

## 9.2. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Голоскоков К.П., д.т.н., профессор,  
кафедра комплексного обеспечения  
информационной безопасности, Государственный  
университет морского и речного флота им.  
адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург;  
Чиркова М.Ю., к.э.н., доцент, кафедра  
информационных систем и технологий,  
Санкт-Петербургский государственный  
экономический университет, г. Санкт-Петербург

[Перейти на ГЛАВНОЕ МЕНЮ](#)

[Вернуться к СОДЕРЖАНИЮ](#)

В статье рассматриваются вопросы оценки надежности информационных систем с учетом не только технических средств, но и с учетом окружающей среды и обслуживающего персонала. Таким образом рассматриваются особенности оценки надежности автоматизированной информационной системы как человеко-машинной эргатической системы.

В зависимости от исходной информации существует несколько методов оценки надежности систем:

- по статистическим данным испытаний или эксплуатации;
- по характеристикам надежности входящих в нее объектов;
- по данным о приближении к отказам объектов и систем;
- по данным об изменении выходных параметров объектов;
- по данным об изменении определяющих параметров объектов и систем;
- по изменению эффективности систем.

Кроме того, все методы оценки (расчета) надежности можно разделить на две основные группы: расчет надежности систем, не содержащих резервных объектов, и расчет надежности систем, содержащих резервные объекты. Каждая из указанных групп в свою очередь может быть разделена на два вида: проверочные методы расчета и методы расчета на заданную надежность. Расчеты каждого вида могут быть приближенными (ориентировочными), опирающимися на простейшую математическую модель, или полными, учитывающими влияние схемной зависимости элементов, режим их работы и другие факторы. Системы, как и объекты, могут быть восстанавливаемыми или невосстанавливаемыми. Эти понятия являются лишь удобными математическими абстракциями. Термин «невосстанавливаемая система» не означает, что эту систему нельзя или нецелесообразно отремонтировать. Просто при этом рассматривают работу системы от начала эксплуатации до первого отказа (например, до повреждения, требующего капитального ремонта).

### Оценка надежности систем

Рассмотрим невосстанавливаемую систему, в которой при выходе из строя одного объекта нарушается работа всей системы [10]. Первичный отказ одного объекта может, вообще говоря, привести к повреждению других объектов. Однако эти вторичные отказы не учитываются, так как они возникают в системе, которая уже вышла из строя из-за первичного отказа.

При условии, что отказы объектов являются событиями независимыми, имеем:

$$p(t) = \prod_{j=1}^n p_j^{(t)},$$

где  $p(t)$  – вероятность безотказной работы системы;

$p_j(t)$  – вероятность безотказной работы  $j$ -го объекта;

$n$  – число объектов.

Объекты, отказ которых не ведет к отказу системы, не учитываются, т.е. не входят в число  $n$ .

Тогда получим:

$$p(t_0 t') = \exp \left| - \sum_{j=1}^n \int_{t_0}^{t_0+t'} \lambda_j(t) dt \right|$$

или

$$p(t_0 t') = \exp \left| - \int_{t_0}^{t_0+t'} \lambda_{\text{общ}}(t) dt \right|,$$

где

$$\lambda_{\text{общ}}(t) = \sum_{j=1}^n \lambda_j(t).$$

Для системы из одинаковых объектов

$$\lambda_{\text{общ}}(t) = n\lambda(t)$$

и соответственно

$$p(t_0 t') = \exp \left| - \int_{t_0}^{t_0+t'} \lambda(t) dt \right|.$$

Если используется плотность распределения времени безотказной работы объектов  $f_j(t) = dP_j(t) / dt$ , то вероятность безотказной работы системы  $P(t)$  в этом случае в соответствии с приведенными выше формулами будет определяться выражением:

$$p(t) = \prod_{j=1}^n p_j(t) = \prod_{j=1}^n \left[ 1 - \int_0^t f_j(\tau) d\tau \right].$$

При малых  $t$  можно не делать различия между  $f_j(t)$  и  $\lambda_j(t)$ .

Таким образом, безотказность системы будет определена, если будет известна одна из трех характеристик времени безотказной работы:  $P(t)$ ,  $f(t)$ ,  $K(t)$ . Используется та из них, которую удобно применять в конкретной задаче.

