1974 год ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ Выпуск 60

УДК 681.142.2:681.142.1.01

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ СТРУКТУР ОДНОРОДНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В.А.Воробьев, В.В.Корнеев

Предложены алгебраические модели структур однородных вычислительных систем (ОВС) [1] и ряд структурных характеристик: потенциальная и реальная m-коммутируемость, функция структурной живучести подсистем и добротность структур, плотность взаимодействия и внутренняя эффективность. Приводятся результаты исследований живучести и добротности ОВС методом статистических испытаний, подтверждающие значимость и полезность введенных характеристик.

1. О проблематике теории ОВС

1.1. Однородные вычислительные системы, как перспективное направление развития вычислительной техники, – общепризнаны. Это касается не только многочисленных инженерных разработок вычислительных систем IV поколения, но и теоретических исследований. Теория ОВС представляет собой широкую, достаточно самостоятельную и быстро развивающуюся часть общей теории вычислительных систем.

Данная статья написана как введение в проблематику четырех работ [2–5]. Её цель – дать представление о месте этих работ в теории ОВС, очертить круг очередных задач, ввести некоторые дополнительные меры качества функционирования ОВС и соответствующую терминологию. Таким образом, будет описана та программа, в пределах которой уже получены некоторые результаты и которая, как нам кажется, открывает широкую перспективу для дальнейших исследований.

1.2. В настоящее время получены расчетные формулы для надежности [6-II], осуществимости решения задач [I2,I3] и эффективности функционирования ОВС [I4-I6]. При этом подробно изучена теоретическая модель ОВС, построенная при следующих предпосылках:

1) ОВС есть коллектив взаимодействующих, стохастически независимых и ненадежных элементарных машин (ЭМ);

2) система связей между ЭМ абсолютно надежна и допускает любые коммутации;

3) производительность коллектива ЭМ прямо пропорциональна числу машин в нем;

4) ОВС есть система массового обслуживания с простейшими потоками заявок на обслуживание.

Условно назовем эту модель идеальным коллективом.

При таком взгляде на ОВС в поле зрения исследователя попадает только множество ЭМ, как таковое, и его потенциальные возможности обеспечить требуемые характеристики.

По этой причине предлагаемые алгоритмы функционирования ОВС [I7-2I] устанавливают только внешнюю дисциплину коллектива ЭМ, то есть выбирают задачи из пакета или потока (управляемого или неуправляемого) и выделяют для их решения подмножества (подсистемы) ЭМ так, чтобы минимизировать суммарное время решения задачи или штраф за задержку их решения.

Таким образом, в рамках теории идеального коллектива отсутствует задача исследования макроструктуры [I] ОВС.

1.3. Имеется ряд работ [22-28], в которых так или иначе рассматриваются вопросы организации макроструктуры ОВС. Общим их недостатком является отсутствие единого подхода. Вследствие этого полученные результаты разрознены и не могут быть естественно привязаны к исследованиям, упомянутым в предыдущем пункте.

В работе предлагается достаточно общее математическое описание макроструктур ОВС, позволяющее рассматривать с единых позиций многие вопросы теории ОВС, и в первую очередь:

1) структурную живучесть ОВС, то есть возможность обеспечить связность требуемых подсистем при ненадежной системе связей между ЭМ. (В дальнейшем термин подсистема будет употребляться только для связных подмножеств ЭМ);

2) коммутируемость ОВС, то есть возможность структуры обеспечить несколько одновременных взаимодействий между подмножествами ЭМ;

3) внутреннюю дисциплину ОВС, то есть алгоритмы обслуживания внутренних потоков заявок, процедуры прокладки путей в структуре, контроль, устранение последствий сбоев, диагностику и так далее.

2. Математическая модель структуры ОВС

2.1. По определению [I], ОВС есть множество "одинаковых и одинаково соединенных" ЭМ. Требование "одинаковых ЭМ" можно удовлетворить, взяв несколько экземпляров одной и той же ЭВМ и снабдив их одинаковыми системными устройствами, обеспечивающими взаимодействия между ЭМ. Характер взаимодействия i-й и j-й ЭМ, обеспеченный связью между ними, фиксируем отметкой. Итак, описание макроструктуры ОВС состоит из множества $A=\{ЭМ_i \mid i\in J\}$, где $J=\{0,1,\dots,N-1\}$, и множества S связанных пар ЭМ, помеченных отметками s_{ij}: $S\subseteq J^2$. Информационный граф, или макроструктура ОВС, есть

$$\langle A, S(s_{ij})\rangle \qquad (I)$$

2.2. Рассмотрим подробнее требование "одинаковых соединений". Оно достаточно широко и нуждается в конкретизации. В порядке уточнения "одинаковости" соединений потребуем, чтобы макроструктура ОВС выглядела одинаково с точки зрения любой её вершины, то есть все ЭМ были бы эквивалентны не только по своим описаниям, но и по своему расположению в макроструктуре.

