

В. А. БОГАТЫРЕВ, А. В. БОГАТЫРЕВ

## УТОЧНЕННАЯ ГРАНИЧНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СТРУКТУРНО СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ПРИ КОМПОЗИЦИИ МЕТОДОВ ЭЗАРИ — ПРОШАНА И ЛИТВАКА — УШАКОВА

Предложен вариант уточнения граничной приближенной оценки надежности структурно-сложных систем на основе комбинации нижних и верхних приближений Эзари — Прошана и Литвака — Ушакова.

**Ключевые слова:** граничное приближение, надежность, минимальные пути, минимальные сечения, приближение Эзари — Прошана, приближение Литвака — Ушакова.

При оценке надежности сложных систем, структурная модель которых не сводится к параллельно-последовательному соединению элементов, эффективным является использование граничных приближений по методам Эзари — Прошана [1—3] и Литвака — Ушакова [2—4].

Известно, что для высоконадежных систем большую точность дает приближение Эзари — Прошана, а для менее надежных систем — приближение Литвака — Ушакова [2—4]. При этом погрешность верхнего и нижнего приближений определяется по их разности с точной оценкой надежности систем. Если точная оценка надежности системы неизвестна (а именно в этом случае используются граничные приближения), то для метода Эзари — Прошана погрешность нижнего приближения по методу минимальных сечений может быть вычислена как разность с его верхним приближением по методу минимальных путей. Аналогично погрешность нижнего приближения Литвака — Ушакова по минимальным путям определяется как разность с его верхним приближением по минимальным сечениям. Такая оценка погрешности является пессимистической и имеет низкую точность.

Цель исследований, описываемых в настоящей статье, — уточнение граничной оценки надежности структурно сложных систем и определение ее погрешности на основе комбинации приближений Эзари — Прошана и Литвака — Ушакова.

Уточнение граничной приближенной оценки надежности предполагает определение нижних и верхних границ на основе известных методов Эзари — Прошана и Литвака — Ушакова с выбором варианта нижнего приближения  $RT$ , обеспечивающего большее значение надежности, и верхнего приближения  $Y$ , дающего ее меньшее значение:

$$RT = \begin{cases} LP, & \text{если } ES \leq LP; \\ ES, & \text{если } ES > LP; \end{cases} \quad Y = \begin{cases} EP, & \text{если } EP \leq LS; \\ LS, & \text{если } EP > LS, \end{cases}$$

где  $LP$  — приближение Литвака — Ушакова по минимальным путям;  $ES$  — приближение Эзари — Прошана по минимальным сечениям;  $EP$  — приближение Эзари — Прошана по минимальным путям;  $LS$  — приближение Литвака — Ушакова по минимальным сечениям.

Погрешность нижнего приближения для комбинированного метода Эзари — Прошана и Литвака — Ушакова оценивается по разности  $DB = Y - RT$ .

Отличие уточненного граничного приближения при композиции данных методов состоит в том, что при нижней оценке Эзари — Прошана в качестве верхней оценки может использоваться приближение Литвака — Ушакова. Соответственно для нижней границы Литвака — Ушакова верхняя граница может быть приближением Эзари — Прошана.

Для примера проанализируем надежность мостиковой схемы, в которой минимальные пути и сечения представлены множествами:  $A = \{\{1,2\}, \{3,4\}, \{1,5,4\}, \{2,5,3\}\}$  и  $B = \{\{1,3\}, \{2,4\}, \{1,5,4\}, \{2,5,3\}\}$  (см. работы [2—4]).

При равной надежности элементов схемы [2—4]

$$EP = 1 - (1 - p^2)^2 (1 - p^3)^2,$$

$$ES = 1 - (1 - q^2)^2 (1 - q^3)^2,$$

$$LP = \max \{1 - (1 - p^2)^2, p^3\},$$

$$LS = \min \{1 - (1 - q^2), (1 - q^3)\},$$

где  $p = \exp(-\lambda t)$ ,  $q = 1 - p$ ,  $\lambda$  — интенсивность отказов элемента.

Результаты расчетов вероятности безотказной работы системы ( $P$ ) в зависимости от времени наработки ( $t$ ) при  $\lambda = 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$  представлены на рис. 1—3. Верхние и нижние границы вероятности  $P$  по приближению Эзари — Прошана, а также их разность (верхняя граница погрешности) представлены кривыми EP, ES и DE, а по приближению Литвака — Ушакова — кривыми LS, LP и DL. Верхняя граница погрешности по уточненной оценке комбинированного метода Эзари — Прошана и Литвака — Ушакова представлена кривой LS—ES на рис. 1 и кривой EP—LP на рис. 2.

