

УДК 519.711.3:004.056.57

## ОЦЕНКА ЦЕЛОСТНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В СЕТЯХ СВЯЗИ ТИПОВЫХ АЭРОПОРТОВ

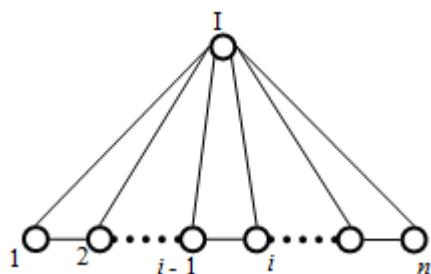
В.Е. ЕМЕЛЬЯНОВ<sup>1</sup>, Э.К. АВЕТИСЯН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МГТУ ГА, г. Москва, Россия

В статье рассмотрена задача методологии оценки достоверности информации в сетях связи типовых аэропортов I...III классов. В качестве базовой структуры для создания модели используется радиально-кольцевой тип с одним центром. Приведены расчетные соотношения для нахождения оценки вероятности безотказной работы линий связи. Представленные соотношения учитывают сопротивляемость фрагментов сети деструктивным воздействиям, которые описываются вероятностной метрикой. Отдельным является вопрос квалиметрии вероятностей отказов линий связи. Для его решения было предложено использование коэффициента оперативной готовности. Данный коэффициент учитывает физические особенности различных линий связи. Осуществляется поправка коэффициента на характеристики этих линий в соответствии с рекомендациями по использованию теоретических распределений. Обозначен круг конкретных проблем, важных для решения поставленной задачи. Во внимание принимаются актуальные для рассматриваемых сетей уязвимости с учетом их логической взаимосвязи. На основе проведенного анализа цепочки закономерностей между уязвимостями определена методика построения априорных и апостериорных оценок. Представлен пример использования полученных расчетных соотношений.

**Ключевые слова:** целостность информации, путь связи, ординарная сеть Петри, устойчивость системы, коэффициент готовности.

Эффективность функционирования всех служб эксплуатационных предприятий в значительной степени определяется уровнем качественного информационного обеспечения и выдерживанием требований, предъявляемых к системам и сетям связи. Очевидно, что при этом актуализируется задача оценки влияния различных линий связи на показатели целостности рассматриваемых информационных потоков.



**Рис. 1.** Разомкнутая радиально-кольцевая система n-го ранга с одним центром

Анализ структуры и особенностей организации сетей информационного обмена, используемых в аэропортах I...III классов, позволяет предположить, что классификационным обобщением данных сетей и систем является, в соответствии с [1], их принадлежность к системам n-го ранга с разомкнутой радиально-кольцевой структурой с одним центром (рис. 1).

В указанной работе для оценки вероятности безотказной работы – существования связи (пути) между двумя объектами сети n-го ранга –  $Z_{1,n}$  получены основные расчетные соотношения. При этом используются следующие обозначения:  $Q\{\alpha\}$  – вероятность отказа объекта  $\alpha$ ;  $Q\{[\alpha, \beta]\}$  – вероятность отказа линии связи (ЛС) между объектами  $\alpha$  и  $\beta$ ;  $S_\alpha = 1 - r_\alpha$  – вероятность отказа объекта  $\alpha$ ;  $q_\alpha = 1 - p_\alpha$ ,  $\varepsilon_\alpha = 1 - \zeta_\alpha$ ,  $Z_\alpha = 1 - \mu_\alpha$  – вероятности отказа ЛС;  $p_{1,n}^{\alpha,\beta}$ ,  $p_{1,n}^{\alpha,\beta,\gamma}$  – вероятности связи между объектами  $\alpha$  и  $\beta$  ( $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ ) в системе n-го ранга с произвольными параметрами надежности элементов;  $p_{1,n}^{\alpha,\beta;\beta,\alpha}$  – вероятность существования путей между объектами  $\alpha$  и  $\beta$  в ориентированной системе n-го ранга из объекта  $\alpha$  в объект  $\beta$  и из объекта  $\beta$  в объект  $\alpha$  одновременно;  $p_n^{\alpha,\beta}$ ,  $p_n^{\alpha,\beta,\gamma}$ ,  $p_n^{\alpha,\beta;\beta,\alpha}$ ,  $Z_n$  – аналогичные характеристики изотропной системы n-го ранга. Вероятности отказа элементов системы:  $Q(1) = 0$ ;  $Q(i) = S_i = 1 - r_i$ ;  $Q\{[1, i]\} = q_i = 1 - p_i$ ;  $Q\{[i-1, i]\} = \varepsilon_i = 1 - \zeta_i$ .

