

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ*

С. С. Бычков, А. М. Попов, В. В. Золотарев

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: bychkovss_va@mail.ru, vm_popov@sibsau.ru, zolotarev@sibsau.ru

Рассматривается вопрос повышения уровня надежности информационных систем путем построения математической модели информационной системы. Для анализа уровня надежности рассмотрены методы расчета уровня надежности информационной системы. Рассмотрены методы, позволяющие повысить уровень надежности информационной системы на различных этапах существования информационной системы. Рассмотрены методы прогнозирования уровня надежности информационной системы, а также вероятности возникновения ошибок при эксплуатации информационной системы. В рамках работы был сформирован комбинированный алгоритм повышения уровня надежности информационной системы в условиях необходимости непрерывной эксплуатации информационной системы на основе применения методов математического моделирования. Результаты работы могут быть применены для проведения экспериментальных исследований по вопросам обеспечения информационной безопасности, оптимизации работы информационных систем.

Ключевые слова: математическое моделирование, оптимизация, надежность, информационная система, анализ.

Vestnik SibGAU
2014, No. 3(55), P. 42–47

INCREASE OF RELIABILITY LEVEL OF INFORMATION SYSTEMS

S. S. Bychkov, A. M. Popov, V. V. Zolotarev

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: bychkovss_va@mail.ru, vm_popov@sibsau.ru, zolotarev@sibsau.ru

In the presented work the question of increase of reliability level of information systems is considered. The problem is solved by creation of mathematical model of information system, as the special case possessing increased requirements to level of reliability, the system of electronic document flow is taken. In this work the analysis of existing methods of an assessment of reliability level of information systems is carried out, the methods allowing to raise reliability level of information system at various operational phases of information system are also considered. Within the methods of an assessment of reliability level of information systems methods of forecasting of level of reliability of information system, and also probability of emergence of mistakes are considered at operation of information system. Within the carried-out work the authors have combined the algorithm of increase of reliability level of information system, in the conditions of need of continuous operation of information system on the basis of application of methods of mathematical modeling was created. The work of the combined method also includes the work of a dynamic method of an assessment of reliability level of information system which is the indicator of achievement of an optimum condition of reliability level of information system. The results of work can be applied to carry out pilot studies concerning ensuring information security, optimization of work of information systems.

Keywords: mathematical modeling, optimization, reliability, information system, analysis.

* Работа выполнена в рамках гранта Президента молодым российским ученым – кандидатам наук, договор № 14.124.13.4037-МК от 04.02.2013.

Развитие всех отраслей экономики в настоящий момент выдвигает повышенные требования к эффективности работы организаций. Одним из путей повышения эффективности деятельности стала автоматизация бизнес-процессов. Автоматизация, прежде всего, связана с внедрением информационных систем.

Согласно действующему законодательству РФ информационно-вычислительная система (ИС) – это совокупность данных (баз данных) и программ, функционирующих на вычислительных средствах как единое целое для решения определенных задач [1].

Процесс внедрения и сопровождения ИС неразрывно связан с решением вопроса надежности внедряемой ИС. Надежность ИС можно повышать путем внесения изменений в действующую ИС, однако этот процесс связан с рядом ограничений:

1) временная неработоспособность ИС, которая приводит к простоям;

2) вероятность возникновения новых ошибок в работе ИС, исправление которых может потребовать дополнительные ресурсы.

Как можно заметить, ограничения связаны прежде всего с экономической стороной вопроса эксплуатации ИС, а именно, экономическими потерями, связанными с производимой модернизацией ИС.

Надежность ИС является важным эксплуатационным параметром, на который можно воздействовать путем внесения необходимых изменений [2].

На сегодняшний день существует большое количество определений надежности ИС, однако все они формулируют определение в одном направлении. Итак, под надежностью принято понимать комплекс свойств ИС, которые обеспечивают выполнение заданных функций ИС с сохранением во времени и в заданных ограничениях эксплуатационных характеристик. Характеристики определяются показателями, которые поддаются контролю и учету.

В основном в комплекс свойств надежности ИС входят следующие свойства ИС [3]:

1. Безотказность – свойство ИС сохранять работоспособность в течение некоторого времени.

2. Устойчивость – свойство ИС сохранять работоспособность в условиях действия помех.

3. Корректируемость – свойство ИС, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем доработки и модернизации.

