

УДК 004.052.2

ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПО СРЕДНЕМУ ЗНАЧЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЯ ЦЕЛЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Гузаиров Мурат Бакеевич

Д.т.н., профессор кафедры «Вычислительная техника и защита информации»,

e-mail: guzairov@ugatu.su

Гвоздев Владимир Ефимович

Д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Техническая кибернетика», e-mail: wega55@mail.ru

Давлиева Алия Салаватовна

Аспирант, e-mail: aliyasr21@gmail.com

Тесленко Вячеслав Викторович

Магистрант, e-mail: stl@yandex.ru

Уфимский государственный авиационный технический университет,

450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

Аннотация. В настоящей работе рассматривается подход к исследованию свойства живучести аппаратно-программных комплексов (АПК) по показателю целевой эффективности с учетом интервальной неопределенности компонентов структуры состояний. Описывается задача оценки влияния вариативности показателей эффективности АПК в разных режимах функционирования на оценку живучести по среднему значению показателя целевой эффективности. Приводятся результаты исследований, соответствующие различным структурам состояний АПК.

Ключевые слова: целевая эффективность, живучесть, структура состояний, аппаратно-программный комплекс.

Введение. Системы информационной поддержки управления, по сути являющиеся сложными аппаратно-программными комплексами, в настоящее время стали ключевым фактором, определяющим безопасность и эффективность функционирования сложных систем разной природы [10, 13]. Системообразующая роль систем информационной поддержки обусловлена неразрывным единством комплекса задач управления сложными объектами, реализуемыми в рамках системного подхода, и задач построения и использования систем информационной поддержки решения задач управления [1, 16 и др].

В литературе описаны различные подходы и модели аппаратно-программных комплексов (АПК), как разновидностей сложных систем, соответствующие разным точкам зрения на них; разным фазам жизненного цикла и т.д. [14]. В рамках этих подходов в той или иной форме обсуждается трехкомпонентная архитектура информационных систем: аппаратная; информационная; алгоритмическая. В рамках этих архитектур в различной форме подчеркивается значимость свойства функциональной безопасности, независимо от назначения, масштаба, сложности информационных систем.

Системной характеристике «функциональная безопасность» можно поставить в соответствие различные статические и динамические характеристики, к числу которых относятся уязвимость ([8, 11] и др.); живучесть ([5-7,12, 15] и др.); стойкость ([18] и др.).

Упомянутым характеристикам ставятся в соответствие разные модели, построенные в рамках различных формальных подходов.

Для сложных АПК характерно эволюционное развитие. В силу этого включение в систему новых компонентов требует комплексного анализа как свойств этих компонентов в составе системы, так и исследования изменения свойств АПК вследствие изменения его структуры.

Многокритериальный анализ альтернатив проектных решений (в функционально; информационно; организационном и иных аспектах) на ранних стадиях жизненного цикла компонентов, включаемых в АПК, в том числе предполагает исследования их живучести.

В настоящей работе описан подход к исследованию свойства живучести компонентов АПК по показателю целевой эффективности с учетом интервальной неопределенности компонентов структуры состояний.

1. Средняя целевая эффективность как показатель живучести АПК. В настоящее время в различных источниках [6, 7 и др.] даются несколько различающиеся по форме, но близкие по содержанию определения понятия «живучесть системы». Ключевыми моментами в этих определениях являются:

- способность системы адаптироваться к непредвиденным ситуациям, вызванным изменениями в окружающей среде, либо в структуре системы;
- способность системы сохранять при этом приемлемые значения потребительских свойств.

В настоящей работе под живучестью АПК понимается способность системы адаптироваться к изменившимся условиям функционирования, противостоять негативным воздействиям за счет изменения свойств компонентов структуры, сохраняя при этом приемлемые для потребителя поведение системы.

Целевая эффективность [9] характеризует соответствие функциональных возможностей системы ее целевому назначению с точки зрения пользователей. В силу этого целевая эффективность может выступать в качестве интегральной характеристики соответствия свойств АПК представлениям потребителей о том, что считается «нормальным функционированием системы».

