

# Решение прямой и обратной задачи надежности применительно к базовым структурным компонентам GRID –систем

В.Е. Гвоздев

Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: wega55@mail.ru

Д.Р. Ахметова

Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: dinara.akhmetova.92@gmail.com

Д.В. Блинова

Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: blinova.darya@gmail.com

Р.А. Насырова

Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: nasyrova.rima@yandex.ru

## Аннотация

*GRID*-системы являются одним из перспективных направлений развития распределенных инфо-коммуникационных систем, предназначенных для решения широкого класса задач в рамках создания искусственного интеллекта.

В настоящей работе описывается подход к построению модели надежности базовых топологических структур на основе параллельно-последовательных схем анализа надежности. Предлагаются подходы к решению прямой задачи, а именно количественной оценке надежности компонентов базовых топологических структур, исходя из требований к надежности всей компоненты. Также рассмотрена обратная задача надежности: определение требований к статистическим характеристикам надежности элементов при заданных требованиях к надежности типовых структурных компонентов *GRID* –систем.

## 1. Введение

*GRID*-системы являются одним из перспективных направлений развития распределенных инфо-коммуникационных систем, предназначенных для решения широкого класса задач в рамках создания искусственного интеллекта.

в (компьютеров, рабочих станций) и ребер (каналов связи). При этом исходят из того, что базовым топологическим архитектурам *GRID*-сетей соответствуют топологии: линейная; звезда; кольцевая, полная ячеистая [1].

В настоящей работе описывается подход к построению модели надежности базовых топологических структур на основе параллельно-последовательных схем анализа надежности. Предлагаются подходы к решению прямой задачи: количественной оценки надежности компонентов базовых топологических структур, на основе данных надежности компонентов и содержания понятия «отказ системы». Также рассмотрена обратная задача надежности: определение требований к статистическим характеристикам надежности элементов при интервальных оценках требований к надежности типовых структурных компонентов *GRID*-систем.

При решении задач надежности системы и ее элементов были рассмотрены три базовые топологические структуры: линейная, звезда и кольцевая. Полная ячеистая топология *GRID*-систем не рассмотрена, так как ее реализация на практике в большинстве ситуаций непрактична, а в некоторых случаях невозможна.

---

Труды шестой Всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 28 - 31 мая, Уфа-Ставрополь, Россия, 2018

## 2. Оценивание надежности базовых топологических структур в зависимости от содержания понятия «безотказной работы системы»

В зависимости от содержания понятия «безотказной работы системы» были выделены три способа оценивания надежности системы.

1) Оценка надежности по критерию наличия связи между любыми двумя узлами сети

В соответствии с данной трактовкой построены последовательно-параллельные схемы для оценки

надежности линейной, кольцевой топологии, топологии «звезда», состоящих из 4 узлов (всем блокам на приведенных структурно-логических схемах соответствует одно и то же значение вероятности  $p$ ).

Получены соотношения для расчета надежности работы системы и ее элементов, где  $P_{сист}$  - вероятность безотказной работы системы;  $p_T$  - вероятность безотказной работы терминатора;  $p_M$  - вероятность безотказной работы магистрали;  $p_H$  - вероятность безотказной работы концентратора;  $p$  - вероятность безотказной работы узла системы.

Таблица 1.

Структурно-логические схемы и соотношения надежности работы системы и элементов для базовых топологических структур

Тип топологии	Структурно-логическая схема	Соотношение для расчета надежности работы системы	Соотношение для расчета надежности работы элементов
Линейная		$P_{сист} = p_T^2 * p_M * (1 - (1 - p^2)^6)$	$p_T = \sqrt[4]{P_{сист}}$ $p_M = \sqrt[4]{P_{сист}}$ $p = \sqrt[2]{1 - \sqrt[6]{1 - \sqrt[4]{P_{сист}}}}$
«Звезда»		$P_{сист} = p_H * (1 - (1 - p^2 * p_M^2)^6)$	$p_H = \sqrt{P_{сист}}$ $p_M = \sqrt[4]{1 - \sqrt[6]{1 - \sqrt[4]{P_{сист}}}}$ $p = \sqrt[4]{1 - \sqrt[6]{1 - \sqrt[4]{P_{сист}}}}$
Кольцо		$P_{сист} = p^4 * p_M^4$	$p_M = \sqrt[8]{P_{сист}}$ $p = \sqrt[8]{P_{сист}}$

2) Оценка надежности по критерию наличия связи между двумя конкретными узлами сети

Построенные в соответствии с данной трактовкой последовательно-параллельные схемы для оценки надежности представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Структурно-логические схемы и соотношения надежности работы системы и элементов для базовых топологических структур