4. Защищенность – свойство ИС к невозможности реализации посторонних вмешательств.

Приведенные выше свойства надежности численно выражаются через показатели надежности – количественные характеристики одного или нескольких свойств, определяющих надежность ИС. Как видно из определения, они служат индикаторами, которые сообщают о текущем состоянии ИС.

В теории надежности в качестве основных показателей надежности ИС принято выделять следующие [3]:

– вероятность безотказной работы ИС $P(t)$;

– вероятность отказа ИС $q(t)$;

– интенсивность отказов ИС $l(t)$;

– средняя наработка ИС на отказ T .

Для расчета показателей надежности информационных систем используются различные подходы, снабженные собственными методиками. Так, принято выделять, следующие подходы при оценке надежности ИС [4]:

1. Динамический – использует результаты выполнения программы.

2. Статический – основан на анализе различных артефактов процесса проектирования.

3. Архитектурный – основан на анализе архитектуры системы и может использовать как динамический, так и статический подходы.

4. Эмпирический – использует информацию о процессе проектирования.

Ввиду того, что задача стоит в анализе уже действующей ИС, то в качестве приоритетных подходов целесообразно выбрать динамический и эмпирический подходы в оценке уровня надежности ИС.

Для выбранных подходов существует несколько методик по оценке уровня надежности ИС.

Динамические методы направлены на поиск и обнаружение в процессе эксплуатации ИС отказов в работе, анализ времени работы ИС при каждом новом запуске и анализ результатов тестов и трасс выполнения функций ИС.

Модель Бернулли [5]. Каждый запуск программы имеет два исхода: правильный и неправильный (с вероятностями p и $1 - p$).

Вероятность того, что из n запусков k приведут к неправильному результату, выражается формулой биномиального распределения

$$B(p, n, k) = C_n^k p^k (1 - p)^{n-k}.$$

Вероятность p априорно неизвестна, но по результатам запусков известны n и k . Величина $B(p)$ имеет максимум при $p = k/n$. В качестве оценки надежности программы принимается величина

$$R = 1 - \frac{k}{n} = \frac{n - k}{n}.$$

Простая интуитивная модель [6]. Предполагается проведение тестирования двумя группами разработчиков независимо. Пусть первая группа обнаружила N_1 ошибок, вторая – N_2 ; $N_{1,2}$ – это ошибки, обнаруженные обеими группами. Если N – число ошибок в программе, то можно определить эффективность тестирования каждой группы:

$$E_1 = \frac{N_1}{N} \text{ и } E_2 = \frac{N_2}{N}.$$

Считая возможность обнаружения ошибок одинаковой для обеих групп,

$$E_1 = \frac{N_1}{N} = \frac{N_{1,2}}{N_2} \rightarrow N = N_1 \frac{N_2}{N_{1,2}}.$$

Модель Миллса [6]. Для оценки достоверности утверждений о числе ошибок в программе в программу также вносится V ошибок. Тестирование выполняется до тех пор, пока не будут найдены все внесенные ошибки, тогда достоверность утверждения, что в программе имеется k ошибок:

$$C = 1, n > k,$$

$$C = \frac{V}{V + k + 1}, n > k.$$

Эти две формулы образуют полезную модель ошибок: первая предсказывает их количество, а вторая позволяет определить достоверность прогноза. Вторую формулу можно модифицировать для случая, когда были найдены не все внесенные ошибки. Пусть число обнаруженных собственных ошибок v :

$$C = 1, n > k,$$

$$C = \frac{C_V^{v-1}}{C_{V+k+1}^{k+v}}, n \leq k.$$

Свойства динамических методов [6]:

- достоверность получаемых результатов сильно зависит от качества исходных данных; для оценки достоверности используются метрики покрытия кода;
- при использовании прогнозных моделей обычно не учитываются влияния нерегулярных изменений, имеющих место в процессе разработки и отладки ПО (особенности проекта, неравномерная плотность дефектов, квалификация персонала и др.).

Их достоинства: позволяют получать абсолютные показатели надежности.

Недостатки:

- высокая трудоемкость сбора исходной информации, использование упрощающих предположений о взаимных влияниях программных ошибок;
- сильная зависимость точности прогнозов от качества и объема исходной информации.

Эмпирический подход использует информацию о процессе проектирования [7]:

- организация процесса проектирования, сертификаты, уровень зрелости;
- опыт предыдущих проектов.