2. Формальная постановка задачи. Исходными данными задачи оценки влияния структурных решений на оценку живучести по показателю целевой эффективности компонентов АПК являются:

1) структура состояний системы Str в виде графа $V = (S, \lambda)$, где S_i – узлы (состояния) системы; λ_{ij} – ребра, соединяющие i -й и j -й узлы, $i, j = \overline{1; n}$. Множество $\{S\}_1^n$ представляет собою полную группу несовместных событий, причем каждому i -му узлу ставится в соответствие показатель эффективности \mathcal{E}_i ;

2) известные базовые значения показателей эффективности $\mathcal{E}_i^{(0)}, (i = \overline{1; n})$, а также базовые значения диапазонов отклонений $\{\Delta\mathcal{E}_i^{(H)}, \Delta\mathcal{E}_i^{(B)}\}$ показателей эффективности в меньшую и большую от $\mathcal{E}_i^{(0)}$ стороны, т.е. $\mathcal{E}_i^{(0)} \in [\mathcal{E}_i^{(H)}, \mathcal{E}_i^{(B)}]$, где $\mathcal{E}_i^{(H)} = \mathcal{E}_i^{(0)} - \Delta\mathcal{E}_i^{(H)}$, $\mathcal{E}_i^{(B)} = \mathcal{E}_i^{(0)} + \Delta\mathcal{E}_i^{(B)}$;

3) известный оператор расчета на основе $\mathcal{E}_i^{(0)}, (i = \overline{1; n})$ и λ_{ij} базовой интегральной характеристики целевой эффективности структуры

$$A: \{\mathcal{E}_i^{(0)}, \lambda_{ij}\} \rightarrow Str^{(0)};$$

4) значение интегральной характеристики целевой эффективности структуры $Str^{(k)}$, соответствующее ухудшению показателя эффективности в k -м состоянии. Ухудшение обусловлено изменением границ диапазона $\mathcal{E}_k^{(II)} \in [\Delta\mathcal{E}_k^{(H)(II)}, \Delta\mathcal{E}_k^{(B)(II)}]$ в худшую, по сравнению с $\mathcal{E}_k^{(0)}$, сторону.

Требуется: определить, до какой степени возможна компенсация изменения интегральной характеристики целевой эффективности структуры за счет целенаправленного изменения границ диапазонов показателей эффективности иных, помимо k -го, узлов системы, т.е.

$$\Psi(Str^{(0)}, Str^{(k)})_{\{\mathcal{E}_i^{(H)}, \mathcal{E}_i^{(B)}\}} \rightarrow \min, i = \overline{1; n}, i \neq k$$

Здесь $\Psi(\bullet)$ – правило свертки.

3. Пример оценки статистической характеристики живучести. Допустим, имеется компонент распределенной информационной системы, который при пиковых нагрузках может запрашивать ресурсы (вычислительные/ памяти/ информационные) у других компонентов системы, либо, в случае наличия у него свободных ресурсов, предоставлять их по запросу другим компонентам, которые испытывают пиковые нагрузки. Допустим, выделена полная группа несовместных состояний $S_i, (i = \overline{1; n})$. Различие состояний характеризуется, например, объемами запрашиваемых, либо предоставляемых ресурсов. В каждый момент времени система может находиться только в одном из состояний S_i , которому ставится в соответствие показатель эффективности \mathcal{E}_i , характеризующий объемы предоставляемых либо запрашиваемых ресурсов. Если ресурсы запрашиваются, показатель \mathcal{E}_i является отрицательным; если предоставляются – положительным.

