

УДК 004.029

АНАЛИЗ КОМПОНЕНТОВ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ УМНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПО КРИТЕРИЮ УЯЗВИМОСТИ

В. Е. ГВОЗДЕВ¹, В.И. ВАСИЛЬЕВ², Р.Р. ГАЛИМОВ³, А. С. ДАВЛИЕВА⁴

¹wega55@mail.ru, ²vasilyev@ugatu.ac.ru, ³rrgalimov@gmail.com, ⁴aliyasr21@gmail.com

^{1,2,4} ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

³ ОАО «БЭТО»

Поступила в редакцию 18 октября 2019 г.

Аннотация. Ключевая роль цифровой экосреды Умного предприятия обуславливает качественное изменение требований к функциональной безопасности инфокоммуникационных систем. Одной из задач управления функциональной безопасностью является анализ уязвимости систем. Создание цифровой экосреды предполагает рациональный выбор структуры сложной системы. Известно, что структура любой системы может быть сформирована на базе типовых конструкций. В настоящей работе рассматривается подход к анализу статистических характеристик уязвимости базовых структур («сеть», «кольцо» и «линейка», «звезда») при интервальном задании свойств узлов и связей между ними.

Ключевые слова: умное предприятие; Индустрия 4.0; инфокоммуникационная система; уязвимость; целевая эффективность; структура системы; телефонная станция; граф.

ВВЕДЕНИЕ

В рамках реализации доктрины Индустрии 4.0 ключевую роль играет создание цифровой экосреды Умного предприятия. Свойство цифровой экосреды Умного предприятия определяется как свойствами информационно-вычислительных компонент (узлов сети), так и свойствами систем коммуникаций (систем передачи данных). Примером инфокоммуникационных систем является телефонная станция.

Создание единой экосреды относится к классу ключевых задач, в связи с чем резко возрастает требование к функциональной безопасности и уязвимости информационных систем.

Одним из критических факторов успеха реализации положений доктрины Индустрии 4.0 является интеграция существующих локальных информационных систем. Каждой из подсистем соответствует своя исторически сложившаяся структура. С целью обеспечения требуемого уровня

безотказного функционирования инфраструктуры цифровой экосреды требуется выполнение анализа альтернативных вариантов интеграции локальных подсистем [1–3]. Для решения этой задачи необходимо разработать подход, в рамках которого исследуются свойства структур инфокоммуникационных систем по критерию уязвимости с учетом вариативности характеристик как узлов, так и связей между узлами.

В работе [4] показано, что структура любой системы может быть синтезирована на базе четырех типовых структур («кольцо», «звезда», «сеть», «линейка»).

Анализ уязвимости сложной инфокоммуникационной системы базируется на анализе уязвимости ее компонент, в качестве которых выступают базовые конструкции.

Свойства структуры инфокоммуникационной системы определяются свойствами типовых компонентов, входящих в ее состав. Таким образом, в качестве самостоятельной задачи

можно выделить задачу исследования свойств типовых структур по критерию уязвимости.

Для обеспечения возможности сравнения альтернативных вариантов интеграции локальных систем по критерию уязвимости, необходим единый показатель качества функционирования этих систем. В качестве такого показателя при анализе уязвимости целесообразно выбрать среднюю целевую эффективность [5–7].

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОПОСТАВИМОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ ПОДСИСТЕМ

Поскольку существует необходимость интеграции локальных систем, разработанных на разных платформах, требуется единообразное описание этих систем. Обеспечение сопоставимости представления может основываться на построении их функциональных моделей. В силу того, что в разных локальных системах реализуются различные по смыслу прикладные функции и непосредственно сопоставление на функциональном уровне не представляется возможным, следующим шагом для обеспечения сопоставимости является преобразование функциональных моделей к виду графов. Пример преобразования функциональной модели в графовую структуру представлен на рис. 1–2. Приведенный пример соответствует модели одной из функций, реализуемых телефонной станцией МТ-20. Функциональная модель реализована посредством нотации BPMN.