Римская модель. Учитывает следующие параметры:

- тип приложения;
- характеристики среды разработки;
- метрики представления и дизайна (управление аномалиями, отслеживаемость, учет качества анализа программного обеспечения);
- метрики реализации (размер программы, модульность программы, степень повторного использования и др.):

$$\delta_0 = A \cdot D(SA \cdot ST \cdot SQ) \cdot (SL \cdot SS \cdot SM \cdot SU \cdot SX \cdot SR),$$

$$\mu_0 = F \cdot K(\delta_0 \cdot STR_0) = F \cdot K \cdot W_0,$$

$$1,4 \cdot 10^{-7} \leq K \leq 10,6 \cdot 10^{-7}.$$

Фазовая модель [7]. Оценка надежности с учетом фазы разработки ИС:

- уровень надежности ИС определяется уровнем программистов;
- плотность ошибок – количество ошибок на тысячу строк кода.

Прогнозное число обнаруженных ошибок до момента t

$$V_t = E(1 - e^{-Bt^2}),$$

где коэффициент B рассчитывается с учетом обнаруженных ошибок и фазы каждой ошибки.

При рассмотрении вопроса повышения надежности ИС необходимо обратиться к классическим методам повышения надежности ИС [8]. При этом принято выделять несколько направлений повышения надежности ИС:

- 1) уменьшение наработки;
- 2) снижение интенсивности отказов;
- 3) улучшение восстанавливаемости;
- 4) резервирование.

Рассмотрим каждое из направлений более подробно.

Уменьшение наработки для выполнения определенной операции достигается выбором максимально быстродействующих элементов и модулей при проектировании ИС. Если увеличение быстродействия и производительности происходит без увеличения интенсивности отказов, то показатели безотказности улучшаются.

Уменьшить наработку возможно полным или частичным выключением отдельных элементов и модулей в паузе между рабочими сеансами, если это не нарушает порядок функционирования ИС.

Прямое влияние на безотказность ИС имеют количество и качество ее элементов и модулей. Улучшить показатели надежности можно за счет комплектации ИС элементами и модулями «повышенной надежности».

Существенного снижения интенсивности отказов можно добиться облегчением режимов работы элементов и модулей ИС. В несколько раз можно снизить интенсивность отказов только за счет снижения производственной нагрузки и создания оптимального распределения функций между различными модулями. На практике этот процесс сводится к оптимизации работы ИС путем создания модулей, решающих конкретную задачу, но зачастую этого невозможно добиться в силу сложности выполняемых бизнес-процессов.

Улучшение восстанавливаемости системы направлено на уменьшение времени обнаружения, локализации (определение места возникновения) и устранения отказов, а также времени ее подготовки к включению после восстановления работоспособности. Автоматизация процессов обнаружения и локализации отказов и предпусковой подготовки ИС существенно снижает время восстановления.

Резервированием называют способ обеспечения надежности объекта за счет использования дополнительных средств и возможностей, избыточных по отношению к минимально необходимым при выполнении требуемых функций. Резервирование может использоваться не только для повышения надежности,

но и для повышения точности, устойчивости, достоверности.

Таким образом, в рамках поставленных условий можно заметить, что работа, связанная с процессом повышения надежности ИС, сводится к постоянному процессу совершенствования ИС, при этом процесс функционирования ИС приходится приостанавливать, что является отрицательным критерием. Однако существует возможность прогнозирования возникновения ошибок при функционировании ИС. В качестве метода прогнозирования используют математическое моделирование, с помощью которого возможен анализ вероятности возникновения ошибок в работе ИС.

Математическое моделирование позволяет оценить характеристики ошибок в ИС и прогнозировать их появление при эксплуатации [9]. Недостатком является вероятностный характер, при этом достоверность полученных данных зависит от точности математической модели и глубины прогнозирования по времени. Математические модели прогнозируют:

- показатели надёжности ИС в процессе отладки;
- количество невыявленных ошибок;
- необходимое время для обнаружения новой ошибки в ИС;
- необходимое время выявления всех ошибок с заданной вероятностью.

Использование математической модели позволяет эффективнее проводить отладку и испытания модулей ИС.