Пусть показателем целевой эффективности компонента системы является показатель среднего объема ресурсов, определяемый по результатам наблюдений в течение некоторого периода времени (статистическая характеристика целевой эффективности):

$$\mathcal{E}_\Sigma = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i \cdot p_i, \quad (1)$$

где p_i – среднее относительное время пребывания системы в состоянии S_i , причем

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1.$$

Считается, что система функционирует тем лучше, чем ближе \mathcal{E}_Σ к нулю, т.е. за время наблюдений объем предоставленных другим компонентам ресурсов равен объему полученных от них ресурсов. Переходы между состояниями (структура состояний)

¹ Если S_i ставится в соответствие совокупность разнотипных ресурсов $\tilde{\mathcal{E}}_{ij}, (j = \overline{1; k})$, то \mathcal{E}_i представляет собою «обобщенный параметр», рассчитываемый на основе $\tilde{\mathcal{E}}_{ij}: \mathcal{E}_i = \varphi(\tilde{\mathcal{E}}_{ij})$. Разные формальные схемы формирования обобщенного параметра описываются, например, в [3].

определяются особенностями поступающих извне запросов. Возможными структурами состояний являются «линейка», «звезда», «кольцо», «сеть». Количество узлов в каждой структуре состояний одно и то же и равно четырем. Переходам между i -м и j -м состояниями ставится в соответствие интервальная оценка весовой характеристики λ_{ij} (интенсивность переходов), причем $\lambda_{ij} \in [0;10]$ для $i, j = \overline{1;n}$.

При эксплуатации АПК в силу многих внешних и внутренних причин возможны отклонения свойств компонентов структур от ожидаемых значений (т.е. \mathcal{E}_i соответствует интервальная неопределенность). Значения $\mathcal{E}_i^{(0)}$ представлены в табл. 1.

Таблица 1. Значения $\mathcal{E}_i^{(0)}$

$\mathcal{E}_1^{(0)}$	$\mathcal{E}_2^{(0)}$	$\mathcal{E}_3^{(0)}$	$\mathcal{E}_4^{(0)}$
[-10;10]	[-10;10]	[-10;10]	[-10;10]

Требуется сопоставить живучесть структур по показателю целевой эффективности в случае, когда $\mathcal{E}_1^{(T)}$ ставится в соответствие диапазон [-10;0].

Решение:

Основу решения задачи составляет следующий вычислительный эксперимент.

Шаг 1. Заданное число Q раз генерировались равномерно распределенные случайные числа, соответствующие $\mathcal{E}_i^{(0)(q)}, \lambda_{ij}^{(q)}$. При проведении исследований Q принималось равным 1000.

Шаг 2. В результате решения уравнений Колмогорова [2], соответствующих структурам, представленным на рис.1, определялись значения финальных вероятностей состояний $p_i^{(q)}$, соответствующих $\lambda_{ij}^{(q)}$. На основе $p_i^{(q)}$ с учетом $\mathcal{E}_i^{(0)(q)}$ в соответствии с (1) определялись значения случайных величин $\mathcal{E}_\Sigma^{(0)(q)}, q = \overline{1;Q}$.

Шаг 3. На основе выборки независимых случайных величин $\{\mathcal{E}_\Sigma^{(0)}\}_1^Q$ рассчитывались базовые интегральные характеристики $Str^{(0)}$ для каждой из структур. В качестве базовых интегральных характеристик выступали:

(а) Оценки интегральных функций распределения $\hat{F}^{(0)}(\mathcal{E}_\Sigma)$.

(б) Оценки математического ожидания $\hat{M}(\mathcal{E}_\Sigma^{(0)})$ и среднеквадратического отклонения $\hat{\sigma}(\mathcal{E}_\Sigma^{(0)})$.

Шаг 4. Операции, соответствующие шагам 1-3, повторялись Q раз для случая, когда показатель эффективности, соответствующий k -му состоянию системы \mathcal{E}_k , изменялся в диапазоне $\mathcal{E}_k \in [-10;0]$. По полученным выборкам случайных чисел $\{\mathcal{E}_\Sigma^{(T)}\}_1^Q$ рассчитывались интегральные характеристики, определенные в шаге 3: $\hat{F}^{(T)}(\mathcal{E}_\Sigma)$; $\hat{M}(\mathcal{E}_\Sigma^{(T)})$; $\hat{\sigma}(\mathcal{E}_\Sigma^{(T)})$.

