разработка методов обучения человека и машины (язык, технические средства обучения); (3) организация научного коллектива и разделение функций внутри него; (4) планирование процесса исследования СС; (5) выработка критериев для оценки хода исследования на различных этапах; — которые ждут своего решения.

§ 4. Общая схема исследования сложных систем

Общую схему исследования СС можно разделить на следующие этапы:

1. Описание всей совокупности данных на едином языке.

2. Выявление типовых элементов среди массы данных.

Беспорядочное множество данных нужно привести в некоторую систему (или ряд систем), т.е. упорядочить по различным признакам (или их совокупностям), конкретным для каждой СС, и одновременно установить логические связи между элементами.

В результате этой систематизации можно выявить часто встречающиеся (типовые) элементы, которые в зависимости от различной степени их сложности можно отнести к определенному иерархическому уровню.

Для выявления типовых элементов можно считать, что первоначально имеется два элемента (0 и 1). Тогда вся совокупность данных будет единообразно описываться некоторым большим, но конечным числом двоичных элементов. Предполагается, что эти элементы не имеют внутренних связей. Наличие только внешних связей делает описание громоздким. Задача заключается в выявлении элементов, одинаковым образом связанных друг с другом. Включение их в алфавит позволяет описать систему лаконичнее. Расширение алфавита приводит к уменьшению внешних связей между элементами, переводя их во внутренние. Однако такое расширение эффективно до определенного предела.

По-видимому, наилучшее описание системы достигается, когда алфавит отражает истинную структуру СС, следовательно, алфавит должен уточняться одновременно с моделью.

Можно высказать предположение о критерии оценки алфавита. Из двух алфавитов для описания СС лучше тот, статистические свойства элементов которого выявят больше характерных черт системы.

3. Отнесение каждого типового элемента алфавита к одному из множеств X , Y или Z .

4. Выявление и систематизация статистических характеристик для каждого элемента, каждой связи между элементами и совокупностей этих связей.

5. Упорядочивание записи элементов. Перечень элементов и их свойств можно выразить в следующем виде:

$$\begin{array}{c|c}
 x_{i_0}^0 (\alpha_1^0, \dots, \alpha_{l_0}^0) & y_{j_0}^0 (\alpha_1^0, \dots, \alpha_{l_0}^0) \\
 \dots & \dots \\
 x_{i_1}^1 (\alpha_1^1, \dots, \alpha_{l_1}^1) & y_{j_1}^1 (\alpha_1^1, \dots, \alpha_{l_1}^1) \\
 \dots & \dots \\
 x_{i_s}^s (\alpha_1^s, \dots, \alpha_{l_s}^s) & y_{j_s}^s (\alpha_1^s, \dots, \alpha_{l_s}^s)
 \end{array} \quad , \quad (*)$$

где $x_{i_\kappa}^\kappa$ и $y_{j_\kappa}^\kappa$ - подмножества элементов множеств X и Y , соответственно, принадлежащих иерархическому уровню κ ;

α_m^κ - параметры элемента (в том числе и такие, которые характеризуют связи этого элемента).

Для каждого иерархического уровня имеется свой набор α_m^k , каждый элемент выражается через элементы нижележащих иерархических уровней:

$$x_{i_k}^k = f_{i_k}^k(x_{i_0}^0, \dots, x_{i_{k-1}}^{k-1}) ,$$

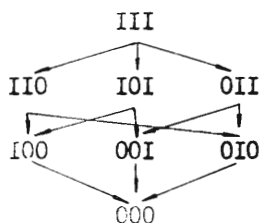
$$y_{j_k}^k = f_{j_k}^k(y_{j_0}^0, \dots, y_{j_{k-1}}^{k-1}) \quad (k = 1, 2, \dots, s) .$$

Важно подчеркнуть, что свойства как множества входных данных X , так и множества выходных данных Y описываются одинаковыми параметрами.

