



УДК 681.324

Т.М. Мансуров, д-р техн. наук, **И.А. Мамедов**, канд. техн. наук
Азербайджанский технический университет
(Республика Азербайджан, AZ1073, г. Баку, пр-т Г.Джавида 25,
тел.: +994 12 5388766, факс: 5381596, e-mail: tofiq-mansurov@rambler.ru)

Методика решения сложных задач на однородных вычислительных структурах

Разработана методика решения сложных задач, состоящих из простых взаимосвязанных задач, на однородных вычислительных структурах, основанная на математическом (статическом) прогнозировании возможности решения сложных задач на однородной вычислительной структуре с учетом структурно-топологических характеристик процесса отображения.

Розроблено методику розв'язку складних задач, складених з простих взаємозв'язаних задач, на однорідних обчислювальних структурах, яка базована на математичному (статичному) прогнозуванні можливості розв'язку складних задач на однорідній обчислювальній структурі з урахуванням структурно-топологічних характеристик процесу відображення.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сложная задача, однородность, вычислительная структура, планирование, реализация, математическая модель.

Необходимость в решении сложных задач возникает при исследовании, создании и управлении процессами функционирования сложных систем, к которым относятся современные системы проектирования сложных инженерных изделий, системы исследования и управления экспериментом при разработке сложных научных проблем и др. Основные свойства таких систем — функциональная целостность, сложность, параллельность работы элементов, переменность структуры и многофункциональность элементов — позволяют качественно описать самые разнообразные сложные системы. Количественное исследование сложной системы возможно с использованием функционального подхода, при котором сложная система рассматривается как набор связанных функциональных подсистем, и структурного подхода, позволяющего представить ее в виде набора более простых элементов, соединенных между собой определенными связями. При реализации множества задач в таких системах возникает необходимость разработки аппаратного, алгоритмического и программного обеспе-

© Т.М. Мансуров, И.А. Мамедов, 2015

чения, структуризации (распараллеливания) задач, организации архитектуры однородной вычислительной структуры (ОВС) для реализации заданного класса задач, установления взаимосвязи между структурой задачи и топологией ОВС, что влияет на скорость и эффективность реализуемых процессов.

Выполненное исследование является составной частью классической теории массового обслуживания и теории надежности. ОВС периодического действия, состоящая из множества модулей (программируемых коммутаторов К и процессоров П), рассматривается как система массового обслуживания, функционирование которой, описывается марковским процессом с конечным множеством состояний и известными интенсивностями перехода [1].

Предлагаемая методика основана на математическом (статическом) прогнозировании возможности решения сложных задач на ОВС с учетом структурно-топологических характеристик процесса отображения и на динамическом уточнении статических прогнозов в режиме реального времени [2, 3]. Как указано в работе [4], структурный аспект надежности связан с возможностью существования в сети хотя бы одного пути доставки информации. Он отражает функционирование сети в целом в зависимости от работоспособности или отказов ее узлов (станций, пунктов) или ребер (линий, магистралей, пучков каналов). Но специфика сложной задачи заключается в том, что в процессе ее реализации необходимо одновременно учитывать надежность модулей, входящих в состав образуемой подструктуры ОВС, и связей между ними. Такая необходимость связана с тем, что на каждом последующем шаге алгоритма в качестве исходных данных могут быть использованы результаты предыдущих шагов или других параллельных ветвей алгоритма.

Постановка задачи. Применение классической теории массового обслуживания не позволяет определить структурную надежность с учетом топологии образуемой связанной подструктуры в ОВС. Поэтому термин «структурная надежность» будем использовать в другом определении [5], в котором учтена топология построения образуемой подструктуры ОВС в целом [4]. Под структурной надежностью будем понимать меру оценки способности реализовать определенные сложные задачи в определенных условиях с учетом надежности модулей и связей между ними в период реализации данной задачи.