Формально это означает, что для любой пары номеров (i,j) существует такая перенумерация элементов макроструктуры, что элемент j получит номер i, и новый информационный граф при этом будет неотличим от исходного. Такая перенумерация (будем кратко обозначать её $j\Rightarrow i$) есть автоморфизм вида:

$$\alpha(j\Rightarrow i)=\left|\begin{matrix}0,1,\dots j,\dots N-1\\ i_0,i_1,\dots i,\dots i_{N-1}\end{matrix}\right|,$$

удовлетворяющий условию сохранения связей и их отметок:

$$\forall_{i,j,k,\ell \in \mathcal{J}} \{ (j \to i) \wedge (\ell \to k) \to s_{j\ell} \to s_{ik} \}. \qquad (2)$$

Пусть теперь $\mathcal{A} = \{ \mathcal{A}(j \to i) / (j,i) \in \mathcal{J}^2 \}$ – требуемое множество автоморфизмов, удовлетворяющих условию (2). E – тождественная подстановка, $\otimes$ бинарная операция перемножения (последовательного применения) подстановок. Ясно, что система $\langle \mathcal{A}, E, \otimes \rangle$ представляет собой транзитивную группу с единицей E.

Образующие группы $\mathcal{A}$ могут быть выбраны так, что макроструктура совпадает с диаграммой Кэли своей группы автоморфизмов [29] с точностью до направлений дуг информационного графа. Это обстоятельство позволяет в дальнейшем не различать понятий макроструктура, информационный граф и структура.

Число образующих группы $\mathcal{A}$ будем называть размерностью структуры. В n-мерной структуре каждая вершина соединена с $2n$ соседями за исключением тех случаев, когда образующая представляет собой нормальную циклическую подгруппу порядка 2. (Это возможно только при четных N.) Такие образующие будем называть вырожденными. Соответственно и структуры могут быть частично или полностью вырожденными. В частности, таковыми являются D_n-графы [22], моделирующие n-мерный булевский куб.

2.3. Только что полученная алгебраическая модель структуры ОВС является достаточно простой и находит широкое применение, например, в теории вычислительных сред [29,30]. Основное внимание в упомянутых работах уделяется групповой классификации однородных структур, мыслимых как фрагменты бесконечных плоских решеток.

Теория структур ОВС, напротив, не может игнорировать конечность числа ЭМ, зато пространственное расположение элементов структуры в этом случае не играет столь важной роли. Итак, нас интересуют конечные многомерные структуры. Множество последних ещё слишком широко. Можно высказать ряд практических требований, сильно ограничивающих круг интересных для исследования структур.

3. КАИС-структуры

3.I. Основные требования, предъявляемые к структуре ОВС, сводятся к следующим:

I. Структура ОВС должна обеспечивать возможность построения достаточно простой и эффективной операционной системы, пригодной для широкого класса ОВС различной мощности и размерности.

2. Структура ОВС должна обладать максимальной живучестью и коммутируемостью. Это означает, что подсистема заданного ранга должна существовать в ней при выходе из строя как можно большего числа ЭМ и связей. Кроме того, структура должна обеспечивать одновременное взаимодействие как можно большего числа непересекающихся подсистем.

Первое требование накладывает дополнительные ограничения на класс структур, подлежащих первоочередному изучению. Второе касается выбора конкретных структур заданного класса, наиболее эффективно использующих аппаратуру.

3.I.I. Алгебра структуры должна быть простой и хорошо изученной. В дальнейшем мы ограничимся рассмотрением структур ОВС, обладающих конечной абелевой группой автоморфизмов. В таких группах, как известно, тривиально решается проблема тождества слов, а следовательно, и проблема распознавания и прокладки путей, ведущих от одной вершины к другой, на информационном графе.

