

ИНФОРМАЦИОННО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Царькова Е.В.¹

Ключевые слова: структурное, холодное и горячее резервирование; методы, модели, оценка, показатели, надежность, дифференциальные уравнения, информационно-вычислительный комплекс, вероятность исправной работы.

Аннотация

Цель работы: совершенствование научно-методической базы теории эффективности информационных систем.

Методы: системный анализ и математическое моделирование процесса оценки надежности информационных систем с учетом разновидностей структурного резервирования и способов активации резервов, методов расчета показателя системной надежности, направления работ по повышению надежности систем.

Результаты: исследованы особенности обеспечения надежности информационных систем, главные сферы работ, связанных с повышением уровня эффективности и качества информационных систем, подходы к определению показателей надежности; приведен практический пример расчета в MathCad показателя надежности типового информационно-вычислительного комплекса с резервированием двукратного типа с применением системы дифференциальных уравнений Колмогорова при резервировании горячего и холодного типа.

DOI: 10.21681/1994-1404-2024-2-82-90

Введение

И нформатизация в современном обществе позволяет обеспечить требуемый уровень доступности и качества взаимодействия в цифровой экономике и социальной сфере. Главная цель — обеспечение *информационной доступности*, а также создание соответствующих условий, которые позволяют эффективно [10] обрабатывать и передавать данные. В рамках информатизации осуществляется внедрение современных ИТ-технологий во многие виды общественно-производственной деятельности и создание наиболее благоприятных (оптимальных) условий для доступа к информации.

При этом основные аспекты информатизации [1, 2, 5, 14]:

- *задачи* — обеспечение электронного доступа к необходимым материалам; улучшение процессов обработки и анализа данных;
- *принципы* — хранение и логическая обработка больших данных; передача информации в электронной форме; использование ресурсов и услуг информационных систем (ИС);
- *результаты* — оптимизация работы органов управления и улучшение доступа посредством цифровых информационных каналов;

– *преимущества* — рост уровня эффективности экономики, улучшение доступности и качества услуг.

В частности, основные преимущества электронных сервисов:

- *быстродействие* — обеспечивается значительное сокращение времени на выполнение разного рода повторяющихся задач;
- *снижение нагрузки* на служащих электронных систем (процессы автоматизируются, обеспечивается возможность для осуществления онлайн-взаимодействия сторон);
- *повышение открытости* административной системы — удобный доступ юрлиц и физлиц к многим процедурам; использование систем электронной подачи документов и видеоконференцсвязи.

Примером применения информационных технологий в судебной деятельности является растущее применение крупномасштабных судебных информационных систем: ГАС РФ «Правосудие» и ИС Верховного Суда РФ. В системе ГАС «Правосудие» имеются три информационных контура документооборота: защищенный, ведомственный и публичный; баланс обеспечивается

¹ Царькова Елена Валентиновна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационного права, информатики и математики Российского государственного университета правосудия, г. Москва, Российская Федерация.
E-mail: e.v.tsarkova@mail.ru

между информационной *открытостью* и её *защитой*. Способами защиты безопасности публичного канала от действий посторонних являются фильтрация (сетевая) и маршрутизация пакетов [9].

В [3] отмечается, что кредитные организации увеличивают финансирование технических мероприятий по поддержанию безопасности серверов, внедряют новейшие программы защиты, однако проблема *информационной безопасности ИС* выглядит принципиально неразрешимой в силу того, что защитные средства редко действуют с упреждением мошеннических действий. Архитектура информационно-компьютерных систем и проблемы их работоспособности и надёжности исследуются в работах² [7, 12, 13, 16].

Вместе с тем ключевым аспектом *устойчивого функционирования* [11] ИС является обеспечение высокого уровня их *надёжности* [4, 6, 15]. Проблема надёжности является сложной разноплановой задачей, которая носит комплексный и, кроме того, системотехнический характер. Значительный рост уровня надёжности ИС не может быть достигнут, если разные мероприятия не объединены друг с другом. Поэтому актуальной представляется задача своевременной и адекватной оценки надёжности ИС на основе обоснованных формальных показателей.

Анализ задачи оценки надёжности информационных систем

Сложность задачи оценки надёжности ИС обусловлена сложностью самих ИС, представляющих собой различные системы «человек-машина», имеющих сложную неоднородную структуру: эргатические звенья, различные средства технического характера, программное обеспечение и др. Для анализа таких систем представляется целесообразным применение *системного подхода* [8], подразумевающего проведение мероприятий, которые были предварительно интегрированы, что обеспечивает высокую эффективность системы осуществляемых взаимосвязанных мер и получение качественных результатов, в том числе в отношении *надёжности* ИС. То есть системный подход помогает прийти к росту уровня надёжности ИС на основе синергии реализуемых мероприятий.

