

## МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННУЮ СИСТЕМУ

Басыров А.Г.<sup>1</sup>, Швецов А.С.<sup>1</sup>, Ширококов В.В.<sup>1</sup>, Шушаков А.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Кафедра информационно-вычислительных систем и сетей Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197182, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), e-mail: 17126vlad@gmail.com*

Одним из основных способов обеспечения надежности и живучести современных информационно-телекоммуникационных систем является реализация различных способов резервирования. Однако в случае применения структурного резервирования, ресурсы вычислительных модулей, входящих в состав информационно-телекоммуникационных систем, в связи с неполной рабочей нагрузкой, как правило, используются нерационально. В статье рассмотрен подход к обеспечению надежности и живучести информационно-телекоммуникационных систем на основе функционального способа резервирования. Предложенная модель, учитывающая ресурсно-временные характеристики целевых задач и ресурсно-временные состояния вычислительных модулей, позволяет получить аналитические соотношения для оценивания живучести информационно-телекоммуникационных систем, а также времени выполнения целевых задач в условиях деградации вычислительной структуры при реализации различных способов загрузки вычислительных модулей.

Ключевые слова: информационно-телекоммуникационная система, дестабилизирующие воздействия, деградация вычислительной структуры, живучесть.

## MODEL DISTRIBUTED INFORMATION PROCESSING IN CONDITIONS OF DESTABILIZING FACTORS IN THE INFORMATION-TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Basyrov A.G.<sup>1</sup>, Shvetsov A.S.<sup>1</sup>, Shirobokov V.V.<sup>1</sup>, Shushakov A.O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*The chair of information systems and networks, Military Space Academy after Mozhaisky (197182, Russia, St. Petersburg, street Zhdanovskaja, 13), e-mail: 17126vlad@gmail.com*

One of the main ways of ensuring reliability and survivability of modern information and telecommunication systems is realization of various ways of reservation. However in case of application of structural reservation, resources of the computing modules which are a part of information and telecommunication systems in connection with incomplete working loading are, as a rule, used irrationally. In article approach to ensuring reliability and survivability of information and telecommunication systems on the basis of a functional way of reservation is considered. The offered model considering resource and time characteristics of target tasks and resource and time conditions of computing modules allows to receive analytical ratios for estimation of survivability of information and telecommunication systems, and also time of performance of target tasks in the conditions of degradation of computing structure at realization of various ways of loading of computing modules.

Keywords: information and telecommunication system, the destabilizing influences, degradation of computing structure, survivability.

Одним из основных способов обеспечения надежности и живучести [6,4] современных информационно-вычислительных телекоммуникационных систем (ИТКС) является реализация различных способов резервирования [6,3]. Однако в случае применения структурного резервирования, ресурсы вычислительных модулей (ВМ), входящих в состав ИТКС, в связи с неполной рабочей нагрузкой, как правило, используются нерационально. В статье рассмотрен подход к обеспечению надежности и живучести ИТКС на основе функционального способа резервирования. Предложенная модель, учитывающая ресурсно-временные характеристики целевых задач и ресурсно-временные состояния ВМ, позволяет получить аналитические соотношения для оценивания живучести ИТКС, а также времени

выполнения целевых задач в условиях деградации вычислительной структуры при реализации различных способов загрузки ВМ.

### Модель распределенной обработки информации

Обойти вышеуказанный недостаток позволяет реализация функционального резервирования за счет внедрения технологий параллельных вычислений[1] и средств виртуализации, позволяющих обеспечить эффективное использование и гибкое управление вычислительными ресурсами ВМ, а также быстрое восстановление вычислительного процесса благодаря надёжной системе резервного копирования и возможности «миграции» виртуальных сред между ВМ целиком без перерывов в обслуживании.

При этом реализация функционального резервирования обеспечивается посредством выполнения резервных копий заданий в виртуальной среде каждого из ВМ, участвующего в параллельном вычислительном процессе (ПВП).

Пример реализации данного подхода для однородной системы, включающей три ВМ, выполняющих три целевых задания  $z_m, m=1, 2, 3$ , представлен на рисунке 1.