3.I.2. Будем рассматривать только симметричные информационные графы, удовлетворяющие условию $s_{ij} = s_{ji}$. Таким образом, две соседние ЭМ ОВС равноправны не только относительно всей системы в целом, но и относительно друг друга.

3.I.3. Структура должна быть изотропной, то есть такой, что одна и та же информация может передаваться по связям с разными отметками. Это ограничение обеспечивает нам полную свободу коммутаций.

Кроме того, в силу изотропности, можно отвлечься от информационного смысла отметок ребер. В дальнейшем отметки ребер будут иметь чисто алгебраический смысл, то есть будут символами тех образующих группы автоморфизмов (тех перенумераций), применение которых приводит к перемещению i-го элемента на место j-го, связанного с i-м соответственно помеченным ребром.

3.1.4. Любая конечная абелева изотропная и симметричная структура (КАИС-структура) может быть описана определяющими соотношениями группы автоморфизмов. Можно найти в выделенном классе структур подклассы, допускающие более простые параметрические описания. На эти параметры будут настраиваться операционные системы. Таким образом, мы обеспечим наращиваемость ОВС без изменения программного обеспечения.

3.2. Сравнительными характеристиками КАИС-структур в целом являются диаметр d и средний диаметр $\bar{d}$. Диаметром называется максимальное расстояние между любыми двумя вершинами информационного графа (под расстоянием d_{ij} здесь понимается минимальное число ребер информационного графа, образующих путь из элемента i к элементу j, $i,j \in J$).

$$d = \max_{i,j} \{ d_{ij} \},$$

$$\bar{d} = \frac{1}{N-1} \sum_{\ell=1}^{d} \ell \cdot k_\ell ,$$

где k_ℓ – число вершин, находящихся на расстоянии ℓ от любой выделенной, N – число вершин информационного графа. В силу однородности КАИС-структуры $\bar{d}$ не зависит от выбора "выделенной" вершины (эквицентральность [28]). Интуитивно ясно, что, чем меньше $\bar{d}$, тем выше качество структуры. В работе [28] это утверждение послужило поводом для разработки метода однородного соединения как можно большего числа элементов информационного графа в пределах заданного диаметра d при заданной степени вершин графа. Для КАИС-структур задача синтеза выглядит следующим образом: для заданного порядка N и заданной размерности n найти КАИС-структуру, доставляющую $\min \bar{d}$.

4. Структурные характеристики ОВС

4.1. Как уже отмечалось [6-21], важным мотивом, определяющим тот или иной выбор структурных характеристик ОВС, является их совместимость с теорией идеального коллектива. Последняя использует аппарат теории массового обслуживания, теории игр, математического программирования и исследования операций. Теория структур в том виде, как она представлена выше, апеллирует к алгебре.

По нашему мнению, результаты обоих подходов могут быть выражены в терминах одной теории, а именно – теории осуществимости [31]. Это фактически уже сделано в работах [12,13] для идеального коллектива. Ниже мы предложим меры живучести и коммутируемости ОВС, выдержанные в том же духе.

Такой выбор характеристик интересен еще и тем, что открывает возможности для исследования потенциальной эффективности ОВС и ее предельных возможностей. Более того, понятие осуществимости позволяет хорошо организовать статистические эксперименты при исследовании соответствующих характеристик на моделях. Этот факт демонстрируется в [2].

4.2. Подмножество взаимодействующих ЭМ, из которых одна передает информацию, а остальные принимают, будем называть коммутацией (безотносительно к тому, по каким каналам происходит взаимодействие). С точки зрения внутренней эффективности ОВС важна способность структуры обеспечить некоторый минимум одновременно существующих непересекающихся коммутаций, то есть коммутируемость.

В качестве меры коммутируемости можно взять вероятность $P(\alpha, m, \ell)$ того, что в системе α может одновременно существовать не менее чем m произвольных коммутаций, причем каждая связь обслуживает не более чем ℓ взаимодействий.

Обычно $\ell = 1$. В этом случае будем называть структуру m – коммутируемой, если $P(\alpha, m, 1) \geq P_{min}$, где P_{min} – некоторый наперед заданный порог осуществимости. При $P_{min} = 1$ структура строго m – коммутируема, при $P_{min} = 1$ и $m =]\frac{N}{2}[$ полностью коммутируема, $]\frac{N}{2}[$ – целая часть числа $\frac{N}{2}$.