Сложная задача рассматривается как комплекс взаимосвязанных простых задач и (или) их параллельно-последовательных фрагментов (подзадач, процессов), в общем случае — программных модулей с известными временами и вероятностью их реализации. В качестве ОВС рассмат-

риваются однородные многопроцессорные структуры со многими потоками команд и данных, включаемые в контуры управления жесткого реального времени: управление сложными телекоммуникационными системами нового поколения, управление разветвленными быстропротекающими технологическими процессами, полетами искусственных спутников земли и др.

В известных исследованиях подходов к определению надежности ОВС в любой момент времени $t \geq 0$ [6, 7] не учитываются связи между задачами и топологией построения ОВС. В предлагаемой методике основным является определение критерия статической оценки при планировании решения сложных задач и разработки математической модели.

Исходные математические модели. Решение проблемы статического прогнозирования реализации сложных задач в ОВС с учетом структурно-топологических характеристик при решении задач в режиме реального времени основано на математических методах теории массового обслуживания и теории надежности [1, 8, 9].

Процесс реализации сложной задачи можно разбить на два этапа: планирование и реализация. На этапе планирования определяется метод, составляется алгоритм реализации и устанавливается взаимосвязь между структурой сложной задачи и топологией образуемой подструктуры ОВС с последующим отображением структуры задачи в топологию ОВС и настройки образуемой подструктуры для реализации данной задачи. На этапе реализации выполняется процесс решения сложных задач с известной структурой задачи и топологией ОВС за заданное время с обеспечением необходимой отказоустойчивости.

Для обеспечения режима отказоустойчивости функционирования ОВС на этапе реализации сложной задачи на этапе планирования вводится защитная зона, размеры которой (число модулей в защитной зоне) определяются по следующей методике. На этапе планирования определяется структура, общее число вершин, время и вероятность реализации $P_p(t)$ сложной задачи за время t .

Отображение структуры алгоритма в топологию ОВС позволяет определить общее число занятых модулей и связи между ними, соответствующие общему числу вершин алгоритма с учетом промежуточных передаточных модулей (отказавшие модули, попавшие в образуемую подструктуру). На основании методов теории массового обслуживания [1] определяется вероятность безотказной работы $P_{N, N-j}(t)$ ОВС за заданное время t при следующих условиях:

а) $P_p(t) \leq P_{N, N-j}(t)$ — за время реализации алгоритма отказ модулей в образуемой подструктуре не произойдет, и тогда на этапе планирования защитная зона не вводится;

б) $P_P(t) > P_{N, N-j}(t)$ — за время реализации алгоритма произойдет отказ модулей в образуемой подструктуре, и для обеспечения режима отказоустойчивости функционирования ОВС вводится защитная зона.

Число модулей в защитной зоне определяется в зависимости от результатов сравнения вероятностей $P_P(t)$ и $P_{N, N-j}(t)$ и для матричной топологии ОВС число модулей в строке и столбце защитной зоны составляет $N_3 = n_{от} n_c$, где $n_{от}$ — число отказавших модулей за время реализации данного алгоритма, n_c — число модулей в одной строке или столбце защитной зоны, определяемое как максимальное число вершин в горизонтальном или вертикальном ряду алгоритма.

На этапе реализации отказ модуля приводит к изменению топологии занятой подструктуры и, следовательно, структуры реализуемого алгоритма. Сохранения структуры реализуемого алгоритма и обеспечения режима отказоустойчивости функционирования ОВС можно достичь посредством необходимого сдвига вершин алгоритма по ОВС с использованием защитных зон, введенных на этапе планирования.

В соответствии с [10] сложные задачи представляют собой конечное множество взаимосвязанных простых задач, каждая из которых является вершиной алгоритма. Их можно представить в виде простого графа $L = \{B, C\}$ с конечным числом вершин $M = m$, где B — множество простых задач, вершина $b_j \in B$ соответствует j -й задаче ($j = 1, M$), а множество дуг C отображает связи между простыми задачами. В свою очередь, ОВС также состоит из определенного множества модулей и связей между ними (множество A), организуемых с помощью программируемых коммутаторов K . Алгоритм решения сложных задач состоит соответственно из множества вершин и ребер (дуг) между ними (множество B).