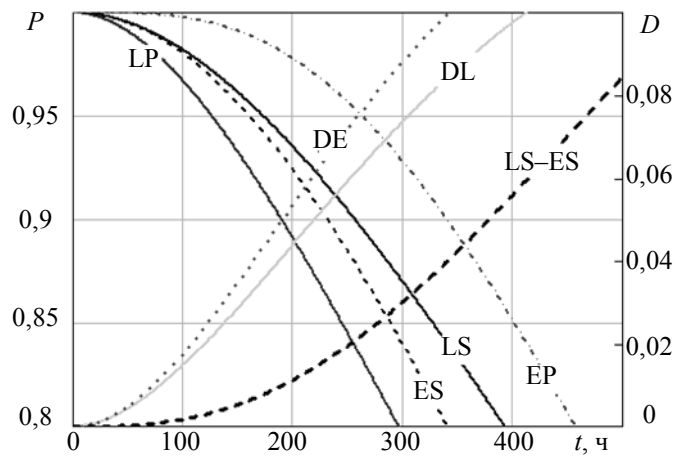


Рис. 1

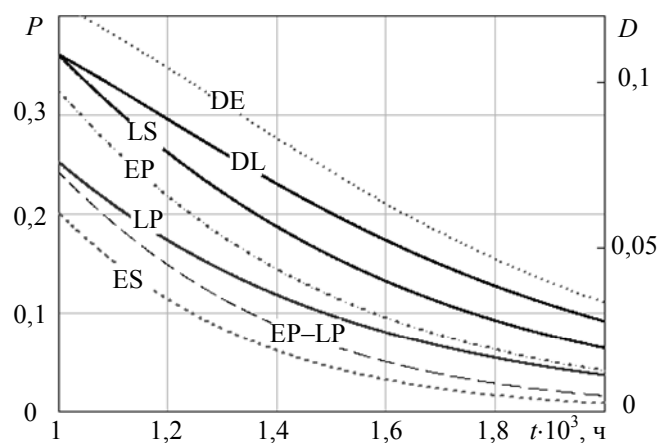


Рис. 2

Как видно из рис. 1, в качестве нижнего приближения для высоконадежных элементов (при малой наработке) целесообразно использовать метод Эзари — Прошана по минимальным сечениям ES, а в качестве верхнего приближения — метод Литвака — Ушакова по минимальным сечениям LS. Для менее надежных элементов (см. рис. 2) в качестве

нижнего приближения целесообразно использовать метод Литвака — Ушакова по путям LP, а в качестве верхнего — метод Эзари — Прошана по минимальным путям EP. При этом погрешность предлагаемого приближения  $DB=LS-ES$  (см. рис. 1) и  $DB=EP-LP$  (см. рис. 2) меньше погрешности некомбинированных приближений Эзари — Прошана DE и Литвака — Ушакова DL. Рис. 3 подтверждает эту зависимость для широкого диапазона наработки.