6. Выбор базиса для построения модели. Решение непосредственно СС представляет большие трудности, так как нет количественного критерия для сравнения вариантов решения и невозможен перебор всех вариантов. Поэтому напрашивается другой путь, а именно: создание сравнительно простой модели, отражающей только некоторые наиболее существенные свойства СС, и последующее совершенствование её путем добавления все новых свойств.

Созданию первоначальной модели должна предшествовать работа по выявлению наиболее важных элементов и связей, составляющих базис. С этой целью необходимо упорядочить элементы и связи по параметрам, характеризующим их важность, т.е. рассмотреть все элементы с точки зрения частоты их встречаемости, сочетаемости с другими элементами и характера их связи с различными иерархическими уровнями.

Не будучи в состоянии на этой стадии анализа установить соответствия между различными параметрами, мы вынуждены считать их несоизмеримыми, и поэтому ограничимся упорядочиванием функций по свойству монотонности. Пусть, например, элементы описываются булевой функцией от трех параметров, тогда упорядочивание можно пояснить следующей схемой:



Значения функций, не попадающих в один монотонный ряд, считаются несоизмеримыми. Нетрудно видеть, что все элементы расположены ярусами, причем элементу любого яруса, кроме верхнего, соответствуют элементы в каждом из вышележащих ярусов, предшествующие ему в ряду монотонных функций.

Оценим отличие данного распределения элементов от равномерного по каждому из параметров, но для определенного числа ярусов, начиная с верхнего. Нетрудно видеть, что при одинаковой важности каждого из параметров (и их несоизмеримости) эта оценка позволит выбрать наиболее существенные элементы. На основании полученной оценки можно выбрать элементы для построения первоначальной модели.

Опыт показывает, что во всех реальных случаях наблюдается резко неравномерное распределение элементов по частоте встречаемости. Увеличение числа знаков вначале дает быстрый рост суммарной частоты встречаемости, но дальнейший ее рост достигается все более дорогой ценой. Поэтому можно ограничиться относительно небольшим числом типовых элементов, с помощью которых можно описать подавляющую часть информации. Это свойство позволяет выбрать базис из сравнительно небольшого числа элементов, обозримых для человека и отражающих наиболее важные черты СС.

7. Построение модели. После выбора базиса и разработки алфавита можно приступить к созданию первоначальной модели. Для этого нужно отождествить типовые элементы множеств X и $U(\text{см}(*))$. Решение должно быть непротиворечивым, но может быть не единственным.

Можно предположить, что построение такой первоначальной модели из сравнительно небольшого числа элементов будет отражать главнейшие черты системы. По-видимому, основная трудность не в создании такой модели, а в ее дальнейшем совершенствовании, так как по мере уточнения модели требуется все возрастающее количество информации и, следовательно, все большие затраты труда.

Заметим, что до сих пор для сравнения элементов системы мы пользовались объективными оценками. Они зависят от имеющейся информации, но не зависят от человека. В дальнейшем нам необходимо сравнивать различные параметры элементов и устанавливать, какой из них важнее. Вполне понятно, что общих критериев здесь быть не может, так как в зависимости от ситуации может происходить переоценка важности свойств. Однако при со-

вершенствовании модели мы вынуждены искать решение с минимумом противоречий, т.е. решать, в каком свойстве противоречие менее опасно. Поэтому приходится вводить критерий веса для различных свойств. Для уменьшения влияния возникающего при этом субъективного фактора можно предложить следующую схему: (1) варьируем веса, (2) рассматриваем устойчивость первоначальной модели и (3) придаем параметрам веса, пропорциональные степени их влияния на устойчивость модели.

8. Совершенствование модели. Совершенствование модели должно осуществляться по схеме, учитывающей иерархичность ее строения. Для уточнения решения СС к первоначальной модели добавляются элементы следующего иерархического уровня и производится проверка на непротиворечивость. Этот критерий тоже должен быть иерархическим, т.е. включать в себя части, проявляющиеся на различных иерархических уровнях по-своему. Такая структура критерия необходима для уменьшения перебора.

Решение СС считается выполненным, если внешние проявления модели тождественны внешним проявлениям СС.