Адекватная оценка надёжности информационных систем предполагает учет ряда факторов, основными из которых, согласно действующей системе стандартов «Надёжность в технике», в частности, согласно ГОСТ.27.002—89 и ГОСТ.24.701—86³, являются: слож-

ность техники и ее высокопроизводительных систем; надёжность комплектующих; важность функций аппаратуры; условия эксплуатации и др. Кроме того, следует учитывать разнообразие и характеристики всевозможных отказов техники (имеющих случайную природу) и программного обеспечения (имеющих детерминированную природу), которые классифицируются в госстандартах по следующим признакам:

- *характер изменения параметров перед отказом* — внезапный отказ скачкообразно меняющихся параметров, постепенный отказ с плавным изменением параметров;
- *происхождение отказов* — конструкционные, производственные и эксплуатационные отказы;
- *характер воздействия отказа* — устойчивые, сбойные и перемежающиеся отказы.

В качестве направлений работ по повышению надёжности технических систем в госстандартах предлагаются следующие:

1. Использование высоконадёжных элементов и интегральных схем.
2. Обеспечение оптимальных режимов работы элементов.
3. Резервирование для сохранения работоспособности при отказе.
4. Восстановление отказавших устройств и сокращение времени восстановления.
5. Повышение надёжности программного обеспечения через резервирование и контроль исполнения процессов.

Для решения задачи оценки надёжности ИС следует также учитывать *концепцию резервирования*, которое применяется для оперативной защиты ИС. В частности, принцип резервирования сходен с параллельным соединением элементов и подходом «*t* из *n*», и подразумевает обеспечение более высокой степени *системной* надёжности (по сравнению с компонентами отдельного типа).

Увеличение *структурной* надёжности ИС включает следующее: применение структурного резервирования в виде добавления дополнительных составных элементов, обеспечивающих осуществление замены элементов основного типа при их отказе. На практике применяются следующие разновидности структурного резервирования:

- *общее* — резервирование всей системы в целом;
- *раздельное* — резервирование отдельных элементов или групп элементов;
- *смешанное* — комбинация различных видов резервирования в одной системе.

При этом используются способы активации резерва:

- *постоянное* резервирование без перестройки структуры: резервирование без необходимости изменения структуры при отказе элемента;
- резервирование *замещением*: передача функций основного элемента резервному после отказа основного;

² Матвеев Е.В., Смирнова М.А. Моделирование характеристик информационной безопасности объекта с помощью логико-вероятностного подхода // Координационный совет по информатизации администрации Владимирской области. URL: <http://ksi.avо.ru/seminar/22.pdf> (дата обращения: 16.06.2011).

³ ГОСТ.24.701—86. Единая система стандартов АСУ. Надёжность АСУ. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2009. 11 с.; ГОСТ.27.002—89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1990. 24 с.

– *скользящее резервирование*: резервирование нескольких основных элементов одними или несколькими резервными, способными заменить любой основной элемент.

Главная характеристика резервирования (структурного типа) — *кратность* резервирования, т. е. отношение числа составных частей (резервных) к числу резервируемых, выраженное дробью (типа «2:3»; «4:2» и др.), которая не сокращается.

Следует заметить, что в ситуации кратности «1:1» подразумевается дублирование или повторение (простое). Для системы из n соединенных последовательно компонентов после резервирования одной из составных частей (k -го) аналогичным по своему уровню надежности элементом, *коэффициент выигрыша надежности* (отношение показателя надежности до системного преобразования и после выполнения данного процесса) по вероятности безотказного функционирования определяется по формуле, вытекающей из формулы надежности сложной системы⁴:

$$G_p = \frac{P'}{P} = \frac{p_1 p_2 \dots p_{k-1} [1 - (1 - p_k)^2] p_{k+1} \dots p_n}{p_1 p_2 \dots p_{k-1} p_k p_{k+1} \dots p_n} = \frac{1 - (1 - p_k)^2}{p_k} = 2 - p_k.$$

Из этой формулы следует, что показатель эффективности резервирования тем больше, чем соответственно меньше уровень такого показателя, как надежность для компонента резервируемого ($G_p = 1,1$ при $p_k = 0,9$ — вероятность безотказной работы k -го элемента). То есть наиболее высокого уровня показателя эффекта (при резервировании структурного типа) возможно добиться именно во время резервирования ненадежных групп элементов или же отдельных составных частей.

Построение математических моделей для оценки надежности информационных систем

Для понимания степени надежности функционирования ИС очень важно использовать математические модели, в рамках которых учитываются соответствующие процессы и вероятностный характер их работы.

Для расчета уровня показателя системной надежности могут использоваться методы интегральных уравнений, дифференциальных уравнений, переходных интенсивностей, оценки уровня показателя надежности по графу возможных состояний и др.