Тип топологии	Структурно-логическая схема	Соотношение для расчета надежности работы системы	Соотношение для расчета надежности работы элементов
Линейная		$P_{сист} = p_m^2 * p_m * p^2$	$p_m = \sqrt[5]{P_{сист}}$ $p = \sqrt[5]{P_{сист}}$
«Звезда»		$P_{сист} = p_n * p^2 * p_m^2$	$p_m = \sqrt[5]{P_{сист}}$ $p = \sqrt[5]{P_{сист}}$
Кольцо		$P_{сист} = p^4 * p_m^4$	$p_m = \sqrt[8]{P_{сист}}$ $p = \sqrt[8]{P_{сист}}$

3) Оценка надежности по критерию доступности каждого узла системы

Последовательно-параллельные схемы для оценки надежности безотказной работы системы представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Структурно-логические схемы и соотношения надежности работы системы и элементов для базовых топологических структур

Тип топологии	Структурно-логическая схема	Соотношение для расчета надежности работы системы	Соотношение для расчета надежности работы элементов
Линейная		$P_{сист} = p_m^2 * p_m * p^4$	$p_m = \sqrt[7]{P_{сист}}$ $p = \sqrt[7]{P_{сист}}$
«Звезда»		$P_{сист} = p_n * p^4 * p_m^4$	$p_m = \sqrt[9]{P_{сист}}$ $p = \sqrt[9]{P_{сист}}$
Кольцо		$P_{сист} = p^4 * p_m^4$	$p_m = \sqrt[8]{P_{сист}}$ $p = \sqrt[8]{P_{сист}}$

### 3. Определение требований к статистическим характеристикам надежности составляющих их элементов

Исходя из требований к надежности системы в целом, необходимо определить требования к характеристикам надежности комплектующих элементов. Основу решения этой задачи в случае, если имеют место точечные оценки характеристик

надежности, составляет концепция равнопрочности элементов и соотношения, связывающие надежность системы с надежностью комплектующих элементов, учитывая особенности параллельно-последовательной логической схемы. Однако в литературе не рассмотрен случай распределения требований к надежности комплектующих элементов, когда характеристики надежности представлены интервальными оценками параметров.

Решение прямой и обратной задачи надежности применительно к базовым структурным компонентам GRID – систем

В случае если заданы интервальные оценки статистических характеристик системы, необходимо, исходя из этого, сформировать требования к статистическим характеристикам ее элементов. При равномерном распределении надежности системы, в зависимости от вида структурно-логической схемы, требования к статистическим характеристикам элементов будут различаться.

Рассмотрим простейший пример. Пусть имеются два равнонадежных элемента, которые:

а) соединены последовательно;

б) соединены параллельно.

Если оценка надежности системы задана точно, то решение задачи основывается на использовании аналитических соотношений. При последовательном соединении вероятность безотказной работы элементов рассчитывается по формуле:  $p_{эл} = \sqrt{P_{сист}}$ , а вероятность безотказной работы элементов при параллельном соединении:  $p_{эл} = 1 - \sqrt{1 - P_{сист}}$ .

Однако в случае интервальных оценок надежности такой подход не допустим, и основу исследования статистических характеристик составляет вычислительный эксперимент (таблица 4), результаты которого представлены на рис. 1.

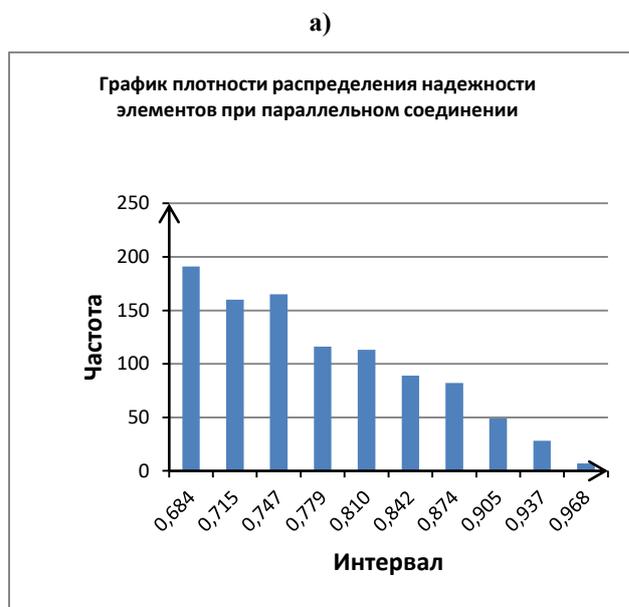


Рис. 1 Гистограммы плотности распределения надежности элементов

Допустим, что оценка надежности системы задана интервалом [0,9; 1), тогда:

1. Границы интервалов надежности элементов системы:

В первом варианте [0,949;1), т.е. границы сужаются относительно интервала надежности системы.