Начальные матрицы характеристик  $A_m(r_\lambda, \dots, \mu_\beta) \Rightarrow A, \dots, Z_{m,m}(r_\lambda, \dots, \mu_\beta) \Rightarrow Z$  получаются из матриц  $A$  и  $Z$  при замене в последних показателей безотказности  $r, \dots, \mu$  параметрами  $r_\lambda, \dots, \mu_\beta$ .

В нашем случае

$$A_m(r_m, p_m, \xi_{m+1}) \Rightarrow \begin{vmatrix} 1 - rp\xi & rp\xi \\ 1 - r\xi & r\xi \end{vmatrix}. \quad (1)$$

Матрицы (вектор-столбцы) характеристик имеют вид

$$P_{m,m}^{1,m}(r_m, p_n) \Rightarrow \begin{vmatrix} rp & r \\ r & r \end{vmatrix}, \quad (2)$$

а искомая матрица для вероятности безотказной работы имеет вид

$$Z_{1,1} = \begin{vmatrix} r_1 & p_1 \\ r_2 & p_2 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Опуская промежуточные выкладки для изотропной системы, в соответствии с [1] можно записать

$$Z_n = r^n p \frac{\varphi_1^n - \varphi_2^n}{\varphi_1 - \varphi_2}, \quad (4)$$

где

$$\varphi_{1,2} = 0,5r(p + 2\xi q \pm \sqrt{p^2 + 4\xi \varepsilon pq}). \quad (5)$$

Наряду с вышеотмеченным при оценке целостности информации необходимо учитывать ряд деструктивных факторов, которые могут привести к снижению точности, достоверности и т.п. В случае если транслируемая по той или иной ЛС информация носит конфиденциальный характер [2], необходимо учитывать и степень ее защищенности от несанкционированного доступа, которая, в свою очередь, будет определять особенности технических средств и программно-аппаратных средств передачи и обработки информационных сообщений. При этом влияние какого-либо из деструктивных воздействий можно оценить, представив изменение функционального состояния объектов с помощью ординарной сети Петри [3].

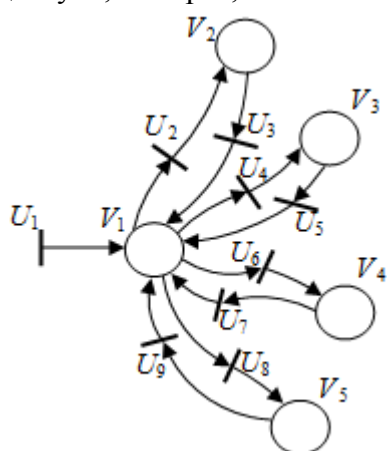


Рис. 2. Сеть Петри – Маркова  
Функционирования  
фрагмента сети связи

Представим фрагмент сети в виде графа, изображенного на рис. 2.

Содержание представленного графа поясняется следующим образом: позиции \$V\_1, V\_2, V\_3, V\_4, V\_5\$ соответствуют наличию конфиденциальной информации (КИ), например, в штабе, бухгалтерии, I отделе, базе эксплуатации радиотехнического оборудования и авиационной электро-связи (ЭРТОС) и службе перевозок (СП) соответственно. Переход \$U\_1\$ моделирует поступление в штаб новой КИ. Переходы \$U\_2, U\_3, U\_4, U\_5, U\_6, U\_7, U\_8, U\_9\$ попарно моделируют

двухстороннюю связь между штабом и бухгалтерией, I отделом, базой ЭРТОС и СП соответственно.