Введенное в [29] понятие ℓ – покрываемости соответствует случаю $P(\alpha,]\frac{N}{2}[, \ell) = 1$.

Величину $K(\alpha, m) = P(\alpha, m, 1)$ будем называть потенциальной m – коммутируемостью.

В общем случае m – коммутируемость $K(\alpha, m)$ зависит от характеристик коммутаций и внутренней дисциплины ($\mathcal{D}$) ОВС. Коммутации, в частности, можно охарактеризовать вероятностью взаимодействия машин на расстоянии d_{ij}, то есть плотностью взаимодействия $p(d_{ij})$. Меру коммутируемости $\mathcal{K}(m, \mathcal{D}, p(d_{ij}))$ будем называть реальной.

4.3. В качестве характеристики структурной живучести возьмем вероятность $R(\alpha, \rho_k, \rho_{cb}, \tau_{min})$ того, что в структуре α существует подсистема ранга $\tau \geq \tau_{min}$ при заданных коэффициентах готовности ρ_k, ρ_{cb}, соответственно коммутаторов и связей.

Подсистема ранга τ_{min} осуществима, если функция структурной живучести $R(\alpha, \rho_k, \rho_{cb}, \tau_{min})$ больше некоторого порога осуществимости R_{min}.

Иными словами, избыточность $e = \frac{N}{\tau_{min}}$ достаточна.

Для сравнения различных структур будем использовать интегральную осуществимость подсистемы заданного ранга, то есть вероятность того, что заданная избыточность достаточна при случайном и равновероятном выборе значений ρ_k и ρ_{cb} из отрезка [0,1]:

$$Q(\alpha, e) = Q\{R\{\alpha, \rho_k, \rho_{cb}, e\} \geq R_{min}\}.$$

Величину $Q(\alpha, e)$ назовем добротностью структуры.

4.4. В качестве параметров, описывающих эффективность той или иной внутренней дисциплины ОВС, могут быть взяты характеристики систем массового обслуживания, применяемые в работах [6-21]. ОВС представляется замкнутой системой массового обслуживания с N источниками заявок (ЭМ) и m обслуживающими аппаратами (коммутациями). Важнейшими особенностями такой структуры являются:

1) случайность числа обслуживающих аппаратов, заданная реальной коммутируемостью $\mathcal{I}(\alpha, m, \mathcal{D}, \rho(\alpha_{ij}))$;

2) взаимодействие между абонентами, заданное плотностью взаимодействия $\rho(\alpha_{ij})$.

5. Некоторые свойства живучести подсистем и добротности структур ОВС

5.1. Введение всякой новой меры (или характеристики) объекта должно быть оправдано по крайней мере следующими дополнительными условиями:

1) указанием на то, как измерять данную характеристику;

2) указанием на способ использования измеренной характеристики;

3) исследованием адекватности меры, то есть обнаружением её закономерного поведения при заданном изменении других параметров.

Что касается способа измерения предложенных выше структурных характеристик, то наиболее доступным является статистический эксперимент на ЭВМ. Методика организации таких исследований дана в [2]. Очевидны также и способы использования таких мер, как коммутируемость и живучесть подсистем.

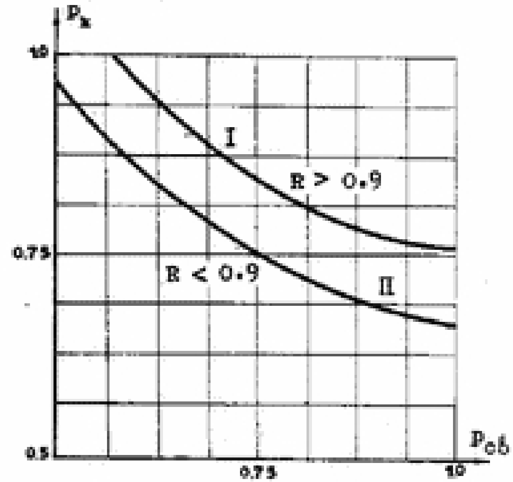

Рис. 1

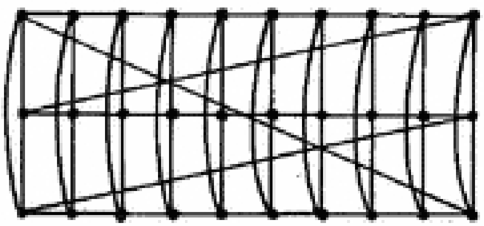

Рис. 2

В данном параграфе приведены некоторые результаты моделирования структур, позволяющие оценить адекватность понятия "добротность". Заодно была проверена гипотеза, высказанная в [28] о том, что лучшими структурами являются информационные графы минимального диаметра.