Следующим шагом после преобразования функциональной модели к виду графа является его декомпозиция на базовые структурные компоненты. Представление графа в виде

взаимосвязанной совокупности типовых структур относится к классу обратных задач, а следовательно, одну и ту же структуру можно представить в виде множества схем из базовых компонент структур.

На рис. 3 представлен один из множества вариантов разложения графа (рис. 2) на базовые конструкции.

Задача рациональной декомпозиции графа на типовые структуры является отдельной задачей и в рамках настоящей статьи не рассматривается.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОСТОЯНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛЬ УЯЗВИМОСТИ

Исходными данными задачи оценки влияния вариативности параметров системы на характеристики уязвимости являются:

1) три типовые структуры системы – «сеть», «кольцо» и «линейка», представленные на рис. 4;

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

3) известные базовые значения интенсивностей переходов $\lambda_{ij} (i = \overline{1; n}; j = \overline{1; m})$, а также диапазоны отклонений $\{\Delta\lambda_{ij}^{(h)}, \Delta\lambda_{ij}^{(g)}\}$ как в меньшую, так и в большую стороны, т.е. $\lambda_{ij} \in [\lambda_{ij} - \Delta\lambda_{ij}^{(h)}, \lambda_{ij} + \Delta\lambda_{ij}^{(g)}]$. В общем случае $\lambda_{ij}; \Delta\lambda_{ij}^{(h)}; \Delta\lambda_{ij}^{(g)}$ могут принимать нулевые значения.