Предположим, что вероятности потери свойств обеспечения конфиденциальности ЛС между субъектами рассматриваемой подсети образуют полную группу событий [4]. Тогда, в соответствии с [5], данный граф характеризуется следующими параметрами:

- матрицей априорных вероятностей появления деструктивного воздействия:

$$p = \begin{pmatrix} 0 & p_{1,2} & 0 & p_{1,4} & 0 & p_{1,6} & 0 & p_{1,8} & 0 \\ 0 & 0 & p_{2,3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{3,5} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{4,7} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{5,9} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где  $p_{1,2}$  – вероятность деструктивного воздействия на ЛС штаб – бухгалтерия,  $p_{1,4}$  – вероятность деструктивного воздействия на ЛС штаб – I отдел,  $p_{1,6}$  – вероятность деструктивного воздействия на ЛС штаб – база ЭРТОС,  $p_{1,8}$  – вероятность деструктивного воздействия на ЛС штаб-СП,  $p_{2,3}$  – вероятность деструктивного воздействия на ЛС бухгалтерия – штаб,  $p_{3,5}$  – вероятность деструктивного воздействия на ЛС I отдел – штаб,  $p_{4,7}$  – вероятность деструктивного воздействия на ЛС база ЭРТОС – штаб,  $p_{5,9}$  – вероятность деструктивного воздействия на ЛС СП – штаб;

- матрицей плотностей распределения продолжительности времени парирования деструктивного воздействия:

$$f(t) = \begin{pmatrix} \Delta(t) & f(t)_{1,2} & \Delta(t) & f(t)_{1,4} & \Delta(t) & f(t)_{1,6} & \Delta(t) & f(t)_{1,8} & \Delta(t) \\ \Delta(t) & \Delta(t) & f(t)_{2,3} & \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) \\ \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & f(t)_{3,5} & \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) \\ \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & f(t)_{4,7} & \Delta(t) & \Delta(t) \\ \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & \Delta(t) & f(t)_{5,9} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где  $\Delta(t) = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \delta(t - \tau)$  – функция Дирака,  $f(t)_{1,2}$  – ФПРВ продолжительности парирования деструктивного воздействия на линию штаб – бухгалтерия,  $f(t)_{1,4}$  – ФПРВ продолжительности парирования деструктивного воздействия на линию штаб – I отдел,  $f(t)_{1,6}$  – ФПРВ продолжительности парирования деструктивного воздействия на линию штаб – база ЭРТОС,  $f(t)_{1,8}$  – ФПРВ продолжительности парирования деструктивного воздействия на линию штаб – СП,  $f(t)_{2,3}$  – ФПРВ продолжительности парирования деструктивного воздействия на линию бухгалтерия – штаб,  $f(t)_{3,5}$  – ФПРВ продолжительности парирования деструктивного воздействия на линию I отдел – штаб,  $f(t)_{4,7}$  – ФПРВ продолжительности парирования деструктивного воздействия на линию база ЭРТОС – штаб,  $f(t)_{5,9}$  – ФПРВ продолжительности парирования деструктивного воздействия на линию СП – штаб.

Используя полученную модель, можно рассчитать вероятность наступления события  $Y$ , при котором произойдет нарушение целостности передаваемой информации:

$$p(Y) = 1 - (p_{1,2} \cdot p_{1,4} \cdot p_{1,6} \cdot p_{1,8} \cdot p_{2,3} \cdot p_{3,5} \cdot p_{4,7} \cdot p_{5,9}), \quad (8)$$

где выражение в скобках представляет вероятностную метрику сопротивляемости рассматриваемого фрагмента сети связи деструктивным воздействиям, обозначим его через  $\Omega$ .

Тогда с учетом соотношений (4) и (8) можно определить вероятностную оценку целостности информации  $P(x)$  в виде

$$P_n(x) = Z_n \cdot \Omega. \quad (9)$$

Однако при этом возникает вопрос необходимости оценки успешно реализованной уязвимости информации в аэропортовой сети связи, вызванной, в свою очередь, соответствующей угрозой целостности информационного обмена.

В последнее время стали известны данные о программно-аппаратных средствах деструктивного воздействия и слежения за информационными потоками сетей связи, дающие возможность осуществлять скрытое управление средствами с недеklarированными функциональными возможностями деструктуризацию транслируемой информации и ее зеркалирование.

Для численной оценки элементов матрицы вероятностей отказов линий связи  $Z_n$ , входящей в соотношение (9), возможно использование коэффициента неготовности  $\overline{K}_G = 1 - K_G$ , где  $K_G$  – стандартизированный коэффициент готовности:

$$K_G = \frac{T_0}{T_0 + \tau_g},$$

где  $T_0$  и  $\tau_g$  – средние значения времени наработки на отказ и восстановления (парирования последствий реализации угрозы) соответственно.