§ 5. Основные задачи разработки методики исследования вычислительных сред

В предыдущих параграфах были указаны общие черты методики и общая схема исследования СС.

Попытаемся теперь указать первоочередные задачи, возникающие при создании методики исследования СС, применительно к разработке в.среды. Эти задачи включают в себя разработку таких методов, как:

- 1) решения комплекса информационно-логических задач (упорядочивание массивов информации, поиск информационных элементов с заданными свойствами, перекодировка и т.п.), приспособленных для широкого круга проблем;
- 2) решения комплекса статистических задач;
- 3) моделирования;
- 4) проведения научного эксперимента с помощью автоматизированной системы;
- 5) управления технологическими процессами создания в.среды с помощью автоматизированных систем;
- 6) оптимального использования материальных ресурсов и наилучшей организации коллективов.

Выбор этих методов диктуется следующими соображениями. Почти все проблемы на стадии анализа сталкиваются в той

или иной степени с решением информационно-логических и статистических задач. Обычно анализ производится на основе общих приемов. Эти приемы в настоящее время не собраны вместе и, как правило, не базируются на применении ЭВМ. Возникает задача объединения этих приемов в виде системы алгоритмов и программ. Для большей гибкости эта система должна легко настраиваться на решение конкретных задач и пополняться по мере появления новых алгоритмов и программ.

При создании ВС строят модели двух различных типов: логические и физические. Первые применяются для разработки логических принципов построения ВС, вторые — для разработки физических и технологических принципов построения в.с.реды. Необходимо разработать общую методику моделирования как основы для решения каждой отдельной задачи.

Для современного научного эксперимента характерно одновременное комплексное измерение большого числа параметров, применение косвенных методов измерений, высокая динамичность, измерение малых величин. Большой объем измерений зачастую возникает из-за перебора различных комбинаций воздействующих факторов. Эти свойства определяют необходимость разработки общей методики, основанной на применении автоматизированных систем, управляемых ЭВМ. Подобные системы могут быть построены по единой схеме, которая будет общей для физических, химических, биологических и других экспериментов [48].

В.среда состоит из большого числа микроминиатюрных элементов, что обуславливает необходимость полной автоматизации технологии ее изготовления. При этом автоматизированная система должна обладать, кроме управляющих органов, системой датчиков для контроля за технологическими процессами, преобразователями, переключателями каналов и т.п., то есть она имеет ту же схему и может быть выполнена на той же технической основе, что и система автоматизации научных исследований. Появляется потребность в разработке методики управления технологическими процессами в условиях полной автоматизации.

Необходимость больших научных коллективов остро ставит вопрос об организации их работы. При этом возникают те же проблемы, что и при исследовании операций, разработке сложных проектов и т.п. Весьма важную роль играет применение метода моделирования работы коллектива [49-51]. Этот метод позволяет дать хорошую оценку каждому из элементов модели по его роли в достижении общей цели. Подобный подход имеет и более ши-

рокое применение. Например, аналогичный метод был применен для анализа надежности логических схем ЭВМ [7-9]. Учитывая важность оптимальных методов организации коллектива, необходимо разработать общую методику этой организации. Ясно, что из-за сложности вопроса, его решение возможно только на основе применения ЭВМ.

ВС принадлежит к классу сложных систем. Подход к рассмотрению ВС с точки зрения сложных систем позволяет сформулировать проблемы по разработке методики и установить очередность их решения.

Литература

1. Евреинов Э.В., Косарев Ю.Г. О возможности построения вычислительных систем высокой производительности, Изд-во СО АН СССР, Новосибирск, 1962.
2. Евреинов Э.В. О микроструктуре элементарных машин вычислительной системы, сб. "Вычислительные системы", вып. 4, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1962, 5-28.
3. Евреинов Э.В. О возможности построения вычислительных систем в условиях запаздывания сигналов. Сб. "Вычислительные системы", вып. 3, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1962, 3-16.
4. Комаров А.В., Кормилицын Н.С. Применение электронно-вычислительных машин в системах передачи информации, сб. "Вычислительные системы", вып. I, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1962. 34-62.
5. Решетняк Ю.Г. О задаче соединения элементов вычислительной системы, сб. "Вычислительные системы" вып. 3, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1962, 17-30.
6. Сотский Н.М. Об организации обмена информацией между элементарными машинами вычислительной системы, сб. "Вычислительные системы", вып. 3, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1962, 31-36.
7. Макаров С.В. Вероятностные расчеты одноконтурных схем, сб. "Вычислительные системы" вып. 4, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1962, 29-54.