В настоящее время существует ряд математических моделей, основными из которых являются:

- экспоненциальная модель изменения ошибок в зависимости от времени отладки;
- модель, учитывающая дискретно понижающуюся частоту появления ошибок как линейную функцию времени тестирования и испытаний.

При применении математических моделей существуют допущения о характере проявления ошибок в ИС [10]. Для экспоненциальной модели изменения ошибок в зависимости от времени отладки существуют следующие допущения:

1. Ошибки в ИС являются независимыми и проявляются в случайные моменты времени.
2. Время работы между ошибками определяется средним временем выполнения команды на данной ЭВМ и средним числом команд, исполняемым между ошибками.

3. Выбор отладочных тестов должен быть представительным и случайным, чтобы исключить концентрацию необнаруженных ошибок для некоторых реальных условий функционирования ИС.

4. Ошибка, являющаяся причиной искажения результатов, фиксируется и исправляется после завершения тестирования либо вообще не обнаруживается.

Необходимо отметить, что количество ошибок, проявляющихся в интервале времени, распределено по закону Пуассона [11]. Таким образом, длительность непрерывной работы между искажениями распределена экспоненциально, на этом выводе строится экспоненциальная модель изменения ошибок в зависимости от времени отладки.

Предположим, что в начале отладки ИС при $\tau = 0$ в ней содержалось N_0 ошибок. После отладки в течение времени τ осталось n_0 ошибок и устранено n ошибок ($n_0 + n = N_0$). При этом время τ соответствует длительности работы ИС для обнаружения ошибок и не учитывает простои.

Интенсивность обнаружения ошибок в программе $dn/d\tau$ и абсолютное количество устранённых ошибок связываются уравнением

$$\frac{dn}{d\tau} + kn = kN_0,$$

где k – коэффициент.

Если предположить, что в начале отладки при $\tau = 0$ отсутствуют обнаруженные ошибки, то решение уравнения имеет вид

$$n = N_0 [1 - \exp(-k\tau)].$$

Количество оставшихся ошибок в комплексе программ

$$n_0 = N_0 - n = N_0 \exp(-k\tau)$$

пропорционально интенсивности обнаружения $dn/d\tau$ с точностью до коэффициента k .

Время безотказной работы ИС до отказа T или наработка на отказ, которая рассматривается как обнаруживаемый сбой в работе ИС, нарушающий работоспособность, равно величине, обратной интенсивности обнаружения ошибок:

$$T = \frac{1}{dn/d\tau} = \frac{1}{kN_0} \exp(k\tau).$$

Если учесть, что до начала тестирования в комплексе программ содержалось N_0 ошибок и этому соответствовала наработка на отказ T_0 , то функцию наработки на отказ от длительности проверок можно представить в следующем виде:

$$T = T_0 \exp\left(\frac{\tau}{N_0 T_0}\right).$$

Если известны моменты обнаружения ошибок t_i и каждый раз в эти моменты обнаруживается и достоверно устраняется одна ошибка, то, используя метод максимального правдоподобия, можно получить уравнение для определения значения начального числа ошибок N_0 :

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{N_0 - (i-1)} = \frac{n \sum_{i=1}^n t_i}{N_0 \sum_{i=1}^n t_i - \sum_{i=1}^n (i-1)t_i},$$

а также выражение для расчёта коэффициента пропорциональности:

$$K = \frac{n}{N_0 \sum_{i=1}^n t_i - \sum_{i=1}^n (i-1)t_i}.$$

В результате можно рассчитать число оставшихся в программе ошибок и среднюю наработку на отказ $T_{cp} = 1/\lambda$, т. е. получить оценку времени до обнаружения следующей ошибки.

В процессе отладки ИС, для повышения наработки на отказ от T_1 до T_2 , необходимо обнаружить и устранить Δn ошибок. Величина Δn определяется соотношением:

$$\Delta n = N_0 T_0 \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right].$$

Выражение для определения затрат времени Δt на проведение отладки, которые позволяют устранить Δn ошибок и, соответственно, повысить наработку на отказ от значения T_1 до T_2 , имеет вид

$$\Delta \tau = \frac{N_0 T_0}{K} \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right).$$

Модель, учитывающая дискретно понижающуюся частоту появления ошибок [12] как линейную функцию времени тестирования и испытаний, построена на допущении о том, что частота проявления ошибок линейно зависит от времени испытания t_i между моментами обнаружения последовательных i -й и $(i-1)$ -й ошибок:

$$\lambda(t_i) = K [N_0 - (i-1)] t_i,$$

где N_0 – начальное количество ошибок; K – коэффициент пропорциональности, обеспечивающий равенство единице площади под кривой вероятности обнаружения ошибок.