На рис. 1 представлены оценки интегральных функций распределения, полученные в результате проведения эксперимента.

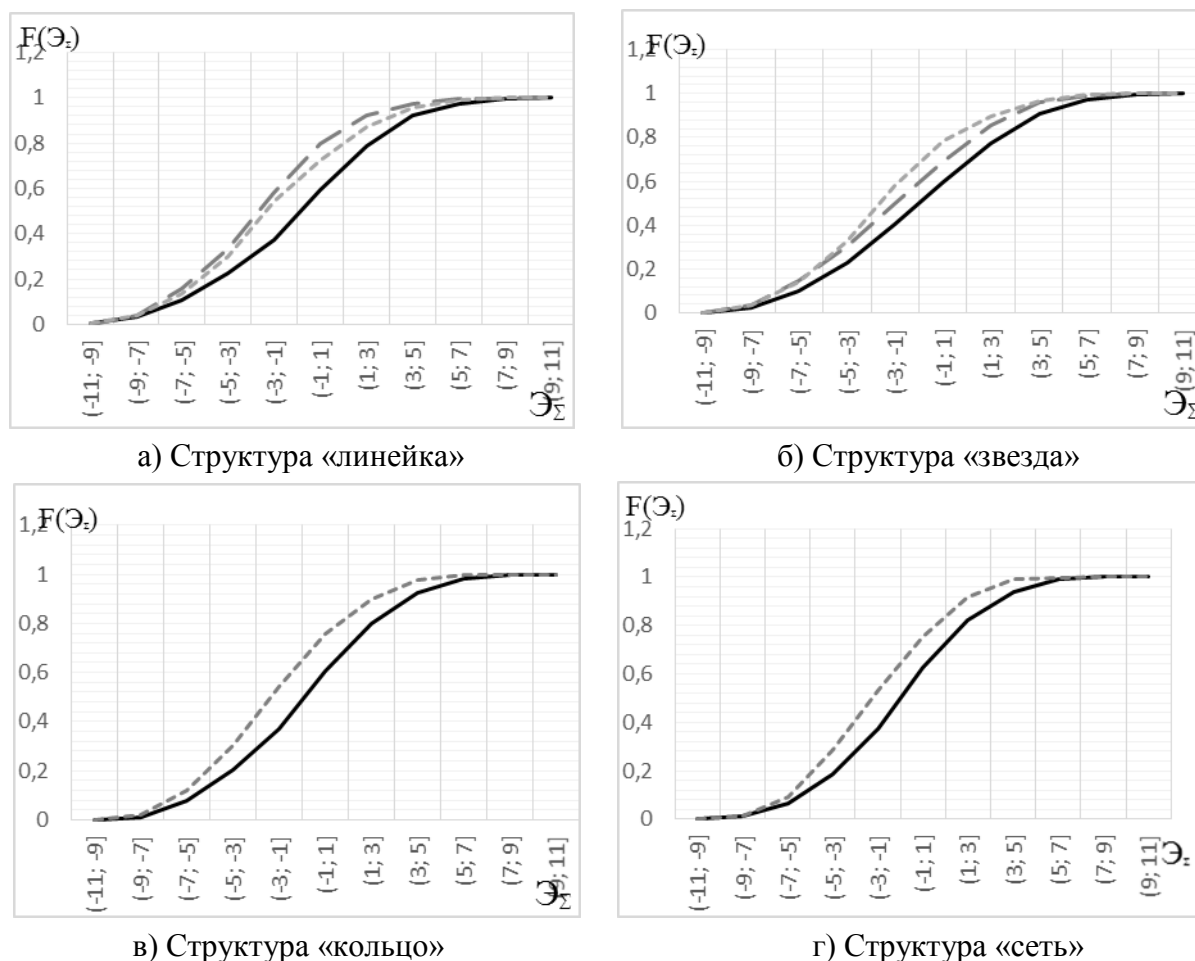


Рис. 1. Оценки интегральных функций распределения, соответствующие разным структурам