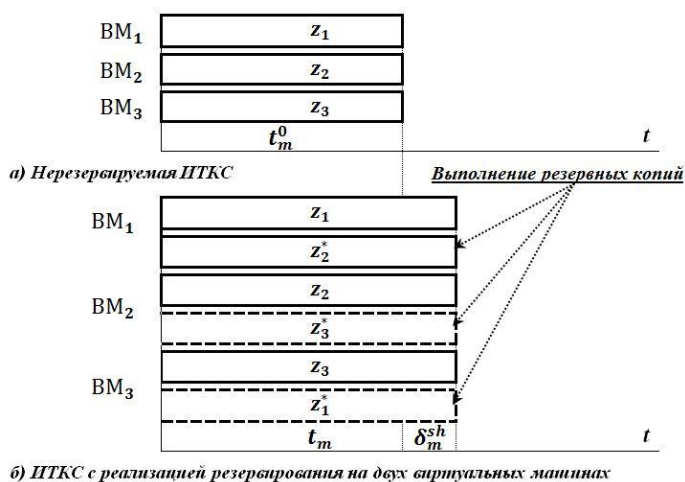


Рис.1. Пример реализации функциональной избыточности для ИТКС из трех ВМ

Однако, в связи ограниченностью вычислительного ресурса  $r_j^{pr}$   $j$ -го ВМ, параллельное выполнение  $K$  целевых задач на виртуальных машинах может привести к увеличению времени  $t_m$  их выполнения, определяемого из соотношения:

$$t_m = \begin{cases} t_m^0, & r_{jk}^m = r_m^0 \\ t_m^0 * \frac{r_m^0}{r_{jk}^m}, & r_{jk}^m < r_m^0 \end{cases} \quad (1)$$

при условии:  $\sum_{k=1}^K r_{jk}^m \leq r_j^{pr}$ ,

где  $K$  – количество разворачиваемых виртуальных машин;

$r_m^0$  – вычислительный ресурс ВМ, требуемый для выполнения  $m$ -го задания  
 заноминальное время;

$t_m^0$  – номинальное время выполнения  $m$ -го задания (при условии предоставления вычислительного ресурса  $r_m^0$ );

$r_{jk}^m$  – вычислительный ресурс  $j$ -го ВМ, выделяемый  $k$ -ой виртуальной машине для выполнения  $m$ -го задания.

Временное смещение завершения выполнения  $m$ -го задания относительно номинального времени, возникающее при организации резервирования с реализацией  $K$  виртуальных машин, можно оценить функцией штрафа  $\delta_m^{sh}$  определяемой из соотношения:

$$\delta_m^{sh}(K, r_{jk}^m) = t_m - t_m^0 = t_m^0 (r_m^0 / r_{jk}^m - 1), \quad (2)$$

где  $j = \overline{1, N}; K = \overline{1, N}; k = \overline{1, K}$ .

Общий вид зависимости показателя функции штрафа  $\delta_m^{sh}$  от количества  $K$  виртуальных машин, обеспечивающих резервирование, представлен на рисунке 2.

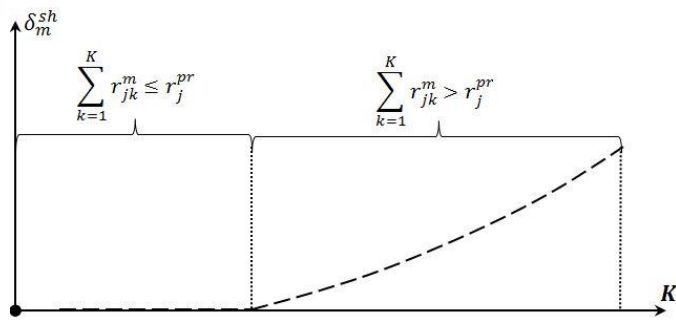


Рис.2 . Общий вид зависимости показателя функции штрафа от количества виртуальных машин

Вместе с тем реализация рассматриваемого подхода позволяет обеспечить сокращение временных потерь  $\delta_m^V$ , обусловленных естественной или вынужденной деградацией вычислительной структуры, за счет оперативного переключения для вывода результатов выполнения  $m$ -го задания с исправных вычислительных модулей. Общий вид зависимости временных потерь  $\delta_m^V$  от количества  $V$  отказавших в результате воздействия дестабилизирующих факторов ВМ представлен на рисунке 3.

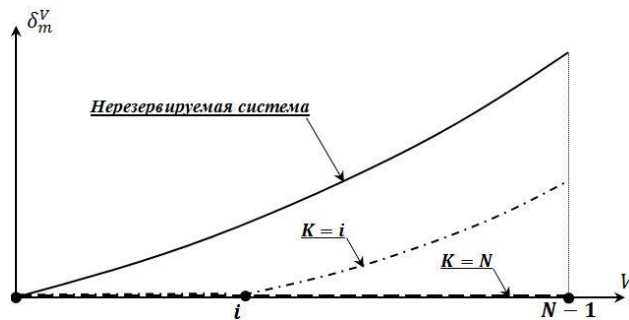


Рис.3 . Общий вид зависимости временных потерь от количества отказавших ВМ

При формальном описании воздействия дестабилизирующих факторов используется модель точечного воздействия[5], которая в связи с учетом ресурсно-временных состояний ВМ, позволяет учесть момент времени воздействия и показатели деградации, характеризующие снижение производительности ВМ.