Применение метода *интегральных уравнений*⁵ является более универсальным и может использоваться для осуществления расчета уровня показателя надежности разнообразных ИС, как с возможностью восстановления, так и без нее⁶.

Процесс составления и решения интегральных уравнений включает следующие этапы:

1. Определение показателей надежности системы.
2. Составление и решение интегральных и интегро-дифференциальных уравнений.
3. Учет времени восстановления элементов для восстанавливаемых систем.
4. Начало составления уравнений с выделения интервалов времени и рассмотрение соотношений, возникающих при совместном действии факторов.
5. Решение уравнений с использованием соответствующих численных или аналитических методов.

Метод *дифференциальных уравнений*⁷ базируется на допущении об экспоненциальном типе распределения времени между отказами (наработкой) и времени осуществления процесса восстановления. В теории *массового обслуживания*⁸ приняты следующие обозначения: интенсивность потока отказов $\lambda = \frac{1}{t_{cp}}$, где t_{cp} —

среднее время безотказного функционирования; интенсивность восстановления $\mu = \frac{1}{t_B}$, где t_B — среднее

время восстановительного процесса.

По первоначальным сведениям о применении системы выстраивается *эксплуатационная модель* в форме графа состояний. Вершинами графа является множество вероятных состояний системы $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, где она может располагаться во время отказов и системного восстановления. Иногда система S перемещается в результате отказа и восстановления отдельных элементов из одного состояния в другое. Вероятные переходы из какого-либо одного состояния во все остальные отражают ребра графа, в которых используются параметры «интенсивность отказа» и «интенсивность восстановления» (близлежащие стрелки указывают на интенсивность перехода). Совокупность (набор) отказов и рабочих состояний подсистемы отвечает состоянию всей системы. Число системных состояний: $n = 2^k$, где k — показатель числа элементов (подсистем). В то же время на малом временном отрезке вероятен один отказ или же одно восстановление.

⁵ Светова Н.Ю., Семенова Е.Е. Дифференциальные и интегральные уравнения. В 3-х ч. Ч. 3. Петрозаводск: ПетрГУ, 2014. 56 с.

⁶ Морозов Ю.М. Надежность аппаратно-программных комплексов: уч. пособие. СПб.: СПбГПУ, 2011. 136 с.

⁷ Там же.

⁸ Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.

⁴ Шишмарёв В.Ю. Надежность технических систем: учебник. М.: Урайт, 2024. 289 с. С. 107.

Уравнения Колмогорова в терминах вероятностей

Уравнения Колмогорова — это инструмент, который помогает понять, как вероятности состояний системы меняются в различных ситуациях. В процессе составления уравнений Колмогорова в левых частях — фиксируется изменение уровня вероятности нахождения объекта в конкретном состоянии, в правых частях — добавляется необходимая информация о связях между состояниями системы. Компоненты уравнений добавляются со знаком «минус» для выходящих из состояния связей и «плюс» для входящих рёбер соответствующего графа состояний.

Члены уравнения показывают, как они влияют на вероятность нахождения системы в каждом состоянии, на интенсивность отказов или восстановлений. Число уравнений системы Колмогорова соответствует числу состояний системы, каждое уравнение описывает изменение степени вероятности нахождения в каждом системном состоянии с течением времени t .

Система дифференциальных уравнений должна быть дополнена условием нормировочного характера:

$$\sum_{j=0}^n P_j(t) = 1,$$

где $P_j(t)$ — вероятность нахождения системы в определенном j -м состоянии; n — число вероятных системных состояний.

Решение системы уравнений дает значение искомым вероятностей $P_j(t), j = 1, \dots, n$.

Все множество возможных системных состояний разделяется на две части: подмножество n_1 состояний, в которых система является работоспособной, и подмножество n_2 состояний, где система является неработоспособной. Функционал системной готовности имеет вид:

$$K_r(t) = \sum_{j=0}^{n_1} P_j(t) = 1,$$

где $P_j(t)$ — вероятность системного нахождения в j -м состоянии (функциональном); n_1 — число всех состояний, в рамках которых система является функциональной.

Когда необходимо вычислить коэффициент готовности системы или коэффициент простоя (перерывы в функционировании системы разрешены), анализируют установившийся эксплуатационный режим (при $t \rightarrow \infty$). Каждая производная в стационарном режиме $P'_j(t) = 0$, и кроме того, система дифференциальных уравнений трансформируется в упорядоченную совокупность уравнений алгебраического типа, которые решаются достаточно просто.

Проиллюстрируем (рис. 1) пример графа разнообразных состояний системы нерезервированного восстанавливаемого типа с n элементами, которые могут пребывать в следующих статусах:

- S_0 — каждый элемент является работоспособным;
- S_1 — 1-я составная часть является неработоспособной, прочие являются работоспособными;
- S_2 — 2-я составная часть является не функциональной, прочие же функциональны;
- ...