Перед расчетом надежности системы, которую нельзя свести к последовательному соединению элементов, проводят предварительную работу по составлению логической схемы расчета. Эту работу выполняют в три этапа [1].

Первый этап состоит в описании работы системы. На этом этапе определяют, как функционирует система в течение заданного времени, как распределены функции между человеком и техникой, какие

объекты включены, в чем состоит работа каждого объекта и т.д. Уточняют содержание термина «безотказная работа системы». В результате исследования различных сторон работы системы составляют перечень свойств исправной системы.

На втором этапе осуществляется классификация отказов объектов и систем. Перечисляются и описываются возможные отказы всех объектов по отдельности, в том числе и операторов, и системы в целом. При этом формулируются определения отказов объектов и системы. Оценивается влияние отказа каждого из объектов на работоспособность системы.

В течение третьего (основного) этапа составляют структурную (логическую) модель безотказной работы системы. Для этого рассматривают поведение системы при отказе каждого из составляющих – ее объектов. Часто при отказе одного объекта отказывает вся система, но это бывает не всегда. Возможны случаи, когда система продолжает работать при определенной комбинации исправных и неисправных объектов. Поэтому в общем случае выделяют подсистемы (блоки), в которых при отказе хотя бы одного объекта отказывает весь блок. Для каждого такого блока расчет функции надежности ведется в соответствии с вышеописанной методикой. Каждый из выделенных блоков нумеруют или обозначают буквой. Далее перечисляют комбинации блоков, обеспечивающие безотказную работу системы.

Если значения вероятности безотказной работы объекта выражаются числами, близкими к единице, при вычислении функций надежности системы удобно пользоваться приближенными формулами:

- при последовательном соединении различных элементов:

$$\prod_{j=1}^n p_j(t) = 1 - \sum_{j=1}^n \lambda_j(t);$$

- при последовательном соединении  $m$  одинаковых элементов:

$$[P(t)]^m = 1 - \lambda m t.$$

Для логических схем со связями между элементами (объектами), которые не удается свести только к последовательным и параллельным соединениям, при расчете надежности применяют формулу полной вероятности [2].

Показатели ремонтпригодности, сохраняемости и долговечности определяют в соответствии с рекомендациями, изложенными ранее.

Методика выбора нормируемых показателей надежности изложена в работе [5].

Комплексные показатели надежности, зависящие от безопасности и ремонтпригодности (коэффициентов готовности, технического использования и т.п.), определяют на основе модели гибели и размножения для марковских или полумарковских процессов [3, 6, 7]. Специфика моделей готовности для систем человек – техника подробно изложена в работе [4]. Если имеется ряд состояний между исправностью (работоспособностью) и неисправностью, т.е. если при появлении отказов отдельных объектов ухудшаются характеристики системы, но она продолжает частично выполнять свое назначе-

ние, то вместе с надежностью удобно рассматривать эффективность системы.

Связь между эффективностью системы и надежностью отдельных объектов может быть установлена следующими способами.

1. Критерий эффективности системы является функцией характеристик надежности объектов этой системы:  $\mathcal{E} = f(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$ . Этот способ установления связи между надежностью и эффективностью системы наиболее часто используют при вероятностных критериях эффективности систем.
2. Снижение эффективности системы из-за недостаточной ее надежности можно использовать в качестве характеристики надежности рассматриваемой системы. При этом вычисляют идеальный показатель эффективности  $\mathcal{E}_0$  при абсолютно надежной системе и реальный показатель эффективности  $\mathcal{E}_n$ , учитывающий надежность системы.

Разность  $\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_n$  или отношение  $\Delta\mathcal{E} / \mathcal{E}_0 = (\mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_n) / \mathcal{E}_0$  характеризует снижение эффективности из-за недостаточной надежности системы.

3. Установленная заранее доля потери эффективности (например, потери 25% эффективности) может быть принят в качестве определения отказа системы. При этом под вероятностью безотказной работы принимается вероятность и того, что средняя эффективность системы в течение заданного времени не будет ниже определенного уровня.