Во втором варианте [0,648;1), границы расширяются относительно интервала надежности системы.

2. При последовательном соединении наблюдается отрицательная асимметрия (рис. 1, (а)), а в случае параллельного соединения – положительная (рис. 1, (б)).

Таблица 4

Статистические моменты распределений, соответствующих разным типам соединений

Тип соединения элементов	М	СКО	As	Ex
последовательное	0,975	0,053	-0,649	-0,512
параллельное	0,788	0,061	0,647	-0,357

Где М – математическое ожидание;

СКО – среднеквадратическое отклонение;

As – асимметрия;

Ex – эксцесс.

Далее перейдем к базовым структурам GRID-систем. Пусть определение понятия «безотказной работы системы» формулируется следующим образом: система работоспособна, если хотя бы два узла системы могут обмениваться ресурсами, а оценка надежности системы задана интервалом [0,9; 1) и все элементы в системе равнонадежны. Аналогичный эксперимент был проведен для линейной топологии и топологии «звезда», состоящих из четырех узлов (таблица 5).

Таблица 5

Статистические моменты распределений, соответствующих разным типам топологий

Тип топологии	M	СКО	As	Ex
линейная	0,716	0,040	1,106	1,341
«звезда»	0,829	0,024	0,928	0,447

Тогда плотность распределения надежности элементов для линейной топологии примет вид, представленный на рис. 2.

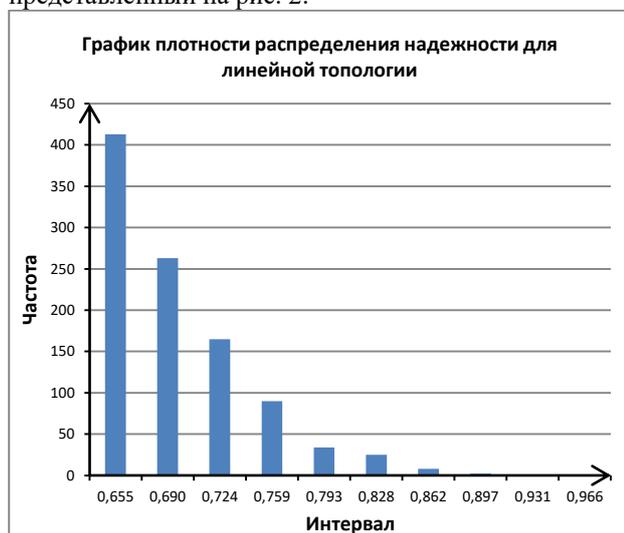


Рис. 2 Плотность распределения надежности элементов для линейной топологии

Плотность распределения надежности элементов для топологии «звезда» представлена на рис. 3.

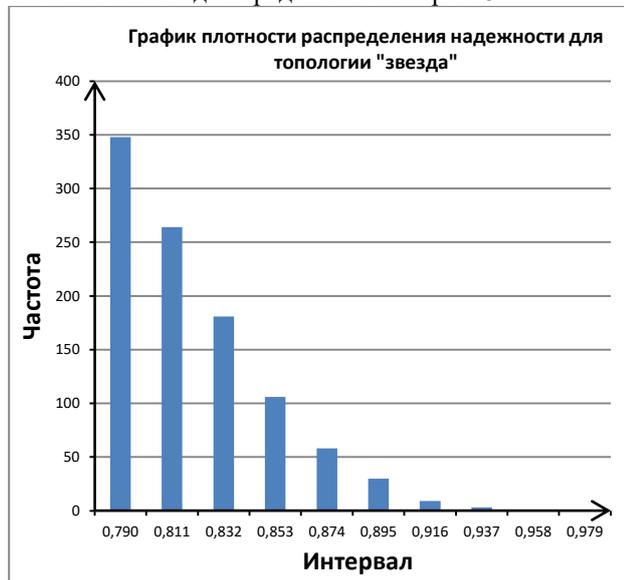


Рис. 3 Плотность распределения надежности элементов для топологии «звезда»

В обоих случаях наблюдается расширение границ интервалов надежности элементов относительно интервалов надежности системы и положительная асимметрия.