S_n — обозначение n -й неработоспособной составной части, прочие являются функциональными (штриховкой зафиксированы состояния, являющиеся неработоспособными).

Обозначения $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ присвоены интенсивностям отказов; $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ — интенсивности восстановления компонентов с соответствующими номерами.

Вероятность одновременного возникновения двух неработоспособных компонентов является пренебрежимо малой.

По графу состояний формируется соответствующая система дифференциальных уравнений [8]:

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_1 P_0(t) - \mu_1 P_1(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_2 P_0(t) - \mu_2 P_2(t); \\ \dots \\ \frac{dP_n(t)}{dt} = \lambda_n P_0(t) - \mu_n P_n(t). \end{cases}$$

с условием нормировочного типа $\sum_{j=0}^n P_j(t) = 1$ и с исходными условиями:

$$P_0(0) = 1; P_1(0) = P_2(0) = \dots = P_n(0) = 0.$$

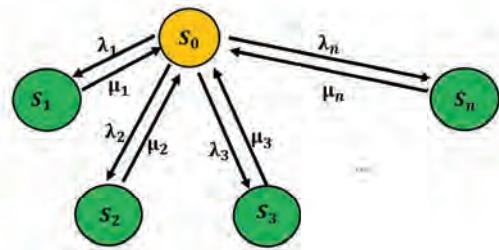


Рис. 1. Граф состояний нерезервированной восстанавливаемой системы с n элементами

При сформированном стационарном эксплуатационном режиме (при $t \rightarrow \infty$) получаем:

$$\begin{cases} \lambda_1 P_0(t) - \mu_1 P_1(t) = 0; \\ \lambda_2 P_0(t) - \mu_2 P_2(t) = 0; \\ \dots \\ \lambda_n P_0(t) - \mu_n P_n(t) = 0. \end{cases}$$

Решив полученную систему алгебраических уравнений с учетом нормировочного условия, находим показатели надежности. При решении системы уравнений можно использовать преобразование Лапласа для вероятностей состояний или численные методы⁹.

⁹ Крайнов А.Ю., Моисеева К.М. Численные методы решения крайних задач для обыкновенных дифференциальных уравнений. Томск : STT, 2016. 44 с.

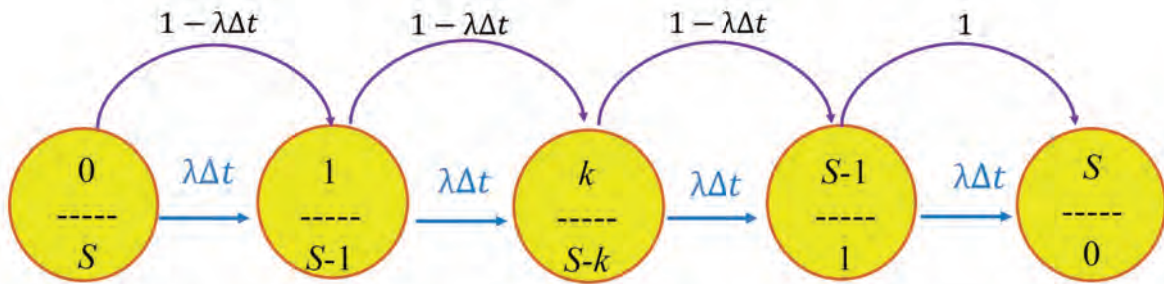


Рис. 2. Граф системных переходов

Следует также учитывать, что системы резервирования в технике подразделяются на системы холодного и горячего резервирования.

Холодное резервирование:

1. Описание метода: система с одним элементом (основным) и несколькими резервными.
2. Принцип работы: транзакт последовательно проходит через каналы обслуживания:
 - начало работы: транзакт помещается в первый канал и задерживается там на время исправной работы первого элемента;
 - отказ основного элемента: транзакт переходит в первый резервный элемент и так далее;
 - конец работы: транзакт покидает систему при не исправности последнего резервного элемента.
1. Преимущество: максимальное использование резервных единиц.

Горячее резервирование:

Описание метода: все составные части системы находятся в функциональном состоянии с самого начала работы.

2. Принцип работы: не требует дополнительных переключений незамедлительно при выходе из строя элементов.
3. Преимущество: отсутствие переключающих устройств. Недостатки: высокая степень интенсивности выхода из строя составных частей, влекущая сокращение уровня надежности системы.

Пример: интенсивность отказов для систем с резервированием горячего типа с двукратным резервированием в исходный момент втрое выше, чем для соответствующих систем с резервированием холодного типа.