5.2. Исследовалась живучесть подсистем при уровне избыточности: e = 1,5, e = 2 и e = 2,5; уровне осуществимости: R_{min} = 0,9; для всех возможных двумерных КАИС-структур порядка N = 15 и N = 30. (Таковых оказалось 6 – для N = 15 и 20 – для N = 30.)

На рис. 1 приведены графики функции $R(\alpha, \rho_k, \rho_{cb}, e) = 0,9$

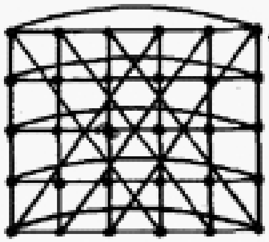

Рис. 3

для двух структур порядка $N = 30$, уровня избыточности $e = 2$ и в промежутке [0,5; I,0] значений ρ_k, ρ_{cb}. Структура, соответствующая кривой I, показана на рис.2, кривой II – на рис.3. Они имеют соответственно следующие группы автоморфизмов:

$$\mathfrak{a}_1:\quad \alpha^{30} = b^3 = 1;\ \alpha^{10} = b;\quad \alpha b = b\alpha;$$

$$\mathfrak{a}_2:\ \alpha^{10} = b^6 = 1;\ \alpha^5 = b^3;\ \alpha b = b\alpha.$$

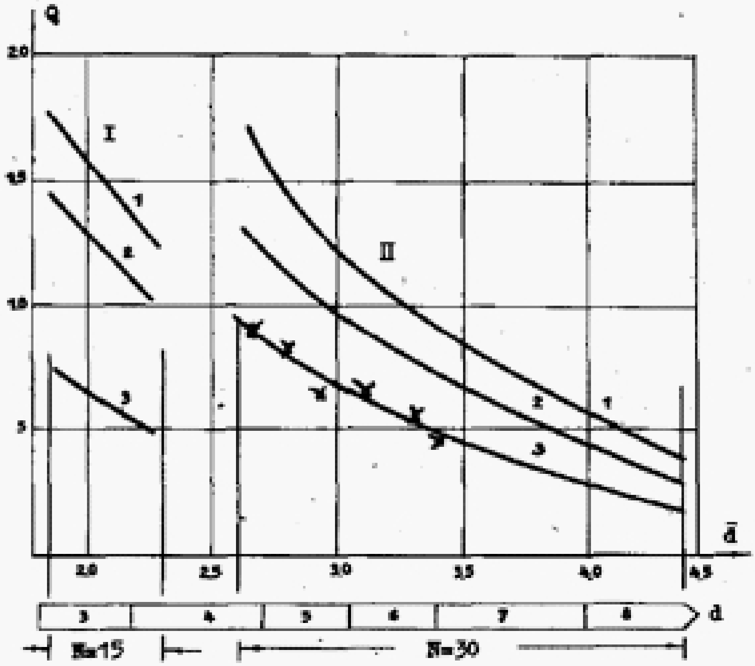

Рис. 4

Получено всего 26 х 3 аналогичных картин. Площади, занимаемые на рис.I областями, где $R \geq 0,9$, равны добротностям соответствующих структур при уровне избыточности $e = 2$.

На рис. 4 приведены два семейства кривых (I и II) добротности как функций среднего диаметра $\bar{d}$:

$$Q(\mathfrak{a}, e, R_{min}) = Q\ \{\bar{d}, [R(\mathfrak{a}, \rho_k, \rho_{cb}, e) \geq 0{,}9]\}$$

при значениях e =2,5 для кривой I; e =2 – для 2; e =I,5 – для 3.

5.3. Результаты этого эксперимента вкратце сводятся к следующим утверждениям:

– Живучесть подсистем и добротность структур тем больше, чем меньше $\bar{d}$. Таким образом, при выборе структуры необходимо минимизировать средний диаметр.

