

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-304

УДК 621.396.6.07.019.3



Научная статья |

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

К ПРОБЛЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

П.В. Калашиников

В ходе выполненного исследования рассматриваются аспекты функционирования информационных систем в случае неопределенности, описываемой данными интервального типа, а также изучаются основные виды ошибок, возникающих при их функционировании.

Цель исследования состоит в поиске эффективных подходов к обеспечению надежной работы информационных систем при условии наличия неопределенности в значениях параметров, задаваемых данными интервального типа.

Материалы и методы. В данной статье приведен подход к решению задачи управления надежностью сложной информационной системы при наличии фактора неопределенности в значениях параметров, которые могут быть описаны с использованием данных интервального типа и соответствующего математического аппарата работы с ними.

Научная новизна описанного подхода заключается в возможности наиболее точно учитывать фактор погрешностей, имеющих место при работе информационной системы в условиях неопределенности и определять оптимальные варианты коррекции значений ее параметров, не допуская выхода за допустимые интервалы их изменений.

Заключение. Предлагаемый в статье подход предполагается применять при решении задачи обеспечения надежной работы информационной системы в случае наличия неопределенности, кото-

рую можно описать с помощью аппарата интервальных данных. Разработанный метод позволяет найти оптимальное управляющее воздействие на параметры системы в данный момент времени, при котором вероятность возникновения сбоевых отказов будет сведена к минимуму.

Ключевые слова: данные интервального типа; сбоевые ошибки; сложная информационная система; задача управления надежностью

Для цитирования. Калашников П.В. К проблеме управления надежностью информационной системы в условиях интервальной неопределенности // *International Journal of Advanced Studies*. 2024. Т. 14, № 3. С. 62-76. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-304

Original article |

System Analysis, Management and Information Processing, Statistics

ON THE PROBLEM OF CONTROL THE RELIABILITY OF AN INFORMATION SYSTEM UNDER CONDITIONS OF INTERVAL UNCERTAINTY

P.V. Kalashnikov

In the course of the study, aspects of the power supply of information systems are considered in the case of uncertainty described by interval-type data, and the main types of errors that arise during their operation are studied.

The aim of the study is to find effective approaches to ensuring reliable operation of information systems subject to the presence of uncertainty in the values of parameters specified by interval data.

Materials and methods. This article presents an approach to solving the problem of control the reliability of a complex information system in the presence of an uncertainty factor in the values of parameters that can be described using interval type data and the corresponding mathematical methods for working with them.

The scientific novelty of the described approach lies in the ability to most accurately take into account the error factor that occurs when an information system operates under conditions of uncertainty and determine the optimal options for correcting the values of its parameters, without allowing their changes to go beyond the permissible intervals.

Conclusion. *The approach proposed in the article is supposed to be used when solving the problem of ensuring reliable operation of an information system in the presence of uncertainty, which can be described using the apparatus of interval data. The developed method makes it possible to find the optimal control effect on the system parameters at a given time, at which the probability of failures will be minimized.*

Keywords: *interval type data; failure errors; complex information system; reliability management problem*

For citation. *Kalashnikov P.V. On the Problem of Control the Reliability of an Information System under Conditions of Interval Uncertainty. International Journal of Advanced Studies, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 62-76. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-304*

Введение

Информационные системы представляют собой важный компонент современных технологических процессов, проходящих в различных областях народного хозяйства и охватывающих множество аспектов жизни современного общества. Надежное функционирование информационных систем является мощным фундаментом для внедрения передовых технологий в различных областях науки и техники. Возникающие риски, связанные с наличием сбоев и функциональных отказов при работе информационных систем, представляют собой серьезную угрозу для тех отраслей экономики, где эти системы применяются. В работах [1-7] раскрыты основные аспекты описанной выше проблематики.