Процесс функционирования ОВС имеет четыре фазы: настройки (Н), обмена (О), работы (Р) и управления (У) [10]. На фазе Н с помощью программируемых коммутаторов между модулями устанавливаются необходимые связи, соответствующие структуре реализуемой сложной задачи, т.е. устанавливается взаимосвязь между множествами A и B с последующим отображением множества B в множество A (см. рисунок). На фазе О реализуются необходимые обменные взаимодействия, определяемые со структурной схемой реализуемой сложной задачи. На фазе Р происходит независимая работа отдельных модулей, настроенных на реализацию сложной задачи.

На фазе У все модули анализируют результаты фазы Р, т.е. фазы непосредственной реализации сложной задачи. В зависимости от совместно выработанного ими условия совершается переход к фазе О либо к фазе Н либо процесс реализации завершается. На фазе У происходит

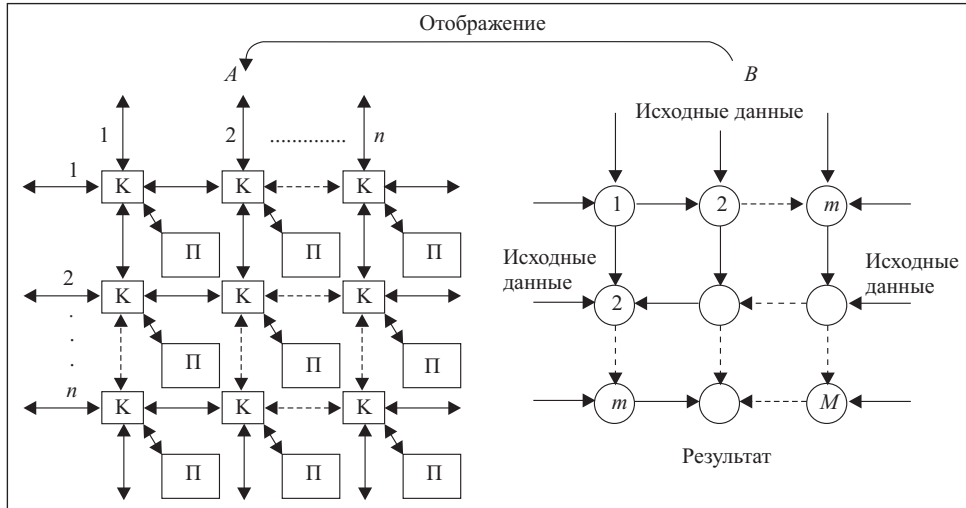


Схема отображения структуры алгоритма решения задач (множество B) в топологию ОВС (множество A)

синхронизация (согласование) процессов реализации сложных задач в зависимости от полученных модулями результатов, включение и выключение процесса реализации сложной задачи по требованию одного из модулей структуры.

Для оценки взаимосвязи между структурой реализуемой сложной задачи и топологией образуемой подструктуры в ОВС, т.е. процесса отображения, определены критерии статической оценки.

Критерии статической оценки. На этапе планирования процесс отображения можно оценивать степенью соответствия структуры алгоритма решения сложных задач и топологии образуемой подструктуры. Для количественной оценки такой взаимосвязи введен коэффициент адекватности, который для ОВС с матричной топологией определяется по формуле $K_A = K_{AB} K_{AC}$. Здесь K_{AB} и K_{AC} — коэффициенты адекватности соответственно по вершинам и связям,

$$K_{AB} = n_{BA} / n_{mOVC} = n_{BA} / (n_{BA} + n_{Bm} + n_{BOT}),$$

$$K_{AC} = n_{CA} / n_{cOVC} = n_{CA} / (n_{CA} + n_{cm} + n_{cot}),$$

где n_{BA} и n_{CA} — число вершин и связей между ними; n_{mOVC} и n_{cOVC} — суммарное число модулей и связей между ними, настроенных на реализацию сложной задачи; n_{Bm} и n_{cm} — необходимое число промежуточных передаточных модулей и дополнительных связей между ними для

сохранения исходной структуры алгоритма; $n_{\text{вот}}$ и $n_{\text{сот}}$ — число отказавших модулей и их связей с соседними модулями.