### Особенности оценки качества функционирования информационных систем

Существующие методы теории надежности позволяют количественно оценивать показатели качества функционирования систем. При этом оцениваются совокупные свойства, зависящие от назначения системы и характеризующие те или иные стороны процесса ее функционирования через показатели надежности. Как было указано выше, для невозстанавливаемых технических систем и устройств достаточной характеристикой является вероятность безотказной работы в течение заданного времени  $t$ . Для восстанавливаемых систем целесообразно учитывать следующие показатели:

$P(t)$  – вероятность безотказной работы в течение заданного времени;

$K_g(t)$  – коэффициент готовности;

$P_u$  – вероятность восстановления.

Единым показателем восстанавливаемых систем может быть вероятность нормального функционирования  $P_{нф}$  – вероятность того, что выполнение задачи не будет сорвано из-за ненадежности аппаратуры. В предположении простейших потоков отказов и восстановлений и при пренебрежении членами высших порядков значение  $P_{нф}$  определяют по формуле полной вероятности сложного события:

$$P_{нф}(t) = P_0 P(t) + (1 + P_0) V(t) P(t - m),$$

где  $P_0 = K_g$  – стационарное значение вероятности исправного состояния системы в начальный момент времени перед использованием системы;

$P(t)$  – вероятность безотказной работы в течение заданного времени  $t$ ;

$K(t)$  – вероятность восстановления и проверки системы за время  $t$ ;

$P(t - \tau)$  – вероятность безотказной работы за оставшееся время  $t - \tau$ , еще достаточное для решения задачи.

При анализе восстанавливаемых и невосстанавливаемых технических систем рассматривают ситуацию, когда ухудшение качества функционирования системы обусловлено отказами и неисправностями аппаратуры при допущении, что система оперирует со всей необходимой и достоверной информацией. Однако рассматривать информационную систему при таких предположениях безотносительно к информационным процессам в ней, т.е. не касаясь вопросов передачи и обработки информации, неправомерно.

Качество функционирования систем, связанных с обработкой данных, зависит от достоверности и полноты информации, с которой оперирует управленческий персонал информационной системы. Поэтому для таких систем следует учитывать ухудшение качества функционирования системы за счет потерь и искажения информации при полностью исправной аппаратуре.

В этом случае качество функционирования системы можно характеризовать показателем технической эффективности  $E$ , отражающим безотказность и восстанавливаемость устройств и правильность обработки информации, и количественно оценивать произведением вероятностей соответствующих частных событий, которые можно считать независимыми:

$$E = P_u \cdot MP_s = KrP(t)P_s,$$

где  $P_u$  – вероятность того, что выполнение задачи не будет сорвано из-за ненадежности системы;

$P_s$  – вероятность выполнения задачи системой при безотказной работе аппаратуры в течение времени  $t$ .

Это выражение представляет собой вероятность того, что система, будучи исправной в начальном состоянии с вероятностью  $Kr$ , проработает затем безотказно заданное время  $t$  и с вероятностью  $P_s$  обеспечит правильное решение (или выполнение) задачи.

Применительно к информационным системам  $P_s$  характеризует такие искажения информации в результате помех или сбоев в технических средствах, а также из-за ошибок персонала, при которых становится невозможным использовать для управления информацию, получаемую в результате функционирования системы.

Например, если число ошибок на документе является величиной случайной  $S^*$ , а предельно допустимое число ошибок равно  $S_k$ , то

$$P_s = \text{Вер} \{S^* < S_k\}, S_k = 1, 2, 3 \dots$$

Если в системе обработки данных любая ошибка приводит к обесцениванию всей информации, то свойство системы безошибочно перерабатывать информацию количественно оценивается вероятностью появления ошибки при обработке данных или достоверностью информации при прохождении определенного объема данных через обрабатывающее устройство. В этом случае  $P_s$  определяют по формуле:

$$P_s(N) = \text{Вер} \{S^* < 1\} = 1 - n^*/N,$$

где  $n$  – число ошибок при обработке данных;

$N$  – объем обработанных данных.

Следует иметь также в виду, что качественное функционирование реальных информационных систем определяется не только перечисленными выше параметрами, но и показателем своевременного выполнения задач. Поэтому возникает необходимость при оценке качества функционирования реальных систем управления кроме приведенных выше параметров безотказности, восстанавливаемости и безошибочности учитывать и параметр своевременности выполнения задачи с помощью показателя  $P_t$  – вероятности своевременного выполнения задачи (работы).