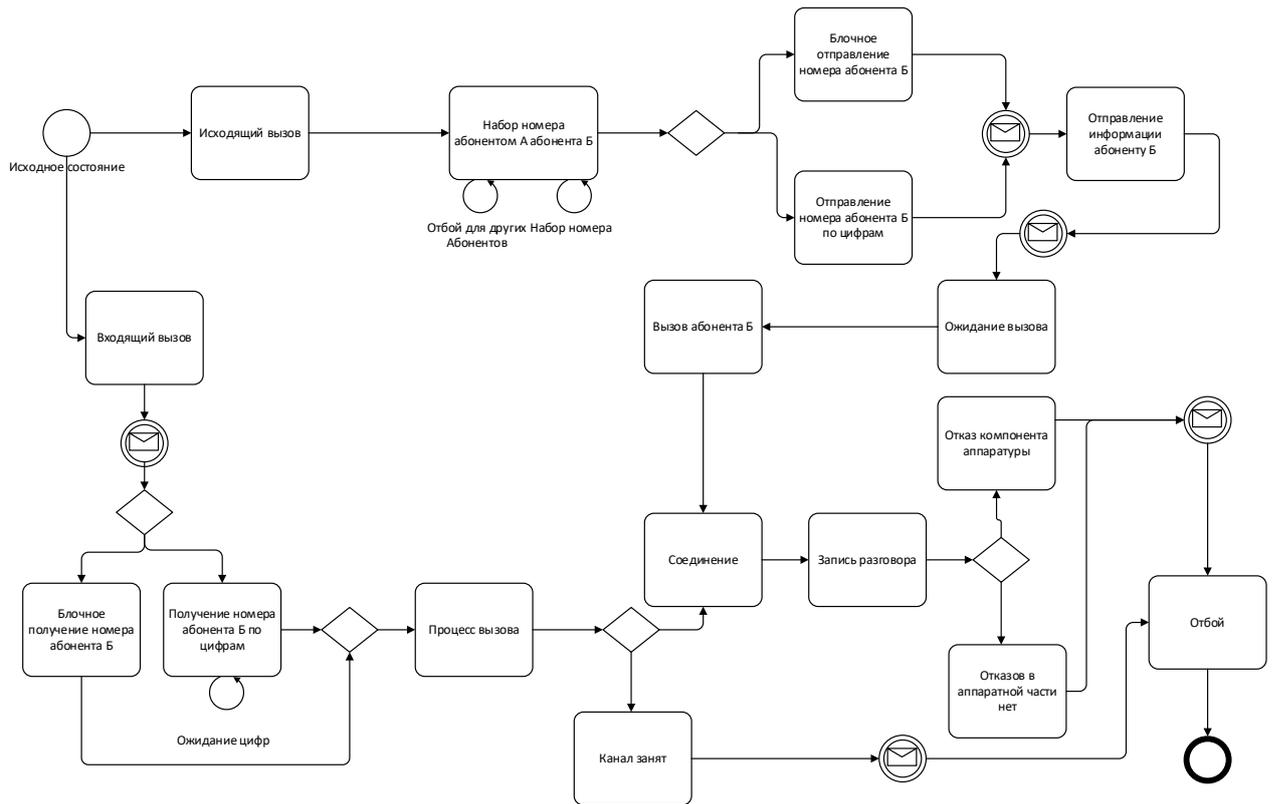


Рис. 1. Функциональная модель функции телефонной станции МТ-20

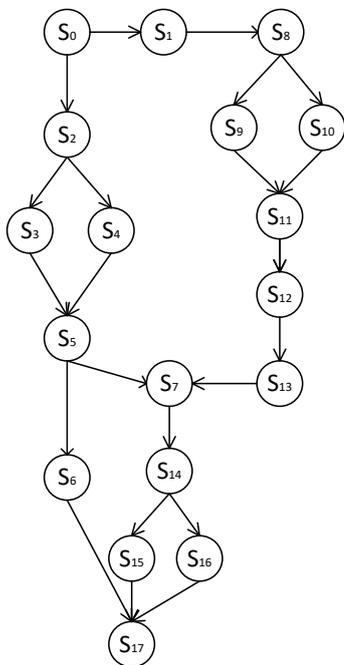


Рис. 2. Графовая модель функции телефонной станции МТ-20

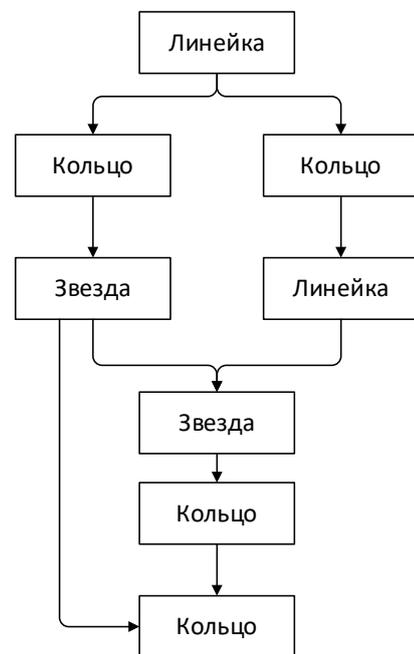


Рис. 3. Вариант разложения графа

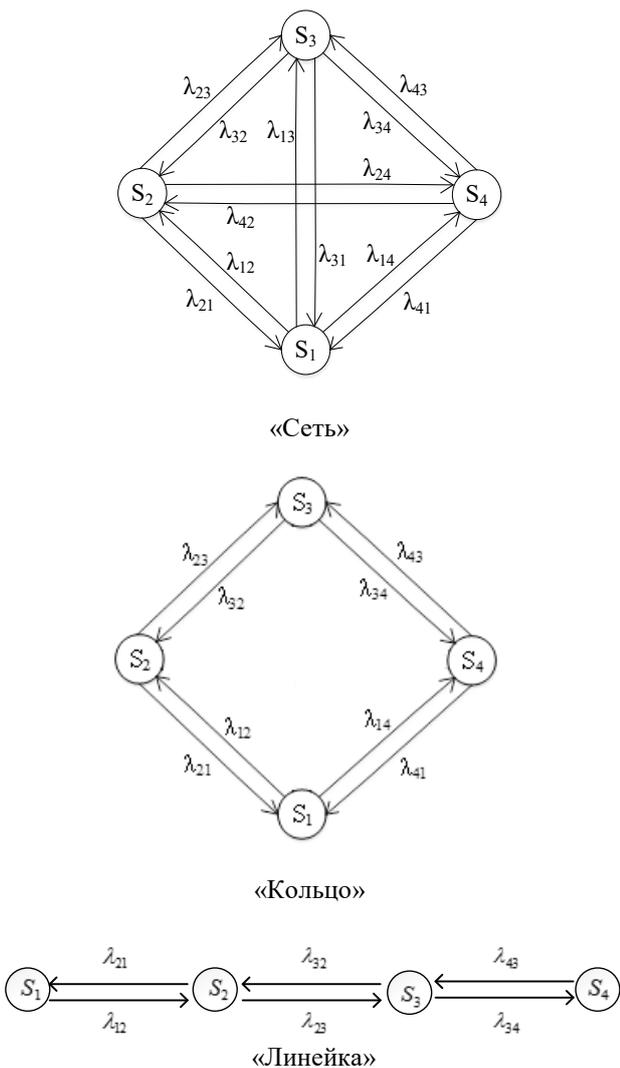


Рис. 4. Типовые структуры системы

Требуется оценить вероятность $P(\mathcal{E}_\Sigma < \mathcal{E}_\Sigma^{(\min)})$ того, что показатели средней эффективности системы с вариативностью параметров окажутся меньше наихудшего значения показателя средней эффективности $\mathcal{E}_\Sigma^{(\min)}$ системы, функциональные характеристики которой целенаправленно ухудшались.

Считается, что $\mathcal{E}_\Sigma^{(\min)}$ соответствует системе, у которой отсутствует вариативность параметров, т.е. все параметры системы совпадают со своими номинальными значениями [8].

Вероятность $P(\mathcal{E}_\Sigma < \mathcal{E}_\Sigma^{(\min)})$ является частным случаем выражения функциональной уязвимости первого уровня, учитывающей неопределенность воздействия [2]:

$$v_f^{(l)} = 1 - P[\|K_c - K_0\| < \varepsilon_0 | \omega], \quad (1)$$

где K_c – состояние системы после оказания на нее воздействия ω ; K_0 – базовое состояние системы; ε_0 – такое отклонение состояния системы от базового, при котором считается, что функциональные возможности системы находятся в допустимых границах.