Следовательно, заключаем:

1. **Выбор метода резервирования:** подходящий метод зависит от требований к надежности и эффективности использования резервных единиц.
1. **Сравнение методов:** посредством резервирования горячего типа обеспечивается наиболее быстрый процесс восстановления, но при этом сокращается уровень системной надежности, в то время как резервирование холодного типа по максимуму применяет единицы резервного характера.

Примем, что надежности устройств переключающего типа являются равными. Резервные составные части располагаются в таких же наружных условиях, что и главная составная часть, являющаяся функциональной. В целом в групповой состав входит S составных частей: один рабочий и $S - 1$ резервного типа. Интенсивность отказов равна λ (рис. 2):

Для тех состояний, что не имеют переходов (непосредственных), можно считать:

$$\lambda_{ij} = \lambda_{ji} = 0$$

Уравнения Колмогорова для систем аналогичного типа имеют следующее общее представление [8]:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=1, j \neq i}^n \lambda_{ji} P_j(t) - P_i(t) \left(\sum_{j=1, j \neq i}^n \lambda_{ji} \right), \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Исходя из графического представления данной системы, можно выразить ее через следующий набор дифференциальных уравнений [8]:

$$\begin{cases} P'_0(t) = -\lambda P_0(t), \\ P'_1(t) = -\lambda P_1(t) + \lambda P_0(t), \\ \dots \\ P'_n(t) = -\lambda P_n(t) + \lambda P_{n-1}(t), \\ \dots \\ P'_s(t) = \lambda P_{s-1}(t). \end{cases}$$

Система решается при помощи операционного исчисления. Запись соотношения осуществляется при использовании преобразования Лапласа:

$$\begin{aligned} p(t) &\leftarrow P(\omega), \\ \lambda p(t) &\leftarrow \lambda P(\omega), \\ p'(t) &\leftarrow \omega P(\omega) + p(0). \end{aligned}$$

В результате вместо дифференциальных уравнений (или их системы) получается система алгебраических уравнений для комплексной переменной

$$\begin{cases} (\lambda + \omega)P_0(\omega) = 1, \\ \dots \\ (\lambda + \omega)P_n(\omega) = \lambda P_{n-1}(\omega), \\ \dots \\ \omega P_s(\omega) = \lambda P_{s-1}(\omega). \end{cases}$$

Вероятность того, что произойдет отказ ИС, находится перемножением уравнения:

$$P_s(\omega) = \frac{\lambda^s}{(\lambda + \omega)^{s+1}}.$$

Применяя соответствующую формулу возврата к оригиналам $\frac{A}{(\omega - \alpha)^k} \rightarrow \frac{At^{k-1}}{k-1} e^{\alpha t}$, получаем

$$P_s(t) = \frac{(\lambda t)^s}{s!} e^{-\lambda t}.$$

Противоположным обстоятельством (событием) является безотказная работа резервированной ИС, для него значение вероятности $P_{\text{рез}} = 1 - P_s = 1 - \frac{(\lambda t)^s}{s!} e^{-\lambda t}$. С учетом равенства

$$\sum_{k=0}^m P_k(t) = \sum_{k=0}^m \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} = 1$$

имеем следующую оценку уровня вероятности безотказного функционирования резервированной ИС:

$$P_{\text{рез}} = e^{-\lambda t} \sum_{k=0}^{s-1} \frac{(\lambda t)^k}{k!}.$$

Заметим, что экспоненциальному закону не подчинена вероятность исправного функционирования, в связи с этим усредненное значение времени безотказного функционирования находим как $T = \int_0^{\infty} P(t) dt$

(формула $T = \frac{1}{\lambda}$ в данном случае неприменима).

Численный практический пример

В типовом информационно-вычислительном комплексе (ИВК) используется двукратное резервирование: одна электронно-вычислительная машина (ЭВМ) — функциональная, две являются резервными ($s = 3$). Показатель (усредненный) времени наработки на отказ 1-й ЭВМ достигает уровня в 20 час, отсюда уровень интенсивности отказов $\lambda = \frac{1}{t} = 0,05 \frac{1}{\text{час}}$. Полагаем, что в самом начале функционирования каждая ЭВМ является корректно работающей. Исходя из этого,

необходимо определить уровень вероятности того, что ИВК функционален спустя 60 час после запуска.

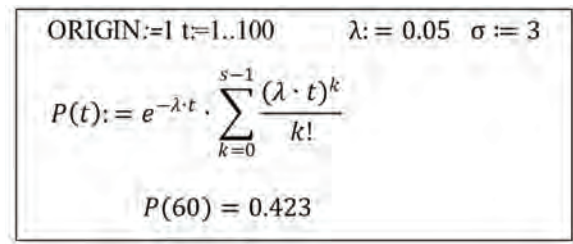


Рис. 3. Фрагмент рабочего листа MathCAD

Решение. Применяется выражение для установления вероятности безотказного функционирования ИВК:

$$P_{\text{рез}}(t) = e^{-\lambda t} \sum_{k=0}^{s-1} \frac{(\lambda t)^k}{k!}.$$

В рамках среды MathCAD определяется $P_{\text{рез}}(60)$ — искомое значение (рис. 3). После этого строится (рис. 4) график зависимости вероятности постоянного функционирования ИВК от времени (вместо S применяется иное обозначение — σ).