Коэффициент адекватности для ОВС с трехмерной топологией определяется так: $K_{AT} = K_{AB}K_{AC} = K_{AB}K_{ACF}K_{ACB}$, где K_{AB} , K_{ACF} и K_{ACB} — коэффициенты адекватности по вершинам, горизонтальным и вертикальным связям,

$$K_{AB} = \prod_{i=1}^n K_{AB_i}, K_{ACF} = \prod_{i=1}^m K_{ACF_i}, K_{ACB} = \prod_{i=1}^{m-1} \prod_{j=i+1}^m K_{ACB_{i-j}}.$$

Коэффициент K_{AB} используется при разработке аппаратных средств (модулей) построения ОВС, а коэффициент K_{AC} позволяет оптимизировать процесс обменных взаимодействий между простыми задачами.

Степенью адекватности по связям характеризуется процесс организации максимального числа одновременных взаимодействий между различными модулями без использования промежуточных передаточных модулей. В результате минимизируется число циклов взаимодействия и время решения сложной задачи. Уменьшение значения K_{AC} приводит к нарушению оптимально разработанного плана организации взаимодействия и, как следствие, к увеличению времени решения сложной задачи.

Поскольку разработанная методика основана на математическом прогнозировании, рассмотрим ее математическую основу.

Математическая основа методики. Данная методика основана на правильном выборе соответствующих показателей, которые, с одной стороны, учитывают специфику функционирования ОВС в режиме отказоустойчивости, а с другой — адекватны постоянно усложняющейся топологической структуре ОВС.

Теоретическую основу методики составляет следующая теорема.

Теорема. Если реализуемая сложная задача является совокупностью взаимосвязанных простых задач, то в любой момент времени $t \geq 0$ состояние ОВС определяется не только вероятностью отказа или безотказной работы, но и вероятностью образования связанной подструктуры.

Доказательство. Пусть в ОВС, состоящей из $N = n^2$ взаимосвязанных модулей с топологией S , необходимо решить сложную задачу, состоящую из $M = m^2$ взаимосвязанных задач (вершин) со структурой S' (см. рисунок). При такой постановке для решения сложной задачи, состоящей из набора связанных задач в ОВС, состоящей из взаимосвязанных модулей, требуется выполнение следующих условий:

число взаимосвязанных задач в сложной задаче (вершин) M должно быть равно числу исправных модулей N_1 , т.е. $M = N_1$;

структура связи между задачами S' должна соответствовать топологии связей между исправными модулями S'' , т.е. $S' = S''$ ($S' \sim S''$).

Допустим, что в момент времени $t \geq 0$ в ОВС из N модулей исправны $N_1 = (N - k)$ и число исправных модулей равно числу задач (вершин), т.е. $N_1 = M$. Отказавшие $k = (N - N_1)$ модули распределены по ОВС так, что задачи из M вершин можно отобразить в ОВС, но такое отображение в процессе реализации (в динамике) не будет обеспечивать заданную структуру связи между простыми задачами, соответствующую структуре S' решаемой сложной задачи, т.е. $S' \neq S''$. Это означает, что данная задача со структурой S' не может быть решена, хотя вероятность безотказной работы в данном случае $P_{N, N-k}(t) > 0$, что и требовалось доказать.

Для оценки состояния ОВС на этапе планирования воспользуемся вероятностью реализации $P_k(r, S'', t)$, т.е. вероятностью того, что в момент времени $t \geq 0$ в ОВС из N модулей, объединенных в топологию S и находящихся в начальном состоянии k , может образоваться связанная подструктура из r модулей, объединенных в топологию S'' , которую представим в виде произведения двух независимых вероятностей: $P_k(r, S'', t) = P_{N, N-k}(t) P_r(S'')$, где $P_{N, N-k}(t)$ — вероятность того, что в любой момент времени $t \geq 0$ в ОВС из N модулей исправны N_1 ; $P_r(S'')$ — вероятность того, что из N_1 исправных модулей может быть образована связанная подструктура из r модулей с топологией S'' .

Рассмотрим полученные аналитические зависимости расчета вероятности $P_r(S'')$ для матричной и трехмерной топологии.