Для оценки наработки на отказ получается выражение, соответствующее распределению Релея:

$$P(t_i) = \exp \left\{ -K [N_0 - (i-1)] \frac{t_i^2}{2} \right\},$$

$$P(t_i) = P(T \geq t_i).$$

Отсюда плотность распределения времени наработки на отказ

$$f(t_i) = -P(t_i) = K [N_0 - (i-1)] t_i \exp \left\{ -K [N_0 - (i-1)] \frac{t_i^2}{2} \right\}.$$

Используя функцию максимального правдоподобия, получим оценку для общего количества ошибок N_0 и коэффициента K :

$$N_0 = \left[\frac{2n}{K} + \sum_{i=1}^n (i-1) t_i^2 \right] \frac{1}{\sum_{i=1}^n t_i^2},$$

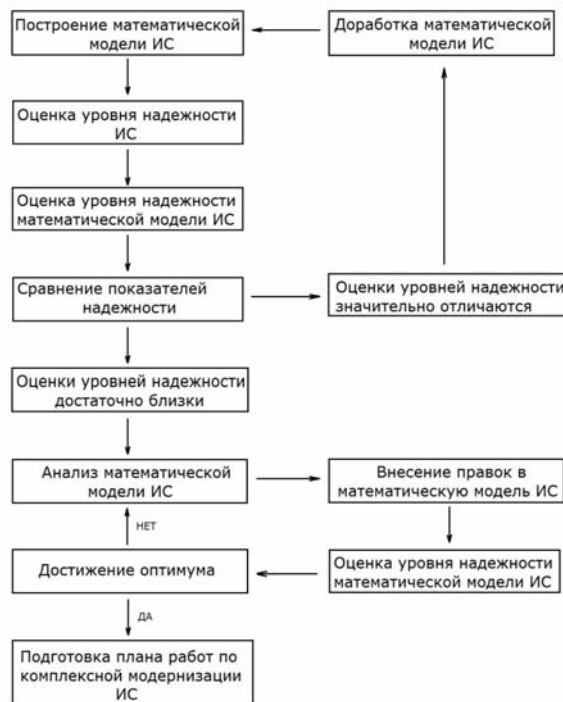
$$K = \left[\sum_{i=1}^n \frac{2}{N_0 - (i-1)} \right] \frac{1}{\sum_{i=1}^n t_i^2}.$$

Таким образом, существует несколько подходов к решению вопроса повышения надежности ИС. Можно рассчитывать надежность ИС, тем самым определяя текущий уровень ее надежности, и планировать деятельность по ее повышению, действовать в условиях возникновения проблем и решения их по мере поступления, и возможно применение математического моделирования ИС для оценки вероятности возникновения ошибок в работе ИС. Как можно заметить, каждый из представленных методов решает собственную конкретную задачу, которая не решается в другом методе.

Традиционно представленные методы применяются отдельно друг от друга, при этом достижение наилучшего результата от применения различных подходов решения задачи часто заложено в применении комбинированной методики. Авторами статьи для решения поставленной задачи предложена схема применения описанных методов в рамках работы комбинированного алгоритма.

При построении комбинированной методики анализа надежности ИС авторами статьи были выбраны следующие математические методы:

- методы расчета показателей надежности ИС, в частности динамический метод;
- методы математического моделирования ИС;
- методы уменьшения наработки на отказ ИС;
- методы снижения интенсивности отказов ИС.



Блок-схема работы алгоритма

Эти методы на принципиальном уровне являются самостоятельными, однако существует возможность их объединения и построения их взаимодействия. Так, методы уменьшения наработки на отказ и снижения интенсивности отказов являются методами, направленными на решение уже выявленных проблем в работе ИС. Динамические методы расчета показателей надежности ИС лучше всего работают в условиях эксплуатации ИС, тем самым являясь хорошим индикатором уровня надежности ИС. Математическое моделирование используется для прогнозирования уровня надежности ИС в определенный момент времени, тем самым давая возможность выявить потенциальные места возникновения ошибок при эксплуатации ИС.