Сопоставляя запись для вероятности в (1) с общим выражением, можно заключить, что K_c соответствует случайному значению \mathcal{E}_Σ ; K_0 соответствует значению средней эффективности, получаемому при номинальных значениях $\mathcal{E}_i, \lambda_{ij}$; ε_0 соответствует такому отклонению \mathcal{E}_Σ от K_0 , при котором фиксируется недопустимая потеря требуемых функциональных возможностей.

В качестве воздействий ω выступает вариативность параметров системы. Основу решения задачи составляет вычислительный эксперимент, описанный в работе [9].

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Базовые значения средней эффективности системы при пребывании ее в разных состояниях представлены в табл. 1. Базовые значения интенсивностей переходов λ составляет интервал $[0; 20]$.

Табл. 1. Номинальные значения средней эффективности

Состояние системы	S_1	S_2	S_3	S_4
Значение средней эффективности	[0;20]	[10;30]	[20;40]	[30;50]

В табл. 2 представлены точечные значения параметров \mathcal{E}_i и λ_{ij} .

В ходе эксперимента значения диапазонов $\Delta\mathcal{E}_i$ и $\Delta\lambda_{ij}$ в k -м статистическом эксперименте формировались по правилу:

$$\Delta\mathcal{E}_i^{(k)} = \alpha_\mathcal{E} \cdot \mathcal{E}_i; \Delta\lambda_{ij}^{(k)} = \alpha_\lambda \cdot \lambda_{ij},$$

где $\alpha_\mathcal{E}, \alpha_\lambda \in \{0.1; 0.2; 0.5; 0.7; 1.0\}$.