Однако попытки применить классическую теорию структурной надежности в контексте информационных систем сталкиваются с следующими проблемами:

- 1) Сложность деления информационной системы на подсистемы, обусловленная их взаимной коррелированностью и невозможность представить такую систему как простую сумму компонентов, из которых она состоит.
- 2) В современных информационных системах процессы принятия решений протекают очень быстро, что требует применение специальных средств массового обслуживания запросов, построенных на основе механизма дискретных функций.
- 3) Отличительными особенностями информационных систем являются наличие сбоевых ошибок в работе аппаратных средств, наличие ошибок в используемом программном обеспечении, а также необходимость учета факторов риска информационной безопасности.

Цель исследования состоит в разработке эффективных методов управления надежностью работы информационных систем в случае наличия неопределенности в значениях параметров, описываемой данными интервального типа.

Задачами проводимого исследования являются: построение математической модели, позволяющей описать общий механизм функционирования информационной системы в условиях интервальной неопределенности, возникновения функциональных отклонений, а также анализ основных типов ошибок.

В работах [8-14] описаны основные подходы к решению задачи обеспечения эффективной надежной работы информационной системы. При этом фактор учета возможных погрешностей в значениях параметров рассматриваемого класса систем не описывается.

При анализе функциональной надежности информационной системы учитывают такие факторы, как сбоевые ошибки, ошибки человека оператора, ошибки в программном обеспечении, ошибки в исходных данных. Рассмотрим основные типы ошибок, возникающих при функционировании информационных систем.

Классификация ошибок, возникающих при функционировании информационных систем

Одним из наиболее существенных факторов, влияющих на функционирование информационных систем являются сбоевые ошибки. Выделяют два типа данного класса ошибок: защищенные и незащищенные сбои.

Под защищенным сбоем понимаются ошибки, которые могут быть своевременно обнаружены и устранены за счет механизма структурной избыточности самой информационной системы. К возникновению функциональных отказов, имеющих серьезные последствия для работы информационной системы, такого типа сбои, как правило, не приводят.

Незащищенные сбои в свою очередь могут вызывать серьезные функциональные нарушения в работе информационной системы или отдельных ее компонентов. Одной из основных причин таких сбоев могут выступать импульсные помехи.

Другим важным классом ошибок, имеющих место при функционировании информационных систем являются ошибки при разработке программного обеспечения. К основным типам ошибок при разработке программного обеспечения относят: ошибки описания, ошибки целей, а также программные ошибки, связанные с некорректным выполнением отдельных операций. Данные ошибки могут проявлять себя только на определенных наборах данных, а на других нет, оставаясь незамеченными долгое время.

Модификация программ с целью устранения выявленных ошибок приводит к появлению новых программ, которые также могут содержать ошибки, возникшие при устранении ранее выявленных.

Контроль и своевременное устранение ошибок является важной задачей при создании программного обеспечения, дающей в свою очередь возможность для повышения надежности работы информационной системы в целом.

Наряду с ошибками в программном обеспечении при оценке надежности информационной системы необходимо уделять внимание ошибкам человека-оператора.

Оператор информационной системы выполняет, как правило, сложную высокоинтеллектуальную работу, требующую существенной концентрации внимания и психоэмоциональных нагрузок. Неверные действия оператора могут приводить к возникновению существенных нештатных инцидентов и даже полному останову системы. Современные информационные системы проектируются достаточно часто с учетом фактора ошибок человека-оператора, однако избежать нештатных ситуаций и отказов это позволяет не всегда.

К числу важных факторов, существенно влияющих на надежную работу информационной системы следует также отнести безошибочность данных, с которыми работает система. Под безошибочностью данных понимается нахождение их значений в пределах допустимых интервалов изменения, не вызывающих функциональные отказы и сбои в работе системы. К основным причинам выхода значений данных из допустимых интервалов можно отнести сбойные ошибки, ошибки человека-оператора, а также ошибки, допущенные при разработке программного обеспечения.