Для решения задачи используется программное обеспечение MathCAD с численным методом — методом Рунге-Кутты с постоянным шагом. Этот метод реализован в функции rkfixed.

В процедуре rkfixed задаются соответствующие параметры: число n шагов; число узлов сетки; отрезок $[a, b]$: временной интервал, на котором ищется решение; вектор y начальных условий; вектор $f(x, y)$ правых частей системы дифференциальных уравнений Колмогорова.

Начальные условия определяются из физического смысла самих условий задачи; обычно для ИВК в первоначальном состоянии показатель вероятности единственный, ввиду того, что комплекс на старте своей работы является корректно работающим, а прочие вероятности нулевые.

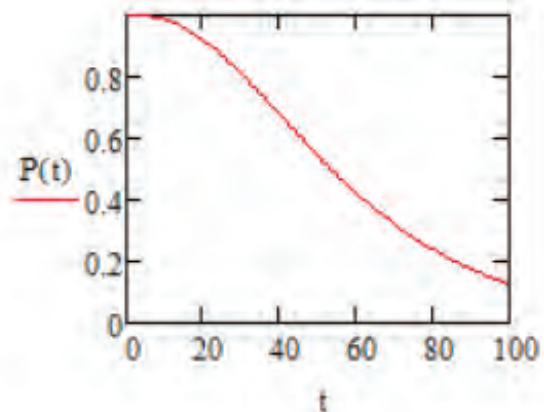


Рис. 4. Построение графика в MathCAD

$$\begin{aligned} \text{ORIGIN} &= 1 \\ \lambda &= 0.05 \end{aligned} \quad P = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$f(t, P) = \begin{bmatrix} -\lambda P_1 \\ \lambda P_1 - \lambda P_2 \\ \lambda(P_2) - \lambda P_3 \\ \lambda P_3 \end{bmatrix}$$

$$P = \text{rkfixed}(P, 0, 100, 100, f)$$

Рис. 5. Фрагмент рабочего листа MathCAD — решение методом Рунге-Кутты

Отрезок $[a, b]$ соответствует времени, в течение которого следует дать оценку показателю системной функциональности. Число n шагов избирается исследователем, учитывающим запросы к точности решения задачи и, кроме того, удобство представления необходимых результатов.

На рабочем листе MathCAD вводятся исходные данные (рис. 5).

Заметим, что выдача решения задачи осуществляется в виде матрицы P (рис. 6). В первом её столбце установлены определённые временные значения. Пятый столбец включает в себя значения вероятностей нахождения системы в соответствующем состоянии P_{σ} . Обратим внимание, что в этом состоянии ИВК является несостоятельным, т. е. неисправным (все три ЭВМ являются дефектными).

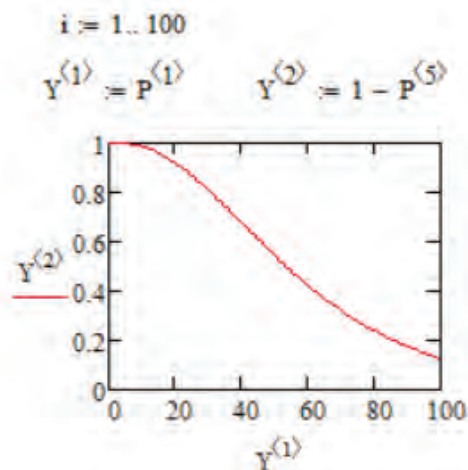


Рис. 7. График зависимости вероятности нормального функционирования ИВК от времени в MathCAD

	1	2	3	4	5
1	0	1	0	0	0
2	1	0.951	0.048	$1.189 \cdot 10^{-3}$	$2.005 \cdot 10^{-5}$
3	2	0.905	0.09	$4.524 \cdot 10^{-3}$	$1.546 \cdot 10^{-4}$
4	3	0.861	0.129	$9.683 \cdot 10^{-3}$	$5.028 \cdot 10^{-4}$
5	4	0.819	0.164	0.016	$1.148 \cdot 10^{-3}$
6	5	0.779	0.195	0.024	$2.161 \cdot 10^{-3}$
7	6	0.741	0.222	0.033	$3.599 \cdot 10^{-3}$
8	7	0.705	0.247	0.043	$5.509 \cdot 10^{-3}$
9	8	0.67	0.268	0.054	$7.926 \cdot 10^{-3}$
10	9	0.638	0.287	0.065	0.011
11	10	0.607	0.303	0.076	0.014
12	11	0.577	0.317	0.087	0.018
13	12	0.549	0.329	0.099	0.023
14	13	0.522	0.338	0.11	0.028

Рис. 6. Фрагмент рабочего листа MathCAD-таблица вероятностей нахождения ИВК в состоянии неисправности

Для $t = 60$ получим $P_g(60) = 0,577$, и это означает, что вероятность функциональности ИВК в соответствующий временной момент $t = 60$ равна $1 - 0,577 = 0,423$, что целиком соответствует результату, который был получен прежде.