При этом соотношении (9) примет вид

$$P_n(x) \cdot K_{ГП}(x) = Z_n \cdot \Omega. \quad (10)$$

Но в данном случае, несмотря на кажущуюся простоту вычислений, возникают следующие трудности:

- какие линии связи используются в конкретном аэропорте;
- как произвести априорную оценку параметров их безотказности (какой использовать исходный закон распределения времени безотказной работы).

Если же учесть, что в региональных аэропортах в реальных условиях эксплуатации используются крайне «разношерстные» по своим физическим свойствам линии связи, то очевидной становится необходимость методической поддержки решения указанной задачи. При этом можно воспользоваться рекомендациями, представленными в источнике [6, с. 8].

При исследованиях было проведено моделирование изотропной радиально-кольцевой системы разомкнутого типа с одним центром при условии, что деструктивным фактором является пуассоновский поток непреднамеренных электромагнитных помех, имеющих логарифмическое нормальное распределение. Результаты моделирования представлены на рис. 3.

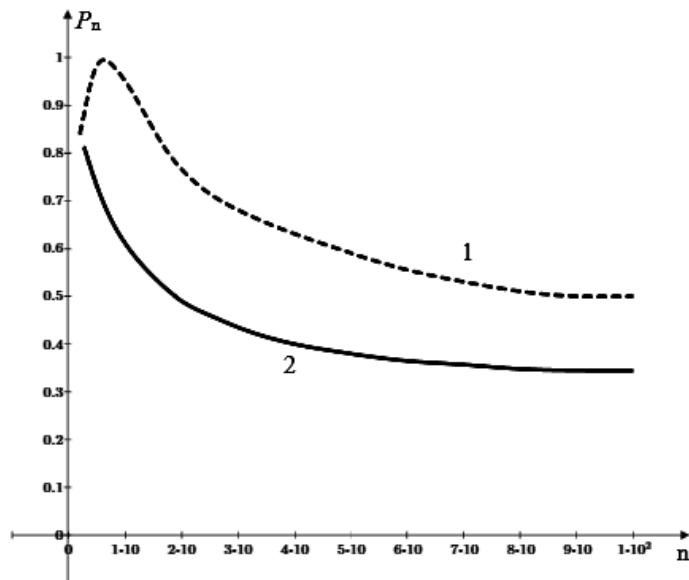


Рис. 3. Зависимость вероятности устойчивости системы от ранга n

Представленные графики получены при следующих параметрах:

- 1)  $S = 0; q = 0,1; \varepsilon = 0,1;$
- 2)  $S = 0,1; q = 0,05; \varepsilon = 0,05.$

Вышеизложенный материал является одним из алгоритмизированных способов оценки уровня целостности информации для сетей связи аэропортов ГА и может быть реализован на стадиях их проектирования и эксплуатации.

Резюмируя, необходимо отметить, что логическая цепочка исследований представляется в виде «уязвимость → источники угроз → результат реализации угрозы», что позволит оценить величину ущерба.

При анализе оценки уровня уязвимости необходимо учитывать существующие процедуры и методы обеспечения режима информационной безопасности, а также данные производителей средств защиты информации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гадасин В.А., Ушаков И.А. Надежность сложных информационно-управляющих систем. М.: Сов. радио, 1975.
2. Основы информационной безопасности / Е.Б. Белов, В.П. Лось, Р.В. Мещеряков, А.А. Шелупанов. М.: Горячая линия – Телеком, 2006.
3. Котов В.Е. Сети Петри. М.: Наука. 1984.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Высш. шк., 2001.
5. Емельянов В.Е., Логвин А.И. Техническая эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования. М.: МОРКНИГА, 2014.
6. Емельянов В.Е. Основы технической эксплуатации защищенных телекоммуникационных систем. Ч. I. М.: Издательство РИО МГТУ ГА, 2011.
7. Ларкин Е.В., Котов В.В., Котова Н.А. Оценка эффективности программного обеспечения работа с использованием сетей Петри-Маркова // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 9. Ч. 2. С. 156–162.
8. Применение математического аппарата сетей Петри – Маркова для определения временных и вероятностных характеристик системы управления высоконагруженными веб-

порталами с повышенной отказоустойчивостью / Р.Н. Акиншин, А.Н. Ивтунин, Д.О. Есиков, И.А. Страхов // Научный Вестник МГТУ ГА. 2014. № 210. С. 87–90.