При передаче пакетов данных могут возникать ошибки, связанные с тем, что число отправленных пакетов превышает число полученных (ошибка ввода сообщения), количество полученных пакетов меньше количества отправленных (ошибка потери сообщения). В случае совпадения количества отправленных и полученных пакетов данных могут иметь место ошибки, обусловленные задержкой сообщений, искажением их содержания, а также оправкой сообщения от лица не являющегося подлинным отправителем (ошибка имитации сообщения).

При анализе надежности информационной системы особое внимание следует уделять отказам по общей причине. Данный

тип отказов связан, как правило, с нарушением работоспособности нескольких узлов системы, вызванных наличием систематических ошибок. Данный тип отказов может существенным образом негативно сказаться на работе отдельных компонентов информационной системы или всего объекта в целом.

Важным фактором, который необходимо учитывать при анализе надежности информационной системы являются функциональные отказы, возникающие по причине атак злоумышленников. Под атакой понимается действия злоумышленника, направленные на перевод под свой контроль отдельных компонентов или всей системы в целом. В ходе реализации этих используются имеющиеся место аппаратные и программные уязвимости, позволяющие третьим лицам проникать в систему не имея при этом соответствующих прав доступа. Целями проведения подобного сорта атак могут выступать хищение данных, а также попытки перевести систему под свой контроль и заблокировать ее работу.

Разработка мер, направленных на повышение информационной безопасности является одним из основных факторов, позволяющих минимизировать количество функциональных отказов и ущерб причиняемый системе в целом в результате реализации атак злоумышленников.

Задача управления надежностью работы реальной информационной системы требует учета фактора неопределенности в возможных значениях ее параметров. Как правило, такие значения удобно описывать данными интервального типа и применять соответствующий математический аппарат.

Моделирование процесса управления надежностью информационной системы в случае неопределенности, описываемой данными интервального типа

Обработка значений параметров сложных систем в условиях неопределенности, когда известны лишь допустимые границы их изменения представляет собой важную ветвь современной мате-

матической науки, находящей свое выражение в таком ее разделе как статистика интервальных данных. Основные подходы к анализу данных в условиях интервальной неопределенности представлены в работах [15-17].

В общем случае под интервалом вещественной оси понимается множество $M = \{x \in R: \underline{a} \leq x \leq \bar{a}\}$, где \underline{a} – левый, \bar{a} – правый концы интервала $[\underline{a}, \bar{a}]$ соответственно.

Анализ и обработка данных на основе интервального подхода позволяет получать решение тех задач, для которых применение аппарата классической теории вероятностей не возможно, либо дает некорректные результаты.

Рассмотрим задачу управления надежностью информационной системой на основе обработки и анализа данных интервального типа.

Предположим, что в информационную систему выполняется k функциональных задач.

Задача № i , где $i = \overline{1, k}$ характеризуется множеством параметров P_i .

Множество P_i состоит из следующих подмножеств, описывающих основные компоненты информационной системы:

Z_i – множество параметров, описывающих характеристики аппаратных средств информационной системы, относящихся к задаче № i ;

Q_i – множество параметров, описывающих характеристики программных средств информационной системы, относящихся к задаче № i ;

D_i – множество параметров, описывающих характеристики оператора информационной системы, относящихся к задаче № i ;

N_i – множество параметров, описывающих характеристики каналов связи, информационной системы, относящихся к задаче № i ;

Компоненты каждого из множеств Z_i, Q_i, D_i, N_i обозначим строчными буквами z_i, q_i, d_i, n_i соответственно.

Множество $Z_i = \{Z_{i1}, Z_{i2}, \dots, Z_{iR_i}\}$, где R_i – размерность пространства состояний параметров, описывающих техническое состояние аппаратных средств для задачи номер i .

Множество $Q_i = \{q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{iE_i}\}$, где E_i – размерность пространства состояний параметров, описывающих состояние программных средств для задачи номер i .

Множество $D_i = \{d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{iF_i}\}$, где F_i – размерность пространства состояний параметров, описывающих состояние оператора для задачи номер i .