Показатель своевременности выполнения работ зависит в основном от быстродействия технических средств и времени выполнения работ персоналом, а также предельно допустимого времени решения задачи  $U$  и количественно характеризуется функцией распределения случайной величины  $t^*$  – времени выполнения работ:

$$P_t = \text{Вер} \{t^* < t_3\},$$

где  $t_3$  – заданное время для выполнения работ.

Если время, заданное для выполнения работ, не регламентируется, то качество системы по своевременности можно оценивать величиной потери быстродействия.

При таком подходе интегральный показатель качества информационной системы выразится как произведение вероятности безошибочного  $P_s$  и условной вероятности своевременного  $P_t / s$  выполнения работ при условии их независимости:

$$E = P_s / P_{t/s}.$$

К настоящему времени сложился подход [8, 9] к оценке показателей эргатических (т.е. человеко-машинных) систем, при котором характеризуется функционирование как технического, так и человеческого звена также с точки зрения безошибочности и своевременности выполнения функций системы. Практика подтверждает целесообразность упомянутого выше подхода к выбору показателей для оценки качества функционирования информационной системы и ее элементов. В общем случае, если имеется возможность оценивать эффект  $W_p$  при реальном функционировании системы и при ее идеальном функционировании  $W_u$ , то качество функционирования  $E_\phi$  может быть определено как отношение эффекта реального к идеальному.

### Повышение качества функционирования систем путем введения избыточности

Существуют два основных пути повышения качества функционирования систем. Первый путь связан с совершенствованием технологии изготовления элементов и устройств, использованием новых физических принципов и элементов, облегчением условий работы элементов. Применительно к рассматриваемым автоматизированным системам управления первый путь заключается в полной или частичной замене недостаточно надежного элемента системы управления, например, человека, более

надежными в ряде случаев элементами технических средствами.

Второй путь повышения надежности заключается во введении и использовании избыточности. Дополнительные устройства (элементы), введенные в структуру системы для улучшения ее качественных показателей, являются избыточными. В этом случае можно говорить о структурной избыточности. При усложнении структуры системы появляется возможность синтезировать сколь угодно надежную систему из малонадежных элементов, используя различные способы введения избыточности в структуру технических систем. С понятием избыточности также связывается дополнительная информация, вводимая в рабочие сигналы, – информационная избыточность. Все существующие методы построения кодов, исправляющих или обнаруживающих ошибки, связаны с введением избыточности.

Для обеспечения требуемой надежности системы кроме структурной и информационной используют также временную избыточность.

Временная избыточность основана на использовании разнесенных во времени выходных сигналов, полученных в результате определенного преобразования информации – при совместной работе на различных устройствах, при последовательной *п*-кратной работе одного устройства или при задержке выданного результата. Временную избыточность можно ввести при наличии таких интервалов времени, в течение которых допустима задержка выдаваемого решения. Следует отметить, что целенаправленное использование информационной или временной избыточности в реальных случаях обычно сопровождается аппаратными затратами.

Перспективными являются комбинированные методы введения избыточности. Примером комбинированного использования информационной и временной избыточностей может служить система передачи с информационной обратной связью. Информация на выходе передающего устройства задерживается и при обнаружении сигналов ошибки на приемном устройстве передается вновь. Такая система способна обеспечить большую достоверность информации по сравнению с системами, где используется только информационная избыточность.

Введение понятий информационной, структурной и временной избыточностей позволяет с единых позиций сравнивать и количественно оценивать для информационных систем как свойства персонала, так и различные устройства вычислительной техники.

Введение функциональной избыточности не по всем функциям, а лишь по основным, позволяет строить системы, сохраняющие работоспособность, правда, с ограниченными возможностями в случае отказов ее отдельных элементов. Избыточность такого вида находит широкое применение, поскольку здесь имеется принципиальная возможность использовать режимы функционирования системы управления с различным уровнем автоматизации.

## ВЫВОДЫ

Таким образом прогнозирование надежности эргатических систем сводится к прогнозированию надежности тех-

нических систем с учетом деятельности человека и прогнозированию надежности подготовки этой технической системы к работе. Короче говоря, необходимо учитывать не только надежность технических объектов, но и надежность операторов, под которой понимается объективная уверенность в том, что возложенные на него функции будут выполнены своевременно и безошибочно.