– Результаты теории идеального коллектива должны применяться после исследования структурных характеристик. Так, например, в оптимальной [4] структуре (рис.3, $N = 30$) при абсолютной надежности линий связи (ρ_{cb} = I) для обеспечения живучести подсистемы ранга τ = I5 на уровне R_{min} = 0,9 необходима готовность $\rho_k \geq 0{,}64$. Для структуры, показанной на рис. 2, при аналогичных требованиях необходима готовность $\rho_k \geq 0{,}76$. Эта разница совершенно неуловима в теории идеального коллектива.

– Добротность является сильной сравнительной характеристикой структур. По данным эксперимента, можно высказать следующую гипотезу:

$$\exists e, P_{min} \{Q_1(\mathfrak{a}_1, e, P_{min}) > Q_2(\mathfrak{a}_2, e, P_{min})\} \rightarrow$$

$$\forall e, \rho_k, \rho_{cb}, P_{min} \ \{R_1(\mathfrak{a}_1, e, \rho_k, \rho_{cb}) \geq R_2(\mathfrak{a}_2, e, \rho_k, \rho_{cb})\}.$$

5.4. Наиболее общей характеристикой структурной живучести может быть и н т е г р а л ь н а я добротность:

$$Q(\mathfrak{a}) = \frac{1}{N} \sum_{\tau=1}^{N} Q(\mathfrak{a}, \tau, P),$$

где P – некоторый, наперед заданный стандартный порог осуществимости. Интегральная добротность зависит только от типа структуры.

Итак, была предложена достаточно общая модель структуры ОВС и выделен класс КАИС-структур, наиболее подходящих для использования. Введены характеристики структур, адекватность которых подтверждена экспериментально.

Дальнейшие исследования должны ответить на следующие вопросы:

I) Как выбирать КАИС–структуры минимального среднего диаметра?

2) Какие свойства КАИС–структур особенно полезны для программирования и существуют ли другие описания этих структур (хотя бы для некоторых классов), кроме групповых?

3) Как влияет коммутируемость ОВС и взаимодействие между ЭМ на внутреннюю эффективность системы?

Список этот можно продолжать, рискуя ещё раз продемонстрировать справедливость известной пословицы. Мы ограничились здесь лишь теми вопросами, которые касаются работ [2–5].

Литература

I. ЕВРЕИНОВ Э.В., КОСАРЕВ Ю.Г. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск, "Наука", 1966.

2. ВОРОБЬЕВ В.А., КОРНЕЕВ В.В. Метод статистических испытаний при исследовании характеристик осуществимости. –Настоящий сборник, стр.70–83.

3. ВОРОБЬЕВ В.А. Простейшие структуры однородных вычислительных систем. –Настоящий сборник, стр.35–49

4. КОРНЕЕВ В.В. О макроструктуре однородных вычислительных систем. –Настоящий сборник, стр.17–34.

5. ВОРОБЬЕВ В.А. Коммутируемость и внутренняя эффективность однородных вычислительных систем в одном частном случае. –Настоящий сборник, стр. 50–69.

6. ХОРОШЕВСКИЙ В.Г. О надежности однородных универсальных вычислительных систем высокой производительности. –В кн.: Труды симпозиума "Вычислительные системы", Новосибирск, "Наука", 1967, стр. 24–3I.

7. ХОРОШЕВСКИЙ В.Г. О двух классах однородных универсальных вычислительных систем. –В кн.: Труды I Всесоюзной конференции по вычислительным системам, Новосибирск, "Наука", 1968, вып. I, стр.70–84.

8. ХОРОШЕВСКИЙ В.Г. Живучие однородные универсальные вычислительные системы. –В кн.: Вычислительные системы. Вып. 34, Новосибирск, 1969, стр. 71–89.

9. ХОРОШЕВСКАЯ Э.Г. Расчет нестационарных функций надежности и восстановимости однородных универсальных вычислительных систем. –В кн.: Вычислительные системы. Вып.34, Новосибирск, 1969, стр. 90–I06.

I0. ХОРОШЕВСКИЙ В.Г. Надежность однородных универсальных вычислительных систем. –В кн.: Использование избыточности в информационных системах, Труды Второго симпозиума, Л., "Наука", 1970, стр. 72–80.