Множество $N_i = \{n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{iT_i}\}$, где T_i – размерность пространства состояний параметров, описывающих состояние каналов связи для задачи номер i .

Каждый компонент описанных выше множеств принимает значения в границах своей области работоспособности, заданной интервалами следующего вида $z_{ij} \in [z_{ij}, \overline{z_{ij}}]$, $j=1, R_i$, $d_{ij} \in [d_{ij}, \overline{d_{ij}}]$, $q_{ij} \in [q_{ij}, \overline{q_{ij}}]$, $j=1, F_i$, $n_{ij} \in [n_{ij}, \overline{n_{ij}}]$, $j=1, T_i$, всюду, если не оговорено противное $i=1, k$.

Состояние информационной системы S в момент времени t задается в виде

$$V(t) = (Z_i(t), Q_i(t), D_i(t), N_i(t)). \quad (1)$$

Обозначим через Y множество всех допустимых траекторий, вдоль которых может меняться состояние рассматриваемой информационной системы.

В случае если значение всех параметров системы находится в пределах их допустимых интервалов изменения, то процесс смены состояний системы протекает по траектории $y \in Y$.

На состояние информационной системы существенное влияние оказывают также и факторы внешней среды.

Обозначим в виде интервального вектора $b = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ множество факторов, оказывающих влияние на рассматриваемую информационную систему S . Каждый компонент b_j рассматриваемого вектора b принимает значение на интервале $[b_j, \overline{b_j}]$, соответствующем допустимым отклонениям значений.

Процесс функционирования системы S в момент времени t можно описать в виде интервалозначной функции безошибочности $F(V, b, t)$.

При проведении оценки надежности работы информационной системы множества ее состояний можно разделить на два подмножества, соответствующих случаю стабильной работы и возникновения сбоевых ошибок соответственно.

Когда речь идет о стабильной работе системы, то при анализе надежности, как правило, выделяют состояния, соответствующие полностью корректно выполненным операциям, а также защищенным сбоям, не вызывающих серьезных функциональных отказов.

Обозначим через V_d – подмножество множества состояний системы, где есть защищенные сбои, не влияющие существенным образом на работоспособность системы.

Множество V_d в свою очередь можно представить в виде ряда упорядоченных подмножеств следующего вида

$$V_{d1} \supset V_{d2} \supset \dots \supset V_{dn} \quad (2)$$

Наличие частичного отказа в работе информационной системы соответствует переходу системы в момент времени t из состояния V_{dk} в состояние V_{dj} , где $V_{dk} \subset V_{dj}$ и при этом значение функции безошибочности удовлетворяет соотношению

$$F(V_{dj}, b, t) < F(V_{dk}, b, t) \quad (3)$$

Случай полного останова информационной системы соответствует переходу системы в состояние, характеризующиеся наличием неустранимых сбоевых ошибок, приводящих к выходу значений параметров за пределы допустимой области безошибочности.

Описанный в данном разделе подход позволяет учитывать фактор неопределенности, имеющий место быть при функционировании реальных информационных систем, а также определять для заданного момента времени t в какое из состояний перейдет система в следующий момент времени и какие корректирующие воздействия на параметры системы необходимо произвести, чтобы не допустить их выхода за пределы допустимой области безошибочности.

Обсуждение и заключение

В ходе проведенного исследования рассмотрены основные аспекты проблематики управления надежностью информационных систем в случае неопределенности значений параметров в виде данных интервального типа. Показаны основные проблемные ситуации, связанные с применением классической теории структурной надежности в контексте информационных систем.

Разработанная в ходе проведенного исследования модель позволяет осуществлять учет фактор погрешности в значениях параметров системы в ходе процесса обеспечения ее стабильного функционирования и в случае необходимости применять корректирующие воздействия, сводящие к минимуму ущерб, возникающий при реализации рискованных событий в форме функциональных отказов.