Матричная топология. В зависимости от класса реализуемой сложной задачи в качестве структуры модуля может быть выбрана прямоугольная структура $\mu(4, 4)$, гексагональная — $\mu(6, 6)$, октаэдральная — $\mu(8, 8)$ и (или) другие структуры с переменными направлениями приема (передачи), позволяющие построить универсальную топологию ОВС.

В ОВС с матричной топологией при использовании прямоугольной структуры $\mu(4, 4)$ каждый модуль имеет четыре связи с соседними модулями. Тогда минимальное число отказавших модулей в ОВС, состоящей из $N = n \cdot n$ модулей, при котором возникает блокировка, составляет $k_{\min} = \lceil N/m \rceil^2$. Максимальное число отказавших модулей в ОВС, при котором возможно образование только одной подструктуры $M = mn$, составляет $k_{\max} = N - r$. Если число отказавших модулей $k < k_{\min}$, то $P_r(S'') = 1$.

В процессе определения вероятности образования связанной подструктуры необходимо рассматривать два варианта.

В а р и а н т 1. $n/m < 2$. Число различных положений образуемой подструктуры $l = (n - m)$ и вероятность образования связанной подструктуры из r модулей определяется по формуле

$$P_r(S'') = \left[C_{N-r}^k + l \left(\sum_{a=1}^m C_m^a C_{N-r-m}^{k-a} + \sum_{a=1}^{m-l} C_{m-l}^a C_{N-r-m-l}^{k-a} \right) \right] / C_N^k.$$

В а р и а н т 2. $n/m \geq 2$. Для расчета вероятности $P_r(S^n)$ следует рассматривать два случая.

1. Число отказавших модулей $k < m$. Число различных положений образуемой подструктуры равно m , а число различных комбинаций размещения отказавших модулей по структуре при различных положениях образуемой подструктуры определяется как число сочетаний $m \sum_{a=k}^1 C_m^a C_{N-r-m}^{k-a}$.

Тогда получим

$$P_r(S^n) = \left(C_{N-r}^k + m \sum_{a=k}^1 C_m^a C_{N-r-m}^{k-a} \right) / C_N^k.$$

2. Число отказавших модулей $k \geq m$. Аналогично случаю 1 получим

$$P_r(S^n) = \left(C_{N-r}^k + m \sum_{a=k}^1 C_m^a C_{N-r-m}^{k-a} \right) / C_N^k.$$

Трехмерная топология может быть интерпретирована как горизонтальные или вертикальные взаимосвязанные матричные топологии (плоскости). В такой топологии каждый модуль $\mu(6,6)$ имеет непосредственную связь с шестью соседними модулями, где четыре из них находятся в одной плоскости, а каждый из двух модулей находится в соседней плоскости по вертикали с данной плоскостью. Минимальное число отказавших модулей в ОВС, состоящей из $N = nmm$ модулей, при котором возникает блокировка, составляет $k_{\min} = \lceil N/m \rceil^3$. Максимальное число отказавших модулей в ОВС, при котором возможно образование только одной подструктуры $r = mmm$ модулей, составляет $k_{\max} = N - r$. Если число отказавших модулей $k < k_{\min}$, то $P_r(S^n) = 1$.

Для определения вероятности образования связанной подструктуры, как и ранее, будем рассматривать два варианта.

В а р и а н т 1. $n/m < 2$. Число различных положений образуемой связанной подструктуры $l = (n-m)^2$ и вероятность образования связанной подструктуры из r модулей определяется так:

$$P_r(S^n) = \left\{ \left[C_{N-r}^k + l \left(\sum_{a=1}^q C_m^a C_{N-r-m}^{k-a} + \sum_{a=1}^{q-l} C_{m-l}^a C_{N-r-m-l}^{k-a} \right) \right] / C_N^k \right\}^2.$$

В а р и а н т 2. $n/m \geq 2$. Расчет вероятности $P_r(S^n)$ выполняем для двух случаев.