Сплошной линии на рисунках соответствуют базовые значения интегральных показателей целевой эффективности. На рис. 1(а) $F^{(1,4)}(\Xi_z)$ соответствует случаю, когда ухудшались показатели эффективности, характеризующие крайние узлы структуры. Посредством $F^{(2,3)}(\Xi_z)$ обозначен случай, когда ухудшались значения показателей эффективности, соответствующих второму либо третьему узлу. На рис. 1 (б) посредством $F^{(1)}(\Xi_z)$ обозначен случай, когда ухудшаются свойства центрального узла структуры; $F^{(2,3,4)}(\Xi_z)$ соответствуют случаю, когда ухудшаются свойства одного из терминальных узлов.

Заключение. По результатам исследования можно сделать заключение о том, что наиболее чувствительной к ухудшению показателей эффективности оказалась линейная структура. В случае компенсации средней целевой эффективности терминальных узлов структуры состояний за счет целенаправленного изменения границ диапазонов показателей эффективности других узлов, величина среднего отклонения меньше, но разброс больше. Для линейной структуры в случае ухудшения свойств терминальных узлов характеристика устойчивости выше, чем в случае ухудшения характеристик нетерминальных узлов. Полученные результаты могут составить основу сравнения альтернатив переходов между состояниями на этапе проектирования АПК.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-07-00351 «Методологические основы обеспечения гарантоспособности систем передачи телеметрической информации о

состоянии бортовых авиационных систем с использованием технологий интеллектуального анализа данных».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апокин А.И. Информатика в системе научного знания XX и XXI веков // Кибернетика и информатика: сб. науч. тр. к 50-летию Секции кибернетики Дома ученых им. М. Горького РАН. 2006. С. 21 – 35.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд. М.: Наука. 1988. 208 с.
3. Гаскаров Д.В., Голинкевич Т.А., Мозгалевский А.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры. Совет. Радио. 1974. 222 с.
4. Гвоздев В.Е., Блинова Д.В., Давлиева А.С. Анализ функциональной пригодности аппаратно-программных комплексов на основе аппарата статистических индексов // Вестник СамГТУ, Серия «Технические науки». 2017. № 2 (54). С. 13 – 23.
5. Дедков В.К., Водолазский В.И., Мухин А.В., Фесечко А.И. Живучесть и безопасность сложных технических систем // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. 2002. №4. С. 63 – 79.
6. Додонов А.Г., Ландэ Д.В. Живучесть информационных систем. К.: Наук. Думка. 2011. 256 с.
7. Додонов А.Г., Флейтман Д.В. Корпоративные информационные системы: обеспечение живучести // Математические машины и системы. 2005. № 4. С. 118 – 130.
8. Кубарев А.В. Подход к формализации уязвимостей информационных систем на основе их классификационных признаков // Вопросы кибербезопасности. 2013. №2. С. 29 – 33.
9. Лапыгин Ю.Н. Стратегический менеджмент: учебное пособие. М.: Высшее образование. 2007. 174 с.
10. Липаев В.В. Функциональная безопасность программных средств // Информационный бюллетень «Jet Info». 2004. № 8 (135). 28 с.
11. Махутов Н.А., Резников Д.О. Оценка уязвимости технических систем и ее место в процедуре анализа риска // Проблемы анализа риска. 2008. Т. 5. № 3. С. 72 – 85.
12. Махутов Н.А., Резников Д.О., Петров В.П., Куксова В.И. Оценка живучести сложных технических систем // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2009. № 3. С. 47 – 66.
13. Мостовой А.Я. Управление сложными техническими системами: конструирование программного обеспечения спутников ДЗЗ: монография. М.: Техносфера. 2016. 352 с.
14. Снарский А.А., Ландэ Д.В. Моделирование сложных сетей: учебное пособие. К.: НТУУ «КПИ». 2015. 212 с.
15. Флейтман Д.В. Решение задачи обеспечения живучести корпоративных информационных систем при частичном разрушении каналов связи // Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2005. Т. 7. № 1. С. 52 – 61.
16. Юсупов Р.М., Соколов Б.В. Проблемы развития кибернетики и информатики на современном этапе // Кибернетика и информатика: сб. науч. тр. к 50-летию Секции кибернетики Дома ученых им. М. Горького РАН. 2006. С. 6 – 21.
17. Gvozdev V.E., Guzairov M.B., Blinova D.V., Davlieva A.S. Control of component alterations according with the target efficiency of data processing and control system // Proceedings of the International conference Information Technology and Nanotechnology. Session Data Science (Samara, Russia, 24-27 April, 2017): 2017. Pp. 11 – 16.