Список литературы

1. Острейковский В. А. Теория техногенного риска: математические методы и модели: монография; Сургут. гос. ун-т ХМАО-Югр. Сургут: КЦ СурГУ, 2015. 320 с.
2. Острейковский В. А. Количественная оценка риска в теории техногенной безопасности сложных динамических систем // Итоги науки. Т.1. Избранные труды международного симпозиума по фундаментальным и прикладным проблемам науки. М.: РАН, 2013. Гл. 2. С. 12–31.
3. Муравьев И. И. Модели оценки фактора времени в теории техногенного риска динамических систем / И. И. Муравьев, В. А. Острейковский, Е. Н. Шевченко // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 1. С. 24–27.
4. Королев В.Ю. Математические основы теории риска: учебное пособие. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 544 с.
5. Острейковский В.А. О некоторых классах моделей риска в теории техногенной безопасности // Надежность и качество. Труды Международного Симпозиума: в 2 т. / под ред. Н.К.Юркова. Пенза: Изд-во ПГУ, 2013. 1 т. С. 46-49.

6. Калашников П.В. Математическая модель управления рисками, возникающими при функционировании сложных технических систем ответственного назначения в условиях неопределенности информации о значениях параметров и фазовом состоянии // International Journal of Advanced Studies, 2022. Т. 12, № 3. С. 22-39. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-3-22-39>.
7. Калашников П.В. Применение сценарного подхода к анализу и управлению рисками при функционировании сложных динамических систем в условиях интервальной неопределенности // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13, № 3. С. 224-236. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-3-224-236>
8. Наумов Ю. Е. Помехоустойчивость устройств на интегральных логических схемах / Ю. Е. Наумов, Н. А. Аваев, М. А. Бедрековский. М.: Советское радио, 1975. 216 с.
9. Коваленко О. В. Вероятностный анализ безопасности сложных систем человек-машина / О. В. Коваленко, С.В. Петрик. Сарово: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2010. 114 с.
10. Wang Y., Shi W. Budget-Driven Scheduling Algorithms for Batches of MapReduce Jobs in Heterogeneous Clouds // IEEE Transactions on Cloud Computing. 2014. Vol. 2, № 3. P. 306–319. <https://doi.org/10.1109/TCC.2014.2316812>
11. Berkhin P. Survey of Clustering Data Mining Techniques / P. Berkhin J. Kogan, C. Nicholas, M. Teboulle // Grouping Multidimensional Data: Recent Advances in Clustering. Berlin: Springer, 2006. P. 25-71. https://doi.org/10.1007/3-540-28349-8_2
12. Hoehle H. Three decades of research on consumer adoption and utilization of electronic banking channels: A literature analysis / H. Hoehle, E. Scornavacca, S. Huff // Decision Support Systems. 2012. Vol. 54, № 1. P. 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.04.010>
13. Hutchinson D., Warren M. Security for internet banking: A framework // Logistics Information Management. 2003. Vol. 16, № 1. P. 64–73. <https://doi.org/10.1108/09576050310453750>

14. Jain A. K. Data Clustering: A Review / A. K Jain, M. N. Murty, P. J. Flynn // ACM Computing Surveys. 1999. Vol. 31, N 3. P. 264-323. <https://doi.org/10.1145/331499.331504>
15. Шарый С.П. Конечномерный интервальный анализ. Новосибирск: XYZ, 2018. 623 с.
16. Добровец Б.С. Интервальная математика. Красноярск: Издательский центр Красноярского государственного университета, 2004. 219 с.