9. **Maniatakos M., Karimi N., Jas A., Makris Y.** Instruction-level impact analysis of low-level faults in a modern microprocessor controller, *IEEE Trans. Comput.*, 2011, Vol. 60, No. 9, pp. 1160–1173.

10. **Ивутин А.Н., Страхов И.А.** Фреймворк для построения и исследования сетей Петри и их модификаций // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 9. Ч. 2. С. 135–140.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Емельянов Владимир Евгеньевич**, доцент, доктор технических наук, профессор МГТУ ГА, электронный адрес: emilianov@mstuca.aero.

**Аветисян Эдуард Каренович**, студент V курса МГТУ ГА, электронный адрес: eavetsyan@mail.ru.

## INTEGRITY ASSESSMENT OF INFORMATION EXCHANGE IN COMMUNICATION NETWORKS OF THE TYPICAL AIRPORTS

**Eduard K. Avetisyan**

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia,  
eavetsyan@mail.ru

**Vladimir E. Emelyanov**

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia,  
emilianov@mstuca.aero

### ABSTRACT

The article considers the evaluation method of information accuracy in communication networks such as radial and ring structure with a single center. The possibility of the assessment probability of communication networks no-failure operation among airport structural divisions with a parallel accounting network fragment resistance to destructive impacts with a probabilistic metrics is given.

For probabilities qualimetry of communication network failures use of operative availability function along with recommendations to use theoretical distributions for physically various communication networks is suggested. For a logical chain of the analysis of survival capabilities a range of problems to be stated while making prior and posteriori estimates is specified.

**Key words:** integrity of information, way of communication, ordinary network of Petri, stability of system, operational availability function.

### REFERENCES

1. **Gadasin V.A., Ushakov I.A.** Nadezhnost slozhnyh informacionno-upravljajushhih sistem. M., Sov. radio, 1975. (in Russian)
2. **Belov E.B., Los V.P., Meshherjakov R.V., Shelupanov A.A.** Osnovy informacionnoj bezopasnosti. M.: Gorjachaja linija – Telekom, 2006. (in Russian)
3. **Kotov V.E.** Seti Petri [Petri Nets]. M.: Nauka. 1984. (in Russian)
4. **Ventcel E.S.** Teorija verojatnostej. M.: Vyssh. shk., 2001. (in Russian)
5. **Emeljanov V.E., Logvin A.I.** Tehnicheskaja jekspluatacija aviacionnogo radiojelektronogo oborudovanija. M.: MORKNIGA, 2014. (in Russian)
6. **Emeljanov V.E.** Osnovy tehnicheckoj jekspluatcii zashhishhennyh telekommunikacionnyh sistem [Basics of technical operation of secure telecommunications systems]. p. I. M.: Publisher RIO MSTUCA, 2011. (in Russian)

**7. Larkin E.V., Kotov V.V., Kotova N.A.** Estimation of robot software efficiency using Petri-Markov networks. *Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki*, 2013, No. 9, p. 2, pp. 156–162. (in Russian)

**8. Akinshin R.N., Ivutin A.N., Yesikov D.O., Strahov I.A.** Use of mathematical apparatus of the Petri-Markov's networks for definition of temporary and probabilistic characteristics of the control system by the high-loaded web portals with the increased fault tolerance. *Nauchnyj Vestnik MGTU GA*, 2014, No. 210, pp. 87–90. (in Russian)

**9. Maniatakos M., Karimi N., Jas A., Makris Y.** Instruction-level impact analysis of low-level faults in a modern microprocessor controller, *IEEE Trans. Comput.*, Vol. 60, No. 9, 2011, pp. 1160–1173.

**10. Ivutin A.N., Strahov I.A.** Petri nets and extensions framework. *Izvestija TulGU. Tehniceskie nauki*. No. 9, p. 2. Tula: Izd-vo TulGU, 2013, pp. 135–140. (in Russian)