18. Jones E.V., Lyford J.V., Qazi M.K., Solan N.J., Haimes Y.Y. Virginia's critical infrastructure protection study // Systems and Information Engineering. Design Symposium/ 2004. Pp. 177 – 182.
-

UDK 004.052.2

**ASSESSMENT OF THE HARDWARE-SOFTWARE COMPLEXES SURVIVABILITY
ON AVERAGE VALUES EFFICIENCY TARGET**

Murat B. Guzairov

Dr., Professor of the Department "Computer technology and information security"
e-mail: guzairov@ugatu.su

Vladimir E. Gvozdev

Dr., Professor, Head of the Department "Technical cybernetics", e-mail: wega55@mail.ru

Aliya S. Davlieva

Graduate student, e-mail: aliyasr21@gmail.com

Vyacheslav V. Teslenko

Student, e-mail: stl@yandex.ru

Ufa State Aviation Technical University, 12, K. Marx Str., 450008, Ufa, Russia,

Abstract. In this paper, we consider the approach to the study of the hardware-software complexes (HSC) survivability in terms of the target efficiency index, taking into account the interval uncertainty of the components of the state structure. The problem of estimating the HSC efficiency index variability effect in different modes of operation to assess the survivability of the average index value the target efficiency is described. The study's results corresponding to different structures of APC states are presented.

Keywords: target efficiency, survivability, state structure, hardware-software complex.

References

1. Apokin A.I. Informatika v sisteme nauchnogo znaniya XX i XXI vekov [Informatics in the system of scientific knowledge of the XX and XXI centuries] // Kibernetika i informatika: sb. nauch. tr. k 50-letiju Sekcii kibernetiki Doma uchenyh im. M. Gor'kogo RAN. 2006. Pp. 21 – 35. (in Russian).
2. Ventcel E.S. Issledovaniye operacii: zadachi, principi, metodologiya, 2-e izd. [Operations research: tasks, principles, methodology]. Moscow. Nauka Publ. 1988. 208 p. (in Russian).
3. Gaskarov D.V., Golinkevich T.A., Mozgalevskij A.V. Prognozirovaniye tehnikeskogo sostojaniya i nadezhnosti radioelektronnoj apparatury [Technical state prediction and the reliability of electronic equipment]. Sovet. Radio. 1974. 222 p. (in Russian).
4. Gvozdev V.E., Blinova D.V., Davlieva A.S. Analiz funktsional'noy prigodnosti apparatno-programmnykh kompleksov na osnove apparata statisticheskikh indeksov [The analysis of functional suitability of hardware-software complexes based on apparatus of statistical indexes] // Vestnik SamGTU, Seriya "Tehnikeskie nauki" = Vestnik Samara State Technical University, Series "Technical sciences". 2017. no. 2 (54). Pp. 13 – 23. (in Russian).
5. Dedkov V.K., Vodolazskij V.I., Muhin A.V., Fesechko A.I. Zhivuchest' i bezopasnost' slozhnykh tehnikeskikh sistem [Survivability and safety for complex technical systems] //