Табл. 2. Точечные значения параметров \mathcal{E}_i и λ_{ij}

\mathcal{E}_i	\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2	\mathcal{E}_3	\mathcal{E}_4		
	10	20	30	40		
λ_{ij}	λ_{12}	λ_{21}	λ_{23}	λ_{32}	λ_{34}	λ_{43}
	10	10	10	10	10	10
	λ_{14}	λ_{41}	λ_{13}	λ_{31}	λ_{24}	λ_{42}
	10	10	10	10	10	10

В табл. 3 приведены значения $P_k(\mathcal{E}_\Sigma < \mathcal{E}_\Sigma^{(min)})$, соответствующие разным значениям $\alpha_\mathcal{E}$, α_λ для рассматриваемых структур.

Табл. 3. Значения вероятности $P(\mathcal{E}_\Sigma < \mathcal{E}_\Sigma^{(min)})$

Структура	«Сеть»	«Кольцо»	«Линейка»
$\alpha_\mathcal{E} = \alpha_\lambda = 0,1$	1	1	1
$\alpha_\mathcal{E} = \alpha_\lambda = 0,2$	1	1	1
$\alpha_\mathcal{E} = \alpha_\lambda = 0,5$	1	1	0,997
$\alpha_\mathcal{E} = \alpha_\lambda = 0,7$	0,998	0,9895	0,9855
$\alpha_\mathcal{E} = \alpha_\lambda = 1,0$	0,958	0,9335	0,902

На рис. 5–7 в качестве примера приведены функции плотности распределения для некоторых значений $\alpha_\mathcal{E} = 0,5$, $\alpha_\lambda = 0,5$ для каждой из рассматриваемых структур системы.

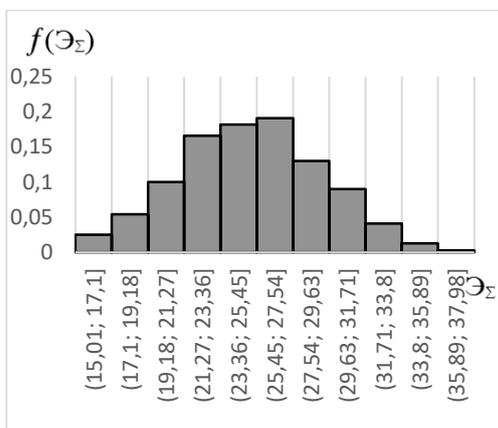


Рис. 5. Функции плотности распределения для структуры «сеть»

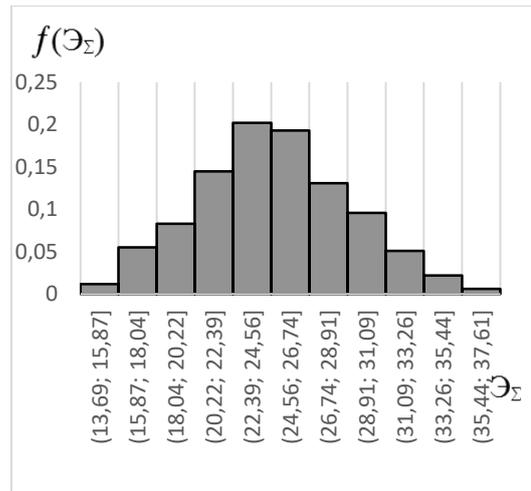


Рис. 6. Функции плотности распределения для структуры «кольцо»

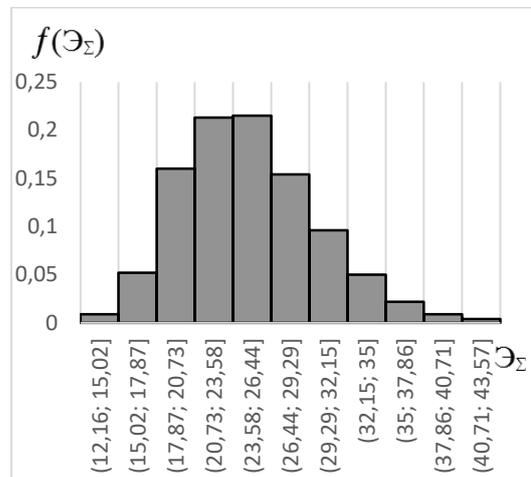


Рис. 7. Функции плотности распределения для структуры «линейка»