Вероятность безотказной работы		Вероятность образования связанной подструктуры		Вероятность решения сложной задачи		δ_1	δ_2
k	$N = 25$	$r = 9$	$r = 16$	$r = 9$	$r = 16$	$r = 9$	$r = 16$
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	1,00	0,96	0,64	0,96	0,64	1,04	1,56
2	1,00	0,75	0,26	0,75	0,27	1,33	3,89
3	1,00	0,53	0,08	0,53	0,08	1,89	12,5
4	1,00	0,34	0,02	0,34	0,02	2,90	50,0
5	0,80	0,21	0,01	0,17	0,01	4,74	100
6	0,73	0,12	0	0,09	0	8,23	∞
7	0,46	0,07	0	0,03	0	14,85	∞
8	0,37	0,01	0	0,01	0	100	∞
9	0,29	0	0	0	0	∞	∞

1. Число отказавших модулей $k < m$. Число различных положений образуемой подструктуры равно m^2 , а число различных комбинаций размещения отказавших модулей по ОВС при различных положениях образуемой подструктуры определяется как число сочетаний $\left(m \sum_{a=k}^1 C_m^a C_{N-r-m}^{k-a} \right)^2$.

Тогда запишем

$$P_r(S'') = \left[\left(C_{N-r}^k + m \sum_{a=k}^1 C_m^a C_{N-r-m}^{k-a} \right) / C_N^k \right]^2.$$

2. Число отказавших модулей $k \geq m$. Аналогично случаю 1 получим

$$P_r(S'') = \left[\left(C_{N-r}^k + m \sum_{a=m}^1 C_m^a C_{N-r-m}^{k-a} \right) / C_N^k \right]^2.$$

Для определения основных преимуществ разработанной методики перед известными [1, 4] проведен сравнительный анализ на основе введенного коэффициента точности $\delta = P_{N, N-k}(t) / P_k(r, S'', t)$. Результаты выполненных расчетов при $k = 0,9$ и $N = 25$ для матричной топологии ОВС приведены в таблице.

Процесс решения сложных задач, состоящих из набора взаимосвязанных простых задач, оценивается числом исправных модулей ОВС и связей между ними, т.е. топологией образуемой подструктуры на реализацию данной задачи.

Выводы

Разработанная методика моделирования и введенное понятие дополнительной вероятности образования связанной подструктуры позволяют оперативно оценивать процесс решения сложных задач в режиме реального времени и корректировать алгоритмы выполнения задач для обеспечения заданного пользователем директивного времени выполнения сложных задач с требуемой вероятностью.

В проблеме прогнозирования времени решения сложных задач, состоящих из набора взаимосвязанных простых задач (или фрагментов этих наборов) в ОВС, основной задачей является обеспечение структурной надежности с учетом связи между простыми задачами и топологией построения ОВС. Такой подход к проблеме прогнозирования отличает данное исследование от известных работ, посвященных решению этой проблемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания: Пер. с англ. /Под ред. В.И. Неймана. — М. : Машиностроение, 1979.
2. *Пупков К.А., Егунов Н.Д.* Методы классической и современной теории автоматического управления. В 5-ти томах. Т1. Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления. — М. : МГТУ им. Баумана, 2004.
3. *Управляющие вычислительные комплексы:* Под ред. Н.Л. Прохорова. — М. : Финансы и статистика, 2003.
4. *Теория сетей связи:* Учеб. для вузов связи /Рогинский В.Н., Харкевич А.Д., Шнепс М.А. и др.; Под ред. В.Н.Рогинского. — М. : Радио и связь, 1981.
5. *Мансуров Т.М.* Структурная надежность коммутационных полей цифровых систем автоматической коммутации//Ежемесячный научно-технический журнал по проводной и радиосвязи, телевидению, радиовещанию. — М. : Электросвязь, 2001. — № 5. — С. 45—46.
6. *Еврешинов Э.В., Хорошевский В.Г.* Однородные вычислительные системы. — Новосибирск: Наука, 1978.
7. *Еврешинов Э.В., Прангивили И.В.* Цифровые автоматы с настраиваемой структурой. — М. : Энергия, 1974.
8. *Коваленко И.Н.* Расчет вероятностных характеристик систем. — Киев: Техника, 1982.
9. *Коваленко И.Н.* Исследование по анализу надежности сложных систем. — Киев: Наук. думка, 1975.
10. *Еврешинов Э.В.* Однородные вычислительные системы, структуры и среды. — М. : Радио и связь, 1981.