Решение прямой и обратной задачи надежности применительно к базовым структурным компонентам GRID – систем

## 4. Заключение

В зависимости от трактовки понятия «безотказная работа системы» различаются результаты построения параллельно-последовательных схем, что, в свою очередь, приводит к получению различных расчетных формул оценки надежности базовых топологических структур и различному влиянию надежности элементов на надежность агрегата.

В случае работы с интервальными оценками оказывается, что статистические свойства элементов существенно отличаются, например, в случае последовательного соединения асимметрия отрицательная, параллельного – положительная. Учет интервальных оценок надежности выражается в различных требованиях к статистическим характеристикам надежности комплектующих элементов.

## Acknowledgments (благодарности)

Поддержана грантом 16-08-00442 Управление функциональной безопасностью аппаратно-программных комплексов в составе сложных технических систем.

## Список используемых источников

1. Тимофеев А.В. Адаптивное управление и интеллектуальный анализ информационных потоков в компьютерных сетях. – М: "Анатолия". 2016. – 280 с.
2. Липаев В.В. Функциональная безопасность программных средств. – М.: СИНТЕГ. 2004. – 348 с.
3. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. – М.: Мир, 1980. - 604 с.
4. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. М: "Энергия". 1977. – 536 с.
5. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные термины и определения.
6. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. Учебное пособие [Текст] / Г.Н. Черкесов. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
7. А. В. Тимофеев, Д. П. Димитриченко, Многокритериальная оценка сетевых топологических структур для моделирования и проектирования GRID-систем, Тр. СПИИРАН, 2009, выпуск 11, 193–212
8. Хелеби С., Мак-Ферсон Д. Принципы маршрутизации в Internet. 2-е издание. – М.: Издательский дом «Вильемс», 2003.
9. Уолрейд Дж. Телекоммуникационные компьютерные сети. Вводный курс. – М.: Постмаркс, 2001.
10. D. Needham and S. Jones, A Software Fault Tree Metric, Proceedings of the International Conference

- on Software Maintenance (ICSM 2006), Philadelphia, PA, 25-27 Sept 2006. pp. 401-410.
11. Зарубин, В.С. Математическое моделирование в технике: Учеб. для вузов / В. С. Зарубин. М.: МГТУи м. Н.Э.Баумана, 2001. 496 с.
  12. Норенков, И.П. Системы автоматизированного проектирования. Кн. 1. Принципы построения и структура. / И. П. Норенков. М.: Высшая школа, 1986. 127 с.
  13. Тунаков, А.П. Применение методов оптимизации при доводке и проектировании газотурбинных двигателей / А. П. Тунаков. М.: Машиностроение, 1979. 184 с.
  14. Гвоздев В.Е., Блинова Д.В., Ахметова Д.Р., Насырова Р.А. Сравнительный анализ базовых фрактальных архитектур по признаку устойчивости к отказам компонентов // XIX Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, Россия, 12-15 сентября 2017 г., (ПУМСС-2017), стр. 91-95
  15. Foster I., Kesselman C. and Tuecke S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations // International Journal of High Performance Computing Applications. – 2001. – № 15 (3). – P. 200-222.
  16. Филамофитский М.П. Система поддержки метакомпьютерных расчетов X-Com: архитектура и технология работы // Вычислительные методы и программирование. – 2004. – Т. 5. – С. 123-137.
  17. Foster C., Kesselman J., Nick S. Tuecke S. The Physiology of the Grid: An Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration., Open Grid Service Infrastructure WG, Global Grid Forum, June 22, 2002 Metropolis N. et al. Equation of state calculations by fast computing. Machines // J.Chem.Phys. – 1953. – Vol. 21.
  18. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Проблемы интеллектуального управления мультиробототехническими системами // Мехатроника, автоматизация, управление (МАУ-2009): Материалы Междунар. науч.-техн. конф. Т. 2. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 190-194.
  19. Czajkowski K., Ferguson D., Foster I., Frey J., Graham S., Maguire T., Snelling D., Tuecke S. «From Open Grid Services Infrastructure to WSResource Framework: Refactoring & Evolution» [http://www.globus.org/wsrfspecs/ogsi\\_to\\_wsrfspecs\\_1.0.pdf](http://www.globus.org/wsrfspecs/ogsi_to_wsrfspecs_1.0.pdf)
  20. L. Ferreira и др. “Introduction to Grid Computing with Globus”, IBM Redbooks, <http://www.redbooks.ibm.com/abstracts/sg246895.html>
  21. Портал семантического грида (Semantic Grid Community Portal): <http://www.semanticgrid.org/>
  22. Инструментарий Globus Toolkit – <http://www.globus.org>.
  23. Система Condor – <http://www.cs.wisc.edu/condor>.