Из полученных результатов можно сделать заключение, что разброс характеристик компонентов системы может рассматриваться как фактор уязвимости системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ключевым фактором реализации положений доктрины Industry 4.0 является формирование цифровой экосреды Умного предприятия, в том числе за счет интеграции существующих локальных информационных систем. Актуальной задачей является сравнительный анализ альтернатив интеграции локальных информационных систем по критерию уязвимости.

В настоящей статье предложен подход к анализу уязвимости базовых

конструктивных компонент: «кольцо», «сеть», «линейка».

Направлением дальнейших исследований является разработка формальных процедур анализа уязвимости всей системы на основе характеристик уязвимости базовых компонент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мостовой А. Я.** Управление сложными техническими системами: конструирование программного обеспечения спутников ДЗЗ. Монография. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. 352 с. [A. Ya. Mostovoy, *Management of complex technical systems: satellite remote sensing software. Monograph*, (in Russian). Moscow: "Tekhnosfera", 2016.]

2. **Бусленко Н. П.** Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. 400 с. [N.P. Buslenko, *Modeling complex systems*, (in Russian). Moscow: "Nauka", 1978.]

3. **Сравнительный анализ базовых фрактальных архитектур по признаку устойчивости к отказам компонентов / В. Е. Гвоздев [и др.] // Проблемы управления и моделирования в сложных системах ПУМСС-2019, XIX Междунар. конф. (Самара, 12-15 сентября 2017), 2017. С. 91–95. [V. E. Gvozdev, et al., "Comparative analysis of basic fractal architectures based on component failure tolerance", (in Russian), in *Proc. 19th Int. Workshop on Complex systems: control and modelling problems (CSCMP-2017)*, Samara, Russia, 2017, pp. 91-95.]**

4. **Тимофеев А. В.** Адаптивное управление и интеллектуальный анализ информационных потоков в компьютерных сетях. СПб.: ООО «Анатолия», 2012. 280 с. [A. V. Timofeev, *Adaptive management and intelligent analysis of information flows in computer networks*, (in Russian). St. Petersburg: "Anatoliya", 2012.]

5. **Махутов Н. А., Резников Д. О.** Оценка уязвимости технических систем и ее место в процедуре анализа риска // Проблемы анализа риска. Т. 5. 2008. № 3. С. 72–85. [N. A. Mahutov, D. O. Reznikov, "Vulnerability assessment of technical systems and its place in the risk analysis procedure" (in Russian), in *Risk analysis problems*, vol. 5, no. 3, pp. 72–85, 2008.]

6. **Антамошкин А. Н., Моргунова О. Н., Моргунов Е. П.** Методика исследования эффективности сложных иерархических систем // Вестник Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та. 2006. Вып. 2 (9). С. 9–13. [A. N. Antamoshkin, O. N. Morgunova, and E. P. Morgunov, "Technique to study the effectiveness of complex hierarchical systems" (in Russian), in *Vestnik SSAU*, no. 2 (9), pp. 9–13, 2006.]

7. **Гвоздев В. Е., Блинова Д. В., Давлиева А. С., Тесленко В. В.** Построение базовых моделей внешней эффективности АПК на основе методов математической статистики / Программная инженерия: Научный журнал. Т.7. № 11, 2016. С. 483–489. [V. E. Gvozdev, D. V. Blinova, A. S. Davlieva, V. V. Teslenko, "Construction of basic functioning efficiency models of the hardware-software complexes based on the mathematical statistics methods" (in Russian), in *Software Engineering*, vol. 7, no. 11, pp. 483–489, 2016.]