Далее строится график зависимости вероятности нормального функционирования ИВК от времени (рис. 7).

То есть в программной среде *Mathcad Worksheets* возможно построить наглядные конгруэнтные вероятностно-временные графики для оценки надежности функционирования информационных систем.

Заключение

Таким образом, рассмотренное информационно-математическое обеспечение позволяет автоматизированно решать задачу своевременной и адекватной оценки

надежности информационных систем на основе общепринятых вероятностно-временных показателей.

Наряду с вероятностными показателями, все большее распространение начинают получать методы и методики детерминистского анализа надежности и безопасности систем. В основе детерминистского анализа лежит стремление получить научно обоснованные сведения о надежности и безопасности системы при отсутствии достоверных вероятностных характеристик исходных событий и элементов исследуемой системы.

В заключение нужно отметить, что постоянно возрастающая сложность информационных систем и необходимость их интеграции с корпоративными ИТ-системами выдвигают требования по надежности систем на первое место [9]. Современные технические решения позволяют прогнозировать успешное применение информационных систем в самых сложных и ответственных приложениях.

Рецензент: Алексеев Владимир Витальевич, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой информационных систем и защиты информации Тамбовского государственного технического университета, г. Тамбов, Российская Федерация.

E-mail: vvalex1961@mail.ru

Литература

1. Борисов Р.С. Эффективный алгоритм управления переработкой судебной статистической информации // Правовая информатика. 2018. № 1. С. 15—22. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-1-15-22 .
2. Бычков С.С., Попов А.М., Золотарев В.В. Повышение уровня надежности информационных систем // Вестник СибГАУ. 2014. № 3 (55). С. 42—47.
3. Ващекин А.Н., Ващекина И.В. Противодействие преступной деятельности в условиях развития цифровых технологий дистанционного банковского обслуживания // Правовая информатика. 2019. № 4. С. 86—95. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-4-86-95 .
4. Жидко Е.А., Попова Л.Г. Обеспечение требований по информационной безопасности на основе инноваций // Информатика и безопасность. 2013. Т. 16. № 3. С. 453—458.
5. Коваленко О.В., Петрин С.В. Вероятностный анализ безопасности сложных систем «человек-машина». Сарово : РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2010. 114 с.
6. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем. М. : РГУП, 2021. 314 с. ISBN 978-5-93916-887-8.
7. Ловцов Д.А. Информационная надёжность функционирования телематической сети ГАС РФ «Правосудие» // Правовая информатика. 2018. № 1. С. 40—48. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-1-40-48 .
8. Ловцов Д.А. Системный анализ. Часть. 1. Теоретические основы. М. : РГУП, 2018. 224 с. ISBN 978-5-93916-701-7.
9. Ловцов Д.А. Теория защищенности информации в эргасистемах : монография. М. : РГУП, 2021. 273 с. ISBN 978-5-93916-896-0.
10. Ловцов Д.А. Эффективность правовых эргасистем в инфосфере // Правовая информатика. 2020. № 1. С. 4—14. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-1-04-14 .
11. Ловцов Д.А., Сергеев Н.А. Имитационно-игровое моделирование функционирования и прогнозирования развития крупномасштабных эргасистем // Тр. V Междунар. науч.-прак. конф. «Трансформация национальной социально-экономической системы России», 2 декабря 2022 г. М. : РГУП, 2023. С. 495—502.
12. Озорнин С.П. Основы работоспособности технических систем. Чита : ЧитГУ, 2006. 123 с.
13. Столлингс У. Структурная организация и архитектура компьютерных систем. М. : Вильямс, 2002. 892 с.
14. Царькова Е.В. Информационно-математическое обеспечение задач «цифровой» экономики в нечетких условиях // Правовая информатика. 2019. № 1. С. 18—28. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-1-18-28 .
15. Юркевич В. В. Надежность и диагностика технологических систем. М. : Академия, 2011. 304 с. ISBN 978-5-7695-5990-7.
16. Lovtsov D.A. Informational Indexes of Efficiency of Control Systems for Complex Dinamic Objects // Automation and Remote Control, 1994. V. 55. No. 12. Part 2. Pp. 1824—1829.