Уровень ошибок зависит от состояния окружающей среды. Поэтому исследование надежности информационной системы в период работы сводится к рассмотрению надежности технической системы с учетом оператора и окружающей среды. В период подготовки системы к работе отказы технических устройств и ошибки исполнителей ведут к увеличению времени подготовки.

Поэтому исследование надежности систем в этот период сводится к рассмотрению надежности выполнения работ.

## Литература

1. Борисов В.И. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты [Текст] / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев и др. – М. : Радио и связь, 2000. – 384 с.
2. Борисов В.И. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью [Текст] / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев и др. – М. : Радио и связь, 2003. – 640 с.
3. Голоскоков К.П. Автоматизированная система испытаний как составная часть системы управления качеством [Текст] / К.П. Голоскоков // Науч.-техн. ведомости СПб. гос. политехн. ун-та ; Сер. : Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2008. – Т. 6 ; №69. – С. 116-120.
4. Голоскоков К.П. Прогнозирование с применением теории распознавания образов [Текст] / К.П. Голоскоков, М.В. Железняк // Вестник ИНЖЭКОНа ; Сер. : Техн. науки. – 2011. – №8. – С. 114-118.
5. Голоскоков К.П. Прогнозирование технического состояния изделий судовой электронной техники [Текст] / К.П. Голоскоков. – СПб., 2007. – 148 с.
6. Голоскоков К.П. Прогнозирование и оценка технического состояния сложных систем [Текст] / К.П. Голоскоков // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. – 2008. – №53. – С. 164-168.
7. Голоскоков К.П. Формирование информационной базы для прогнозирования качества продукции [Текст] / К.П. Голоскоков // Инновации. – 2009. – №1. – С. 91-94.
8. Григорьев В.А. и др. Сети и системы радиодоступа [Текст] / В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев. – М. : Эко-Трендз, 2005. – 384 с.
9. Дроботун Е.Б. Надежность программного обеспечения. Виды и критичность ошибок [Электронный ресурс] / Е.Б. Дроботун. URL: [http://www.ivtn.ru/2009/pdf/d09\\_04.pdf](http://www.ivtn.ru/2009/pdf/d09_04.pdf).
10. Simson M.K. Digital communication over fading channels [Text] / Marvin K. Simson, Mohamed-Slim Alouini. – A John Wiley & Sons, 2005. – 900 p.

## Ключевые слова

Информационная система; автоматизация; надежность; оценка качества; информация; вероятность отказов; безотказность; эффективность; эксплуатация; время работы системы.

*Голоскоков Константин Петрович*

*Чиркова Марина Юрьевна*

## РЕЦЕНЗИЯ

В рецензируемой статье рассматриваются методы оценки надежности и качества функционирования автоматизированных информационных систем.

Актуальность темы заключается в большом количестве работ как отечественных авторов, так и зарубежных, направленных на повышение эффективности функционирования информационных систем.

Научная новизна статьи заключается в том, что существующие методы повышения эффективности информационных систем в основном рассматривают надежность технических средств и программных. Авторы настоящей работы рассматривают надежность и эффективность информационной системы с учетом не только технических средств, но и с учетом окружающей среды и обслуживающего персонала.

Авторами рассматриваются особенности оценки надежности автоматизированной информационной системы как человеко-машинной эргатической системы. Перспективными являются комбинированные методы введения избыточности.

Введение понятий информационной, структурной и временной избыточностей позволяет с единых позиций сравнивать и количественно оценивать для информационных систем как свойства персонала, так и различные устройства вычислительной техники.

Введение функциональной избыточности не по всем функциям, а лишь по основным, позволяет строить системы, сохраняющие работоспособность, правда, с ограниченными возможностями в случае отказов ее отдельных элементов. Избыточность такого вида находит широкое применение, поскольку здесь имеется принципиальная возможность использовать режимы функционирования системы управления с различным уровнем автоматизации.

Таким образом рецензируемая статья является актуальной с элементами научной новизны и может быть рекомендована к публикации в научном журнале.

*Колгатин С.Н., д.т.н., профессор, декан факультета фундаментальной подготовки Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. профессора М.А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург.*

[Перейти на ГЛАВНОЕ МЕНЮ](#)  
[Вернуться к СОДЕРЖАНИЮ](#)