8. **Гвоздев В. Е., Давлиева А. С., Тесленко В. В.** Анализ влияния разброса характеристик состояния на показатель уязвимости сложных систем // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия

решений (ITIDS'2017): труды пятой всероссийской конференции (с приглашением зарубежных ученых). Уфа, 2017. Т.2. С. 158–161. [V. E. Gvozdev, A. S. Davlieva, V. V. Teslenko, "Analysis of the influence the characteristics state dispersion on the vulnerability index complex systems" in *Proc. 5th Workshop on Information Technologies for Intellectual Decision Support (ITIDS' 2017)*, 2017, vol. 2, pp. 158–161.]

9. **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 // Proc. of the International conference Information Technology and Nanotechnology. Session Data Science DS-ITNT 2017, (Samara, 24-27 April, 2017). 2017. P.11–16. [V. E. Gvozdev, M. B. Guzairov, D. V. Blinova, A. S. Davlieva "Control of component alterations according with the target efficiency of data processing and control system" in *Proc of the International conference Information Technology and Nanotechnology. Session Data Science (DS-ITNT 2017)*, 2017, pp. 11–16.]

ОБ АВТОРАХ

ГВОЗДЕВ Владимир Ефимович, проф. каф. ТК. Дипл. инженер электронной техники (УАИ, 1978). Д-р техн. наук по упр. в техн. системах (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. математической статистики, информационных систем, экологического мониторинга.

ВАСИЛЬЕВ Владимир Иванович, проф. каф. ВТиЗИ. Дипл. инженер электронной техники (УАИ, 1970). Д-р техн. наук по упр. в техн. системах (УГАТУ, 1990). Иссл. в обл. проектирования многосвязных многофункциональных систем автоматического управления сложными объектами.

ГАЛИМОВ Роберт Ришатович, ген. директор ОАО «БЭТО» Дипл. экономист-менеджер (УГАТУ, 1997).

ДАВЛИЕВА Алия Салаватовна, асп. каф. ТК. Дипл. преподаватель-исследователь (УГАТУ, 2019). Готовит дис. о функциональной безопасности сложных аппаратно-программных комплексов.

METADATA

Title: Analysis of the infocommunication systems components of a Smart enterprise by the vulnerability criterion.

Authors: V. E. Gvozdev¹, V. I. Vasylyev², R. R. Galimov³, A. S. Davlieva⁴

Affiliation:

^{1,2,4} Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

³ Open Joint-Stock Company «BETO», Russia.

Email: ¹wega55@mail.ru, ²vasilyev@ugatu.ac.ru, ³rrgalimov@gmail.com, ⁴aliyasr21@gmail.com

Language: Russian.

Source: SIIT (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (2), pp. 71-77, 2019. ISSN 2686-7044 (Online), ISSN 2658-5014 (Print).

Abstract: The key role of the digital environment of the Smart Enterprise determines a qualitative change in the requirements for the functional safety of information and communication systems. One of the tasks of functional safety management is to analyze the vulnerability of systems. Creating a digital environment requires a rational choice of the structure of a complex system. It is known that the structure of any system can be formed on the basis of

standard designs. In this paper, we consider an approach to the analysis of the statistical characteristics of the vulnerability of basic structures, such as "network", "ring" and "line", with interval setting of the properties of nodes and the relationships between them.

Key words: Smart enterprise; Industry 4.0; information and communication system; reliability; vulnerability; target efficiency; system structure; state of the system; telephone station.

About authors:

GVOZDEV, Vladimir Efimovich, Prof., Dept. of EC. Dipl. electronic engineer (UAU 1978). Dr. of Tech. Sci. (USATU, 2000).

VASILYEV, Vladimir Ivanovich, Prof., Dept. of CalS. Dipl. electronic engineer (UAU 1970). Dr. of Tech. Sci. (USATU, 1990).

GALIMOV, Robert Rishatovich, General Director of OJSC "BETO" Dipl. Economist Manager (USATU, 1997).

DAVLIEVA, Aliya Salavatovna, Postgrad. Student, Dept. of EC. Dipl. Researcher (USATU, 2019).