References

1. Ostreikovskiy V. A. *Theory of technogenic risk: mathematical methods and models*: monograph. Surgut: KC Surgu, 2015, 320 p.
2. Ostreikovskiy V. A. Quantitative risk assessment in the theory of technogenic safety of complex dynamic systems. *Results of Science. Vol. 1. Selected Works of the International Symposium on Fundamental and Applied Problems of Science*. Moscow: RAS, 2013, part 2, pp. 12-31.
3. Muravyev I. I. Time factor estimation models in the theory of technogenic risk of dynamic systems / I. I. Muravyev, V. A. Ostreikovskiy, E. N. Shevchenko. *Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*, 2015, vol. 1, pp. 24-27.
4. Korolev V.Yu. *Mathematical bases of risk theory*: textbook. M.: FIZMATLIT, 2007, 544 p.
5. Ostreikovskiy V.A. About some classes of risk models in the theory of technogenic safety. *Reliability and quality. Proceedings of the International Symposium*: in 2 vol. / edited by N.K. Yurkov. Penza: PSU Publ., 2013. 1 vol., pp. 46-49.
6. Kalashnikov P.V. Mathematical model of risk management arising in the operation of complex technical systems of responsible purpose in conditions of uncertainty of information about the values of parameters and phase state. *International Journal of Advanced Studies*, 2022, vol. 12, no. 3, pp. 22-39. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-3-22-39>.

7. Kalashnikov P.V. Application of scenario approach to the analysis and risk management in the functioning of complex dynamic systems under interval uncertainty. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 224-236. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-3-224-236>
8. Naumov Yu. E. *Interference immunity of devices on integrated logic circuits* / Yu. E. Naumov, N. A. Avaev, M. A. Bedrekovsky. Moscow: Soviet Radio, 1975, 216 p.
9. Kovalenko O. B. *Probabilistic safety analysis of complex man-machine systems* / O.V. Kovalenko, S.V. Petrik. Sarovo: RFNC-VNIIEF, 2010, 114 p.
10. Wang Y., Shi W. Budget-Driven Scheduling Algorithms for Batches of MapReduce Jobs in Heterogeneous Clouds. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 2014, vol. 2, no. 3, pp. 306-319. <https://doi.org/10.1109/TCC.2014.2316812>
11. Berkhin P. Survey of Clustering Data Mining Techniques / P. Berkhin J. Kogan, C. Nicholas, M. Teboulle. *Crouping Multidimensional Data: Recent Advances n Clustering*. Berlin: Springer, 2006, pp. 25-71. https://doi.org/10.1007/3-540-28349-8_2
12. Hoehle H. Three decades of research on consumer adoption and utilization of electronic banking channels: A literature analysis / H. Hoehle, E. Scornavacca, S. Huff. *Decision Support Systems*, 2012, vol. 54, no. 1, pp. 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.04.010>
13. Hutchinson D., Warren M. Security for internet banking: A framework. *Logistics Information Management*, 2003, vol. 16, no. 1, pp. 64-73. <https://doi.org/10.1108/09576050310453750>
14. Jain A. K. Data Clustering: A Review / A. K Jain, M. N. Murty, P. J. Flynn. *ACM Computing Surveys*, 1999, vol. 31, no. 3, pp. 264-323. <https://doi.org/10.1145/331499.331504>
15. Sharyi S.P. *Finite-dimensional interval analysis*. Novosibirsk: XYZ, 2018, 623 p.
16. Dobrovets B.S. *Interval mathematics*. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State University Publ., 2004, 219 p.

ДАнные ОБ АВТОРЕ

Калашников Павел Викторович, младший научный сотрудник
Федеральное государственное учреждение науки Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН); Владивостокский государственный университет
ул. Радио, 5, г. Владивосток, 690041, Российская Федерация; ул. Гоголя, 41, г. Владивосток, 690014, Российская Федерация
kalashnikovpv@iacp.dvo.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Pavel V. Kalashnikov, Junior Researcher
Institute for Automation and Control processes, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences; Vladivostok State University
5, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russian Federation; 41, Gogol Str., Vladivostok, 690014, Russian Federation
kalashnikovpv@iacp.dvo.ru

Поступила 14.08.2024

После рецензирования 01.09.2024

Принята 09.09.2024

Received 14.08.2024

Revised 01.09.2024

Accepted 09.09.2024