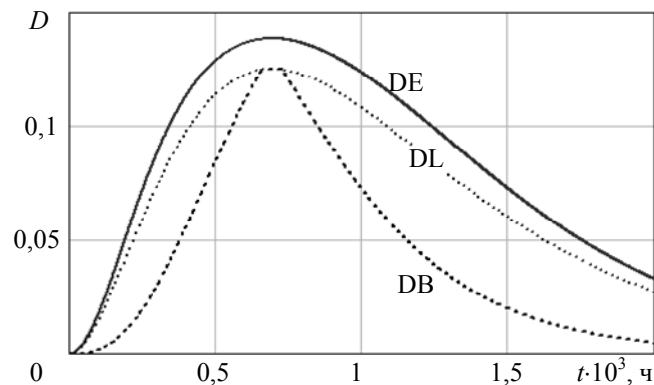


Рис. 3

Предложенная граничная оценка надежности может эффективно использоваться при оценке надежности сложных структур, в том числе сетевых [5—14].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эзари Дж., Прошан Ф. Надежность связанных систем // Методы введения избыточности для вычислительных систем: Сб. М.: Радио и связь, 1966.
2. Надежность технических систем: Справочник / Под ред. И. А. Ушакова. М.: Радио и связь, 1985.
3. Ушаков И. А. Курс теории надежности систем. М.: Дрофа, 2008.
4. Ушаков И. А. Вероятностные модели надежности информационно-вычислительных систем. М.: Радио и связь, 1991.
5. Богатырев В. А. Мультипроцессорные системы с динамическим перераспределением запросов через общую магистраль // Изв. вузов СССР. Приборостроение. 1985. Т. 28, № 3. С. 33—38.
6. Богатырев В. А. К повышению надежности вычислительных систем на основе динамического распределения функций // Изв. вузов СССР. Приборостроение. 1981. Т. 24, № 8. С. 62—65.
7. Богатырев В. А. Комбинаторный метод оценки отказоустойчивости многомагистрального канала // Методы менеджмента качества. 2000. № 4. С. 30—35.
8. Богатырев В. А. Отказоустойчивость и сохранение эффективности функционирования многомагистральных распределенных вычислительных систем // Информационные технологии. 1999. № 9. С. 44—48.
9. Богатырев В. А., Богатырев С. В., Богатырев А. В. Оптимизация древовидной сети с резервированием коммутационных узлов и связей // Телекоммуникации. 2013. № 2. С. 42—48.
10. Богатырев В. А. Отказоустойчивость функционально-распределенных систем // Методы менеджмента качества. 2001. № 3. С. 34—37.
11. Bogatyrev V. A., Bogatyrev S. V., Golubev I. Yu. Optimization and the process of task distribution between computer system clusters // Automatic Control and Computer Sciences. 2012. N 3. P. 103—111.
12. Ожиганов А. А., Киров Д. А. Анализ методик проектирования беспроводных сенсорно-актуаторных сетей // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 1. С. 129—135.
13. Алиев Т. И. Сети ЭВМ и телекоммуникации. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011.
14. Колбанёв М. О., Татарникова Т. М., Воробьёв А. И. Модель обработки клиентских запросов // Телекоммуникации. 2013. № 9. С. 42—48.

*Сведения об авторах*

- Владимир Анатольевич Богатырев** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО, кафедра вычислительной техники, Санкт-Петербург; Санкт-Петербургский государственный экономический университет, кафедра прикладных информационных технологий;  
E-mail: Vladimir.bogatyrev@gmail.com
- Анатолий Владимирович Богатырев** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра вычислительной техники, Санкт-Петербург; E-mail: Vladimir.bogatyrev@gmail.com

Рекомендована кафедрой  
прикладных информационных  
технологий СПбГЭУ

Поступила в редакцию  
28.04.14 г.

УДК 004.78

Т. М. ТАТАРНИКОВА, Н. В. ЯГОТИНЦЕВА

## ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ КОРАБЕЛЬНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Выполнение оказываемых сетями передачи данных услуг по своевременной доставке сообщений зависит от надежности установления соединений между взаимодействующими сторонами. Предлагается вероятностная модель процесса установления (неустановления) соединения в корабельной сети передачи данных как количественного показателя функциональной надежности сети.

*Ключевые слова:* единая информационная инфраструктура корабля, корабельная сеть передачи данных, функциональная надежность, живучесть информационной сети корабля, распределение времени пребывания сообщения.

**Введение.** Одним из перспективных направлений развития радиоэлектронного вооружения (РЭВ) корабля считается интеграция образцов РЭВ в единую информационную инфраструктуру корабля. К РЭВ относят радиолокационные комплексы и станции, средства связи, гидроакустические комплексы и станции, аппаратуру опознавания, комплексы радиоразведки, информационно-управляющие системы и другие средства, обеспечивающие преобразование и обработку электромагнитных (акустических) сигналов и данных.

В целом, современное РЭВ корабля по своей архитектуре и характеристикам еще не образует единую информационную инфраструктуру. Справедливость этого утверждения подтверждается тем, что в настоящее время на кораблях отсутствуют единое адресное пространство, возможность прозрачного доступа к удаленным и обособленно хранящимся информационным ресурсам, средства реализации мультимедийного обмена информацией, унифицированная система панелей диалога для разнородных автоматизированных рабочих мест [1].

**Модель информационной инфраструктуры корабля.** Суть нового подхода к совершенствованию инфраструктуры корабля заключается в следующем:

- интеграции образцов РЭВ на основе базовой информационной сети корабля, а не на основе парных связей;
- обеспечении возможности подключения к базовой информационной сети комплексов и станций различных типов РЭВ;
- введении в состав технической архитектуры нового элемента — комплекса серверов обработки сигналов и данных;
- переходе от функционально-специализированных архитектур средств обработки сигналов и данных к распределенной сетевой обработке.