В результате комбинирования этих методик целесообразным становится их применение в определенной последовательности, а именно, на начальном этапе применяется математическое моделирование для прогнозирования уровня надежности и поиска мест возникновения ошибок, при этом процесс оценивания уровня надежности производится методом динамического анализа уровня надежности ИС, и как только на математической модели достигается оптимальное состояние уровня надежности ИС, можно применять прикладные методики уменьшения наработки на отказ и снижения интенсивности отказов ИС. Работа комбинированного алгоритма представлена в форме блок-схемы на рисунке.

Библиографические ссылки

1. Золотарев В. В., Лапина Е. В. Системы электронного документооборота : учеб. пособие. Красноярск : СибГАУ, 2012. 96 с.
2. Громов Ю. Ю. [и др.]. Надежность информационных систем : учеб. пособие. Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2010. 160 с.
3. ГОСТ Р 27.002–2009. Надежность в технике. Термины и определения. М. : Изд-во стандартов, 2009.
4. Павлов И. В. Статистические методы оценки надежности сложных систем по результатам испытаний. М. : Радио и связь, 1982. 168 с.
5. Усенко О. А. Модели и методы оценки надежности программного обеспечения информационных систем : учеб. пособие. Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. 40 с.
6. Антонов А. В., Никулин М. С. Статистические модели в теории надежности : учеб. пособие. М. : Абрис, 2012. 390 с.
7. Карповский Е. Я. Надежность программной продукции. Киев : Техника, 1990. 160 с.
8. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем : монография. СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2007.
9. Кузнецов В. П. Интервальные статистические модели. М. : Радио и связь, 1991. 352 с.

10. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М. : Наука, 1978. 400 с.

11. Вилкас Э. И., Майминас Е. З. Решения: теория, информация, моделирование. М. : Радио и связь, 1981. 328 с.

12. Клейн Дж. Статистические методы в имитационном моделировании. М. : Статистика, 1978. 335 с.

References

1. Zolotarev V. V., Lapina E. V. *Sistemy elektronnoho dokumentooborota: uchebnoe posobie* [Electronic document management systems]. Krasnoyarsk, SibGAU, Publ. 2012, 96 p.
2. Gromov Yu. Yu., Ivanova O. G., Mosyagina N. G., Nabatov K. A. *Nadezhnost' informatsionnykh sistem: uchebnoe posobie* [Reliability of information systems]. Tambov, Izdatel'stvo TGTU, 2010, 160 p.
3. *GOST R 27.002–2009. Nadezhnost v tekhnike. Terminy i opredelyeniya*. [State Standard R 27.002–2009. Reliability in the sphere of inengineering. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2009.
4. Pavlov I. V. *Statisticheskie metody otsenki nadezhnosti slozhnykh sistem po rezul'tatam ispytaniy* [Statistical techniques of reliability assessment of difficult systems on test results]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1982, 168 p.
5. Usenko O. A. *Modeli i metody otsenki nadezhnosti programmnogo obespecheniya informatsionnykh sistem: uchebnoe posobie* [Models and valuation methods of reliability of the information systems software]. Taganrog, Izd-vo TTI YuFU, 2008, 40 p.
6. Antonov A. V., Nikulin M. S. *Statisticheskie modeli v teorii nadezhnosti: uchebnoe posobie* [Statistical models in the reliability theory]. Moscow, Abris Publ., 2012, 390 p.
7. Karpovskiy E. Ya. *Nadezhnost' programnoy produktsii* [Reliability of program production]. Kiev, Tekhnika, Publ. 1990, 160 p.
8. Ryabinin I. A. *Nadezhnost' i bezopasnost' strukturno-slozhnykh sistem: monografiya* [Reliability and safety of structural and difficult systems]. St. Petersburg, Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo universiteta, 2007.
9. Kuznetsov V. P. *Interval'nye statisticheskie modeli* [Interval statistical models]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1991, 352 p.
10. Buslenko N. P. *Modelirovanie slozhnykh sistem* [Simulation of difficult systems]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 400 p.
11. Vilkas E. I., Mayminas E. Z. *Resheniya: teoriya, informatsiya, modelirovanie* [Decisions: theory, information, simulation]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1981. 328 p.
12. Kleyn, Dzh. *Statisticheskie metody v imitatsionnom modelirovanii* [Statistical techniques in simulation modeling]. Moscow, Statistika Publ., 1978, 335 p.