Таким образом, время выполнения  $m$ -го задания в условиях деградации резервируемой на  $K$  виртуальных машинах вычислительной структуры можно записать в виде:

$$t_m(K, r_{jk}^m) = t_m^0 + \min_{\substack{K=1, N \\ j=1, N \\ k=1, K}} [\delta_m^{sh}(K, r_{jk}^m) + \delta_m^V(K, r_{jk}^m)]. \quad (3)$$

На рисунке 4 представлен пример графа алгоритма выполнения целевой задачи и его реализации на трех ВМ в виде временной диаграммы.

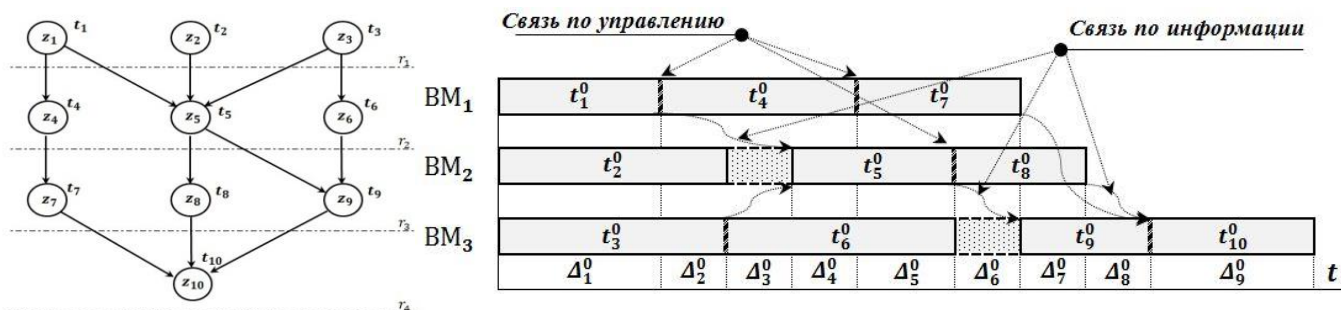


Рис.4. Пример алгоритма выполнения целевой задачи и его реализации на трех ВМ

Учитывая множественность показателей  $r_j^{pr}$  вычислительных ресурсов ВМ, ресурсоемкостей  $r_m^0$  выполняемых заданий, а также фактора неопределенности в описании воздействующей среды, необходимо использование последовательного, динамического планирования вычислительного процесса на каждом из интервалов  $\Delta_i^0$  (в дальнейшем – интервалов планирования ПВП).

Время  $T_M^0$  выполнения целевой задачи в этом случае можно записать в виде:

$$T_M^0 = \sum_{i=1}^L \Delta_i^0, \quad (4)$$

где  $\Delta_i^0 = \max_{m=1, N} \{t_m^i\}$ ,

$t_m^i$  – время выполнения фрагмента  $m$ -го задания на  $i$ -ом интервале.

Тогда модель вычислительного процесса в условиях деградации резервируемой вычислительной структуры, можно представить в виде:

$$\begin{cases} G = \frac{\Delta_l^0}{\Delta_l^*}; \\ T_M^* = \sum_l \Delta_l^*; \\ \sum_k r_{jk}^m \leq r_j^{pr} \quad \forall j = \overline{1, N}; \end{cases} \quad (5)$$

где 
$$\Delta_l^* = \max_{m=\overline{1, N}} \left\{ \Delta_l^0 + \min_{\substack{K=\overline{1, N} \\ j=\overline{1, N} \\ k=\overline{1, R}}} [\delta_m^{sh}(K, r_{jk}^m) + \delta_m^V(K, r_{jk}^m)] \right\}. \quad (6)$$

Выходными величинами, формируемыми моделью, будут условная функция  $G$  живучести [2] на каждом из  $L$  интервалов планирования загрузки и время  $T_M^*$  завершения выполнения целевой задачи. Из представленной модели видно, что максимизация значения  $G$  и минимизация  $T_M^*$ , может быть реализована за счет выбора рациональных управляющих воздействий, обеспечивающих минимальные значения  $\Delta_l^*$ . При этом необходимо учитывать, что функции  $\delta_m^{sh}$  и  $\delta_m^V$ , входящие в (6) по параметрам  $K$  и  $r_{jk}^m$  являются неубывающей и невозрастающей, соответственно.