II. ИГНАТЬЕВ М.Б., ФЛЕЙШМАН Б.С., ХОРОШЕВСКИЙ В.Г., ЩЕРБАКОВ О.В. Надежность однородных вычислительных систем. –В кн.: Вычислительные системы. Вып. 48. Труды II Всесоюзной конференции, Новосибирск, 1970, стр. I6–47.

I2. ХОРОШЕВСКИЙ В.Г. Об осуществимости решения задач на однородных вычислительных системах. –В кн.: Вычислительные системы. Вып. 5I, Новосибирск, 1972, стр. 38–47.

I3. ПАВСКИЙ В.А. Об осуществимости решения потока простых задач на однородных вычислительных системах. –Там же, стр.48–58.

I4. ХОРОШЕВСКИЙ В.Г., ХОРОШЕВСКАЯ Э.Г., ГОЛОСКОКОВА Т.М. Расчет технико–экономических показателей однородных универсальных вычислительных систем высокой производительности. –В кн.: Вычислительные системы. Вып.39. Новосибирск, 1970, стр. 38–60.

I5. ХОРОШЕВСКАЯ Э.Г. Влияние показателей вычислительной системы на ожидаемый доход при её эксплуатации. –Там же, стр.29–37.

I6. ШУМ Л.С. Об экономичности однородных вычислительных систем и вычислительных машин. –Там же, стр. 6I–66.

I7. ХОРОШЕВСКИЙ В.Г. Об алгоритмах распределения задач по ЭЦВМ. –Труды СФТИ, Томск, Изд-во ТГУ, 1965, вып.47, стр. 29–34.

I8. ХОРОШЕВСКИЙ В.Г. Об алгоритмах функционирования однородных универсальных вычислительных систем. –В кн.: Вычислительные системы. Вып.39, Новосибирск, 1970, стр. 3–I4.

I9. ГОЛОСКОКОВА Т.М., ХОРОШЕВСКИЙ В.Г. Алгоритмы функционирования однородных вычислительных систем в простейших ситуациях. –Там же, стр. I5–29.

20. ХОРОШЕВСКИЙ В.Г., СЕДУХИНА Л.А. Стохастические алгоритмы функционирования однородных вычислительных систем. –В кн.: Вычислительные системы. Вып.5I, Новосибирск, 1972, стр. 3–I9.

2I. ХОРОШЕВСКИЙ В.Г., ТАЛНЫКИН Э.А. Теоретико–игровой подход к проблеме функционирования однородных вычислительных систем. –Там же, стр. 20–37.

22. РЕШЕТНЯК Ю.Г. О задаче соединения элементов вычислительной системы. –В кн.: Вычислительные системы. Вып.3, Новосибирск, 1962, стр. I7–30.

23. КРАТКО М.И. Информационные графы. –"Сибирский математический журнал", 1970, т.II, №5, стр. I5I–I59.

24. ШУМ Л.С. О функциональной организации вычислительных систем. –В кн.: Вычислительные системы. Вып. 39. Новосибирск, 1970, стр. 8I–88.

25. КОСАРЕВ Ю.Г. О структурах вычислительных систем, устойчивых к изменению числа машин. –В кн.: Вычислительные системы. Вып.42, Новосибирск, 1970, стр. 59–73.

26. ДИМИТРИЕВ Ю.К., ШУМ Л.С. О времени обменов в распределенной однородной вычислительной системе. –В кн.: Вычислительные системы. Вып. 46. Новосибирск, 1971, стр. 135–141.

27. МИРЕНКОВ Н.Н. Алгоритмы функционирования для диспетчера однородной вычислительной системы. –В кн.: Вычислительные системы. Вып. 42, Новосибирск, 1970, стр. 34–46.

28. АРТАМОНОВ Г.Т. Об одном способе построения однородных эквицентральных сетей.–"Техническая кибернетика", 1970, № 6, стр. 109–114.

29. WAGNER E.G. On connecting modules together uniformly to form a modular computer. – "IEEE Trans. on EC", 1966, vol. EC-15, N 6, p.863–972.

30. АБРАМОВА Н.А. Однородные логические сети и их группы автоморфизмов. –"Автоматика и телемеханика", 1970, №11, стр. 107–109.

31. ФЛЕЙШМАН Б.С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем. М., "Сов.Радио", 1971.

Поступила в ред.-изд.отд.
23 октября 1973 года