INFORMATION AND MATHEMATICAL SUPPORT FOR ASSESSING RELIABILITY OF INFORMATION SYSTEMS

Elena Tsar'kova, Ph.D. (Physics and Mathematics), Associate Professor at the Department of Information Technology Law, Informatics and Mathematics of the Russian State University of Justice, Moscow, Russian Federation.

E-mail: e.v.tsarkova@mail.ru

Keywords: structural, cold and hot redundancy; methods, models, assessment, indicators, reliability, differential equations, data processing and computer system, proper operation probability.

Abstract

Purpose of the work: improving the scholarly and methodological basis for the information systems efficiency theory.

Methods used in the study: system analysis and mathematical modelling of the process of assessing reliability of information systems considering different kinds of structural redundancy and ways for activating reserves, methods for calculating the system reliability indicator, ways for increasing reliability of systems.

Study findings: features of ensuring reliability of information systems, the main areas of activity for increasing the efficiency level and quality of information systems, approaches to determining reliability indicators are studied. A practical case of MathCad calculation of the reliability indicator for a typical data processing and computer system with double redundancy using a system of Kolmogorov differential equations for hot and cold redundancy.

References

1. Borisov R.S. Effektivnyi algoritm upravleniia pererabotkoi sudebnoi statisticheskoi informatsii. Pravovaia informatika, 2018, No. 1, pp. 15–22. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-1-15-22 .
2. Bychkov S.S., Popov A.M., Zolotarev V.V. Povyshenie urovnia nadezhnosti informatsionnykh sistem. Vestnik SibGAU, 2014, No. 3 (55), pp. 42–47.
3. Vashchekin A.N., Vashchekina I.V. Protivodeistvie prestupnoi deiatel'nosti v usloviakh razvitiia tsifrovyykh tekhnologii distantsionnogo bankovskogo obsluzhivaniia. Pravovaia informatika, 2019, No. 4, pp. 86–95. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-4-86-95 .
4. Zhidko E.A., Popova L.G. Obespechenie trebovaniia po informatsionnoi bezopasnosti na osnove innovatsii. Informatsiia i bezopasnost', 2013, t. 16, No. 3, pp. 453–458.
5. Kovalenko O.V., Petrin S.V. Veroiatnostnyi analiz bezopasnosti slozhnykh sistem "chelovek-mashina". Sarovo : RFIaTs-VNIIEF, 2010. 114 pp.
6. Lovtsov D.A. Informatsionnaia teoriia ergasistem. M. : RGUP, 2021. 314 pp. ISBN 978-5-93916-887-8.
7. Lovtsov D.A. Informatsionnaia nadezhnost' funktsionirovaniia telematicheskoi seti GAS RF "Pravosudie". Pravovaia informatika, 2018, No. 1, pp. 40–48. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-1-40-48 .
8. Lovtsov D.A. Sistemnyi analiz. Chast'. 1. Teoreticheskie osnovy. M. : RGUP, 2018. 224 pp. ISBN 978-5-93916-701-7.
9. Lovtsov D.A. Teoriia zashchishchennosti informatsii v ergasistemakh : monografiia. M. : RGUP, 2021. 273 pp. ISBN 978-5-93916-896-0.
10. Lovtsov D.A. Effektivnost' pravovykh ergasistem v infosfere. Pravovaia informatika, 2020, No. 1, pp. 4–14. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-1-04-14 .
11. Lovtsov D.A., Sergeev N.A. Imitatsionno-igrovoe modelirovanie funktsionirovaniia i prognozirovaniia razvitiia krupnomasshtabnykh ergasistem. Tr. V Mezhdunar. nauch.-prak. konf. "Transformatsiia natsional'noi sotsial'no-ekonomicheskoi sistemy Rossii", 2 dekabria 2022 g. M. : RGUP, 2023, pp. 495–502.
12. Ozornin S.P. Osnovy rabotosposobnosti tekhnicheskikh sistem. Chita : ChitGU, 2006. 123 pp.
13. Stollings U. Strukturnaia organizatsiia i arkhitektura komp'iuternykh sistem. M. : Vil'iams, 2002. 892 pp.
14. Tsar'kova E.V. Informatsionno-matematicheskoe obespechenie zadach "tsifrovoy" ekonomiki v nechetskikh usloviakh. Pravovaia informatika, 2019, No. 1, pp. 18–28. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-1-18-28 .
15. Iurkevich V.V. Nadezhnost' i diagnostika tekhnologicheskikh sistem. M. : Akademiia, 2011. 304 pp. ISBN 978-5-7695-5990-7.
16. Lovtsov D.A. Informational Indexes of Efficiency of Control Systems for Complex Dynamic Objects. Automation and Remote Control, 1994. V. 55. No. 12. Part 2. Pp. 1824–1829.