8. Макаров С.В. О надежности многотактных схем с малой памятью, сб. "Вычислительные системы", вып. 5, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1963, 3-9.
9. Мерекин Ю.В. Решение задач вероятностного расчета одноктактных схем методом ортогонализации, сб. "Вычислительные системы", вып. 5, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1963, 10-21.
10. Бекишев Г.А. О распараллеливании вычислительных алгоритмов, сб. "Вычислительные системы", вып. 5, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1963, 22-30.
11. Дятлов В.Л. Об уравнениях, описывающих процессы в ферромагнитных пленках, сб. "Вычислительные системы", вып. 2, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1962, 3-15.
12. Дятлов В.Л., Дементьев С.К., Пьянков Ю.А. Параметрические колебания и вращения в ферромагнитных пленках, сб. "Вычислительные системы", вып. 2, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1962, 16-23.
13. Вишневский Е.В., Пьянков Ю.А. Расчет областей колебаний в параметроне на ферромагнитной пленке, сб. "Вычислительные системы", вып. 2, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1962, 24-30.
14. Пьянков Ю.А. Расчет областей вращения вектора намагниченности в однодоменных ферромагнитных пленках, сб. "Вычислительные системы", вып. 2, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1962, 31-36.
15. Дементьев С.К., Полина Т.В. О расширении областей параметрических колебаний за счет использования переходного процесса, сб. "Вычислительные системы", вып. 2, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1962, 37-42.
16. Дятлов В.Л., Дементьев С.К. О конструкции и расчете параметрона на магнитной пленке, сб. "Вычислительные системы", вып. 2, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1962, 43-51.
17. Дементьев С.К., Литвинчук В.И., Полина Т.В., Толмачева Р.Ф. Экспериментальное исследование областей колебаний в параметроне на магнитной пленке, сб. "Вычислительные системы", вып. 2, Новосибирск, Изд. ИМ СО АН СССР, 1962, 52-57.
18. Харченко В.Л. О машинном методе проектирования соединений (настоящий сб.)

19. Олефир А.К. О поиске неисправностей в системе ЭВМ (настоящий сб.).
20. Тюренок В.А. Алгоритм нахождения кратчайшего пути (настоящий сб.).
21. Визинг В.Г., Мухометов Р.Г. Добавление к теореме Э.Шеннона о раскраске ребер графа (настоящий сб.).
22. Плесневич Г.С. Расположение графа на плоскости (настоящий сб.).
23. Евреинов Э.В., Косарев Ю.Г., Устинов В.А. (1) Исследование рукописей древних майя с помощью электронно-вычислительной машины, а) методы, б) алгоритмы и программы, "Доклады конференции по обработке информации, машинному переводу и автоматическому чтению текста", М.1961. (2) Применение электронных вычислительных машин в исследованиях письменности древних майя, тт. I, II, III, Новосибирск, Изд. СО АН СССР, 1961. Вычислительная техника в историко-филологических исследованиях, Вестник АН СССР, № I, 1962, 80-83.
24. Гуд Г.Х., Макол Р.Э. Системотехника. Введение в проектирование больших систем, Изд-во "Сов.радио", М., 1962.
25. Эшби У.Р. Введение в кибернетику, М., ИЛ., 1959.
26. Lesh F. Method of simulating a Differential Analyzer on a Digital Computer. "J. ass. Comput. machin.", 1958, No. 3, 281-288.
27. Sendzuck G.T. Results of Simulation Comparison of Control Computers. "Comm. and Electr.", 1961, No. 57, 547-550.
28. Funk G., Görling H. Über Funktionssimulation und automatische Erstellung von Verdrahtungslisten von Schaltnetzwerken. "Elektr. Rechenanl." H. I, 1961, No. 2, 14-21.
29. First Computer-Designed Computer Developed by Bell Laboratories. "Bell Lab. Record", 1961, No.2, 70.
30. Altman G.W., De Campo L.A., Warburton C.R. Automation of Computer Panel Wiring. "Communication and Electronics", 1960, No. 48, 118-125.
31. Kirby D.B., Rosenthal C.W. Computer Program for Preparing Wiring Diagrams. "Communication and Electronics", 1961, No. 57, 509-513.
32. Grim R.K., Brouwer D.P. Wiring Terminal Panels by Machine. "Control Eng.", 1961, No. 8, 77-81.