T.M. Mansurov, I.M. Mammadov

TECHNIQUE OF SOLUTION OF COMPLEX PROBLEMS ON UNIFORM COMPUTING STRUCTURES

The technique of solution of complex problems, consisting of simple interconnected tasks, on uniform computing structures, based on mathematical (static) forecasting of a possibility of

solving complex problems for HCS taking into account structural and topological characteristics of the process of display is developed.

Key words: complex problem, uniformity, computing structure, planning, realization, mathematical model.

REFERENCES

1. Cleinrok, L. (1979), *Teoriya massovogo obsluzhivaniya* [Queueing system], Translated, Ed by Neiman, V.I., Mashinostroyeniye, Moscow, Russia.
2. Pupkov, K.A. and Yegupov, N.D. (2004), *Metody klassicheskoi i sovremennoi teorii avtomaticheskogo upravleniya. V 5 tomakh. T. 1. Matematicheskie modeli, dinamicheskie kharakteristiki i analiz sistem avtomaticheskogo upravleniya* [Methods of classical and modern theory of automatic control. In 5 volumes. Vol. 1. Mathematical models, dynamic characteristics and analysis of the systems of automatic control], Bauman MGTU, Moscow, Russia.
3. *Upravlyayushchie vychislitelnye komplekсы* [Controlling computing complexes] (2003), Ed by Prokhorov, N.L., Finansy i statistika, Moscow, Russia.
4. Roginsky, V.N., Kharkevich, A.D. and Shneps, M.A. (1981), *Teoriya setei svyazi: Uchebnik, pod red. V.N. Roginskogo* [Theory of communication network: Manual, Ed by Roginsky, V.N.], Radio i svyaz, Moscow, Russia.
5. Mansurov, T.M. (2001), "Struktural reliability of commutation fields of digital systems of automatic communication", *Yezhemesyachny nauchno-tekhnicheskyy zhurnal po provodnoi i radiosvyazi, televideniyu i radioveshchaniyu, Elektrosvyaz*, no. 5, pp. 45-46.
6. Yevreinov, E.V. and Khoroshevskiy, V.G. (1978), *Odnorodnyye vychislitelnye sistemy* [Homogeneous computing systems], Nauka, Novosibirsk, Russia.
7. Yevreinov, E.V. and Prangshvili, I.V. (1974), *Tsifrovyye avtomaty s nastraivaemoy strukturoi* [Digital automata with adjustable structure], Energiya, Moscow, Russia.
8. Kovalenko, I.N. (1982), *Raschet veroyatnostnykh kharakteristik sistem* [Calculation of probability characteristics of systems], Tekhnika, Kiev, Ukraine.
9. Kovalenko I.N. (1975), *Issledovanie po analizu nadezhnosti slozhnykh sistem* [Investigation on analysis of reliability of complex systems], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
10. Yevreinov, E.V. (1981), *Odnorodnyye vychislitelnye sistemy i sredi* [Homogeneous computing systems and media], Radio i svyaz, Moscow, Russia.

Поступила 08.10.14

МАНСУРОВ Тофиг Магомед оглы, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Многоканальные телекоммуникационные системы» Азербайджанского технического университета. В 1977 г. окончил Московский электротехнический ин-т связи (ныне Московский технический университет связи и информатики). Область научных исследований — организация и управление параллельными вычислениями на однородных вычислительных системах, структурах и средах.

МАМЕДОВ Ильтимас Ахмед оглы, первый зам. министра связи и высоких технологий Азербайджанской республики, канд. техн. наук, доцент кафедры «Системы коммутации и почтовая связь» Азербайджанского технического университета. В 1989 г. окончил Азербайджанский политехнический ин-т (ныне Азербайджанский технический университет). Область научных исследований — повышение эффективности передачи линейных сигналов на телекоммуникационных сетях нового поколения.