- Voprosy teorii bezopasnosti i ustojchivosti sistem = Security issues and stability of systems theory. 2002. no. 4. Pp. 63 – 79. (in Russian).
6. Dodonov A.G., Landje D.V. Zhivuchest' informacionnyh system [Survivability of information systems]. K.: Nauk. Dumka, 2011. 256 p. (in Russian).
 7. Dodonov A.G., Flejtman D.V. Korporativnyye informatsionnyye sistemy: obespecheniye zhivuchesti [Corporate Information Systems: Ensuring Vitality] // Matematicheskie mashiny i sistemy = Mathematical Machines and Systems. 2005. no. 4. Pp. 118 – 130. (in Russian).
 8. Kubarev A.V. Podkhod k formalizatsii uyazvimostey informatsionnykh sistem na osnove ikh klassifikatsionnykh priznakov [Approach to the formalization of the information systems vulnerabilities based on their classification characteristics] // Voprosy kiberbezopasnosti = Cybersecurity issues. 2013. no. 2. Pp. 29 – 33. (in Russian).
 9. Lapigin U.N. Strategicheskii menegment. Uchebnoe posobie [Strategic management: a training manual]. Moscow, Higher education, 2007. 174 p. (in Russian).
 10. Lipaev V.V. Funktsional'naya bezopasnost' programmnykh sredstv [Functional safety of software] // Information bulletin "Jet Info". 2004. no. 8 (135). 28 p. (in Russian).
 11. Mahutov N.A., Reznikov D.O. Otsenka uyazvimosti tekhnicheskikh sistem i yeye mesto v protsedure analiza riska [Assessment of the technical systems vulnerability and its place in the procedure for risk analysis] // Problemy analiza riska = Problems of risk analysis. 2008. Vol. 5. no. 3. Pp. 72–85. (in Russian).
 12. Mahutov N.A., Reznikov D.O., Petrov V.P., Kuksova V.I. Otsenka zhivuchesti slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Evaluation of complex technical systems survivability] // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnykh situacij = Problems of security and emergency situations. 2009. no. 3. Pp. 47 – 66. (in Russian).
 13. Mostovoj A.Ja. Upravlenie slozhnymi tekhnicheskimi sistemami: konstruirovaniye programmnoy obespecheniya sputnikov DZZ: monografiya [Managing complex technical systems: designing software for remote sensing satellites: monograph]. Moscow. Tehnosfera Publ., 2016. 352 p. (in Russian).
 14. Snarskiy A.A., Landje D.V. Modelirovaniye slozhnykh setej: uchebnoe posobie [Modeling of complex networks: a tutorial]. Kiev, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". 2015. 212 p. (in Russian).
 15. Flejtman D.V. Resheniye zadachi obespecheniya zhivuchesti korporativnykh informatsionnykh sistem pri chastichnom razrushenii kanalov svyazi [Solution of the ensuring problem the corporate information systems survivability with partial disruption of communication channels] // Registratsiya, skhroma i obrabotka daniy. 2005. Vol. 7. no. 1. Pp. 52 – 61. (in Russian).
 16. Jusupov R.M., Sokolov B.V. Problemy razvitiya kibernetiki i informatiki na sovremennom etape [The problems of the cybernetics development and computer science at the present time] // Kibernetika i informatika: sb. nauch. tr. k 50-letiyu Sekcii kibernetiki Doma uchenykh im. M. Gor'kogo RAN. 2006. Pp. 6 – 21. (in Russian).
 17. Gvozdev V.E., Guzairov M.B., Blinova D.V., Davlieva A.S. Control of component alterations according with the target efficiency of data processing and control system // Proceedings of the International conference Information Technology and Nanotechnology. Session Data Science (Samara, Russia, 24-27 April, 2017): 2017. Pp. 11 – 16.
 18. Jones E.V., Lyford J.V., Qazi M.K., Solan N.J., Haimes Y.Y. Virginia's critical infrastructure protection study // Systems and Information Engineering. Design Symposium. 2004. Pp. 177 – 182.