33. Proposed Symbology for Digital Systems (AIEE Committee report), "Commun. and Electron", 1961, No. 52, 787-793.
34. Rocket F.A. A Systematic method for computer simplification of logic Diagrams. "IRE Intern. Conven. Record", Part 2, 1961, No. 3, 217-223.
35. First Computer-Designed Computer off to South Atlantic. "Computers and Automation", v. 10, 1961, No. 2, 17-18.
36. Wattie H.A. Wiring list produced by Computer. "Comp. and Automation", 1961, v. 10, No. 11, 21.
37. Leiner A.L., Weinberger A., Coleman C., Loberman H. Using Digital Computers in the Design and Maintenance of New Computers. "IRE Transac. on EC", 1961, No. 4, 680-690.
38. Schade O.H. The Calculation of Accurate Triode characteristics using a modern high-speed Computer "RCA Rev.", 1962, No. 2, 246-284.
39. Leon B.I., Bean C.A. Analysis and Design of Parametric Amplifiers with the Aid of a 709 Computer. "IRE Transactions on circuit theory", 1961, Sept., 210-216.
40. Haynes M.K. A Computer program for simulating cryotron circuits. "Proc. Sympos. Superconduct. Techn. Comput. Syst." Washington, 1960, Office Naval Rep. Dept. Navy. 1960, 353-365.
41. Deise L.F., Etchisin W., Lee R. Electronic Transformer Design By Digital Computers. "Comm. and Electron", 1960, No. 49, 314-323.
42. Lego P.E. Greene R.L., Banic I.M. Digital Computer Design of Pulse Transformers "Comm. and Electron", 1959, No. 43, 217-219.
43. Goldstick G.H., Mackie D.G. Design of Computer circuits using Linear Programming Techniques, "IRE Internat. Conven. Record" P.2. 1961, March, 224-240.
44. Глушков В.М., Рабинович Э.А., Войтова Е.А. Исследования переходных процессов в триггерах с помощью электронной цифровой вычислительной машины. Всесоюзная межвузовская конференция по теории и методике расчета нелинейных электронных цепей. Ташкент, 27 сентября - 10 октября 1960.
45. Дамбит Я.Я. О нахождении ошибок в логических схемах программ, сб. "Автоматика и вычислительная техника", Рига, 1961, 47-64.

46. Горушкин В.И. Выполнение энергетических расчетов с помощью вычислительных машин. Изд-во "Высшая школа", М., 1962.
47. Каган Б.М., Тер-Микаэлян Т.М. Решение инженерных задач на автоматических цифровых вычислительных машинах. Госэнергоиздат, М-Л., 1958.
48. Евреинов Э.В., Косарев Ю.Г. О системах автоматизации научных экспериментов для разработки вычислительных систем. Сб. "Вычислительные системы" вып. 8, Новосибирск Изд. ИМ СО АН СССР, 1963.
49. Mc Kee P.R. PERT-a breakthrough in management control. "Electron.weekly", 1962, N 103, p.11-16.
50. Бойцов В., Найдов-Железнов Ч. Быстро, экономно, "Известия" от 17.4.1963.
51. Морз Ф.М., Симбелл Д.Е. Методы исследования операций. Изд-во "Сов. радио" М., 1956.