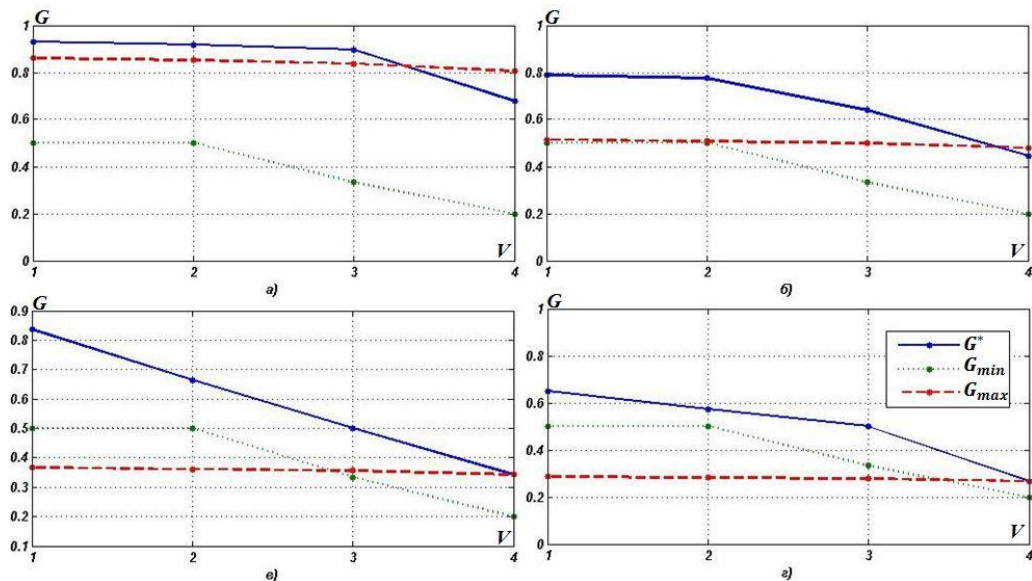


Рис.5. Зависимости значений математических ожиданий показателей  $G^*$ ,  $G_{min}$  и  $G_{max}$  от количества  $V$  отказавших ВМ

При проведении имитационного моделирования для системы, состоящей из  $N = 5$  ВМ, производился расчет значений математических ожиданий условной функции  $G$  живучести при отказе  $V = \overline{1, 4}$  ВМ для случаев реализации:

резервирования с максимальной ( $K = N$ ) кратностью ( $G_{max}$ );

нерезервируемой ( $K = 1$ ) системы с возможностью перепланирования ПВП ( $G_{min}$ );

выбора рационального количества виртуальных машин и способа распределения рабочей нагрузки при организации резервирования ( $G^*$ ).

Зависимости значений математических ожиданий показателей функций  $G^*$ ,  $G_{min}$  и  $G_{max}$  от количества отказавших ВМ представлены на рисунке 7 (7а – при  $\sigma_{pr} = [0,15; 0,3]$ , 7б – при  $\sigma_{pr} = [0,3; 0,45]$ , 7в – при  $\sigma_{pr} = [0,45; 0,6]$ , 7г – при  $\sigma_{pr} = [0,6; 0,75]$ ),

где  $\sigma_{pr} = \frac{\sum_M r_m^0}{\sum_N r_j^{pr}}$  – среднее значение коэффициента загрузки ВМ. (7)

### Заключение

Анализ полученных результатов (рис. 5) позволяет сделать вывод о возможности использования предложенной модели для оценивания живучести ИТКС, функционирующей в условиях воздействия дестабилизирующих факторов, а также ее повышения посредством выбора рационального количества виртуальных машин и способа распределения рабочей нагрузки ВМ при реализации функционального резервирования.

Рассмотренный подход может быть применен при проектировании аппаратно-программных средств ИТКС специального назначения для обоснования тактико-технических характеристик распределенных информационно-вычислительных систем.

### Список литературы

1. Барский А.Б. Параллельные процессы в вычислительных системах. Планирование и организация. – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.
2. Додонов А.Г., Ландэ Д.В. Живучесть информационных систем. – К.: Наук.думка, 2011. – 256 с.
3. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
4. Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 520 с.
5. Черкесов Г.Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем. – М.: Знание, 1987 г.
6. Шушаков А.О. Модель организации распределенных вычислений в условиях деградации вычислительной структуры // Современные проблемы науки и образования. – 2013. - №5; URL: <http://www.science-education.ru/111-10356>.

**Рецензенты:**

Горбулин В.И., д.т.н., профессор, профессор кафедры бортового электрооборудования и энергетических систем летательных аппаратов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург;

Хомоненко А.Д., д.т.н., профессор, профессор кафедры математического и программного обеспечения Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург.