

Оценка вероятностных характеристик сложных радиотехнических систем в зависимости от количества и качества электронных элементов в их составе

К. З. Билятдинов, Д. В. Досиков

Представлены направления совершенствования способов оценки вероятностных характеристик сложных радиотехнических систем различного назначения в виде практических примеров применения методики оценки вероятности выхода из строя заданного количества электронных элементов сложной радиотехнической системы в зависимости от наибольшей вероятности выхода одного электронного элемента в ее составе и общего количества элементов в системе. На практике предлагаемая методика реализована в программе для ЭВМ «Расчет и анализ вероятностных характеристик системы».

Ключевые слова: вероятность, сложные радиотехнические системы, методика, способ, количество, электронный элемент.

DOI: 10.51368/1996-0948-2021-4-87-92

Введение

В настоящее время дальнейшее развитие инфокоммуникационных технологий на основе интеграции информационных и телекоммуникационных систем невозможно без комплексного применения радиотехнических систем, обладающих требуемыми и устойчивыми вероятностными характеристиками функционирования.

В пределах общемировой тенденции совершенствования инфокоммуникаций радиотехнические системы выступают важнейшим базисом построения мобильных сетей передачи данных и распространения количества глобальных информационных сервисов.

Аппаратная и программная сложность современных радиотехнических систем (далее –

систем) предопределяет разнообразие и высокие требования к качеству электронных элементов, входящих в состав данных систем. Стохастический характер процессов функционирования электронных компонентов исследуемых систем, сочетание различных скоростей информационных потоков и высокой скорости изменения радиосигналов, а также необходимость использования различных диапазонов частот обосновывают необходимость обеспечения рациональных процедур оценки вероятностных характеристик систем. В этом случае важнейшими качественными параметрами систем выступают количество электронных элементов (далее – элементов) в их составе и вероятность отказа одного элемента в заданных условиях эксплуатации [1–6].

Таким образом, сегодня эффективность исследования систем во многом зависит от своевременной и обоснованной оценки их вероятностных характеристик. В настоящее время несовершенство методического аппарата оценки вероятностных характеристик приводит к возникновению актуальной слабоструктурированной проблемы, заключающейся в необходимости разрешения противоречия между требованием к существенному уменьшению затрат времени и ресурсов на

Билятдинов Камилъ Закирович, доцент, канд. воен. наук.
E-mail: k74b@mail.ru

Досиков Василий Станиславович, доцент, д.э.н.
E-mail: dosikov@mail.ru

Национальный исследовательский университет ИТМО.
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский
проспект, 49, литер А.

Статья поступила в редакцию 13 августа 2021 г.

оценку и необходимостью проведения дорогостоящих экспериментов для сбора и обработки больших объемов информации о состоянии систем в различных условиях эксплуатации [1, 2, 5, 6].

Одним из рациональных путей существенного ослабления негативного влияния данной проблемы является дальнейшее совершенствование способов расчета вероятностных характеристик систем посредством применения биномиального закона распределения в выборках с возвратом. Поэтому основной целью данной работы являлась разработка и внедрение методики оценки и соответствующей программы для ЭВМ, применимой для исследования систем различного назначения.

Методика оценки вероятности выхода из строя заданного количества элементов сложной системы в зависимости от вероятности выхода одного элемента в ее составе

Представим назначение (возможности) методики и программы для ЭВМ следующим образом.

1. Для расчета действительных значений вероятности $P_n(x)$ одновременного отказа (неисправности) количества элементов x в составе системы, при одновременном отказе которых система гарантированно не выполнит свои функции, и кумулятивной вероятности $F_n(x)$. Расчеты осуществляются в зависимости от заданной вероятности отказа одного элемента $P_n(1)$ и общего количества оцениваемых элементов n в составе системы, от которых зависит выполнение одной или нескольких функций системы и (или) функционирование системы в целом за заданный период времени.

2. Для анализа зависимостей значений $P_n(x)$ и $F_n(x)$ друг от друга, а также от вероятности отказа одного элемента $P_n(1)$ и количества оцениваемых элементов (n).

3. Для определения количества элементов x и n и требований к значениям базовых вероятностных показателей $P_n(1)$, $P_n(x)$ и $F_n(x)$ в сфере выполнения отдельных функций (функции) системы или в сфере эффективного функционирования всей системы.

4. Для расчета и сравнения значений x , n , $P_n(1)$, $P_n(x)$ и $F_n(x)$ с их базовыми показателями (требованиями) или со значениями за разные периоды функционирования системы или для сравнения со значениями данных показателей других аналогичных систем.

5. Для определения «слабого звена» при функционировании системы: при выполнении какой функции системы вероятность невыполнения функции будет наибольшей, то есть наступит тот случай, когда значение $P_n(x)$ будет наибольшим.

6. Для экономии времени и ресурсов на испытание количества оцениваемых элементов x и n в реальных условиях при известном значении $P_n(1)$ за счет прогнозирования вероятности в сфере устойчивого функционирования систем (путем построения таблиц значений $P_n(x)$ и $F_n(x)$) [1, С. 210].

Краткая последовательность действий при выполнении методики.

1. Определение исходных данных для оценки качества систем.

1.1. Формулировка цели (назначения) применения методики и программы для ЭВМ с помощью выбора и комбинации вышеопределенных пунктов 1–6 назначения методики.

1.2. Определение функции (функций), на выполнение которой влияют оцениваемые элементы, или установление минимально необходимого числа систем (элементов одной системы), при котором система будет находиться в требуемом состоянии.

1.3. В зависимости от цели применения методики (п. 1–6 назначения) задать исходные значения x , n , или $P_n(1)$.

2. Выполнение расчетов и построение графиков (примеры на рис. 1 и 2).

$$P_n(x) = C_n^x P^x (1-P)^{n-x} = \frac{n!}{x!(n-x)!} P^x (1-P)^{n-x} \quad (1)$$

где C_n^x – число сочетаний из n элементов по x .

$$F_n(x) = \sum_{k=0}^x P_n(k). \quad (2)$$

Кумулятивная вероятность зависит от x , n , P .

2.3. Если на практике объем n небольшой, то для расчета $P_n(x)$ рационально использовать следующую формулу:

$$P_n(x) = \frac{P_n(1+x)^2(1-P)}{P(n-x)}. \quad (3)$$

3. Оформление результатов оценки. Примеры представлены на рисунках 1 и 2, а также в таблицах 1 и 2.

Основной недостаток методики: для расчетов необходимо знать действительное значение вероятности отказа одного элемента системы $P_n(1)$.

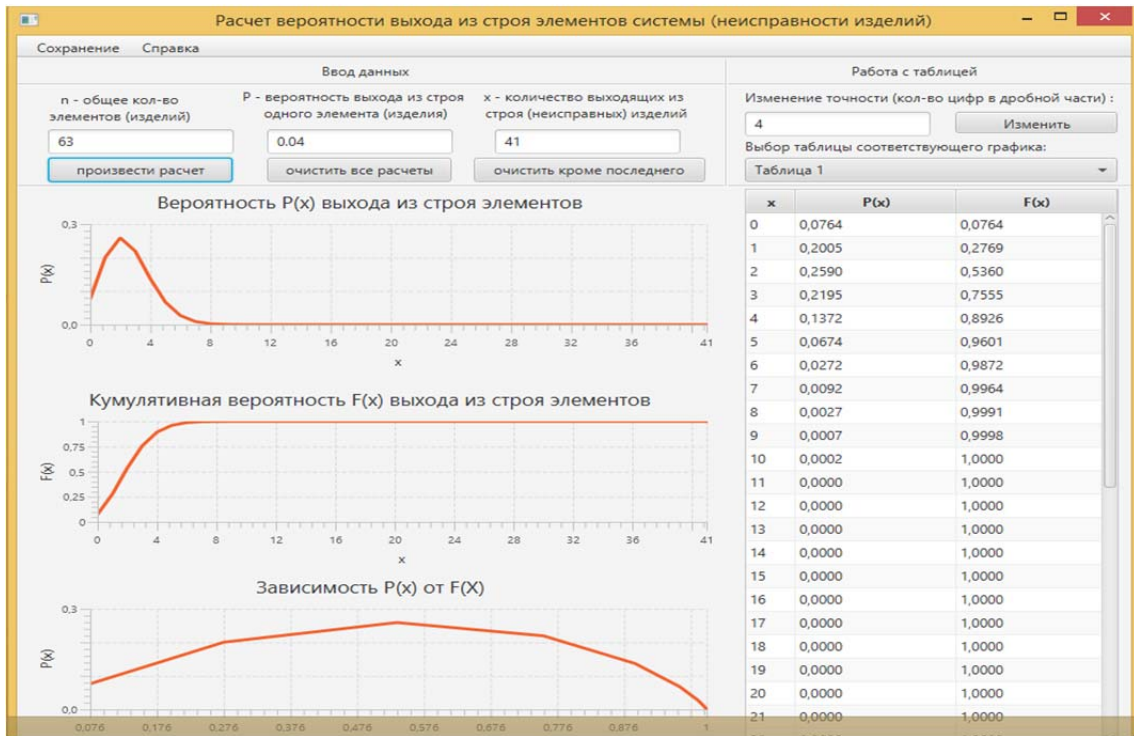


Рис. 1. Пример представления результатов расчетов и графики для $n = 63, x = 41, P_n(1) = 0,04$.

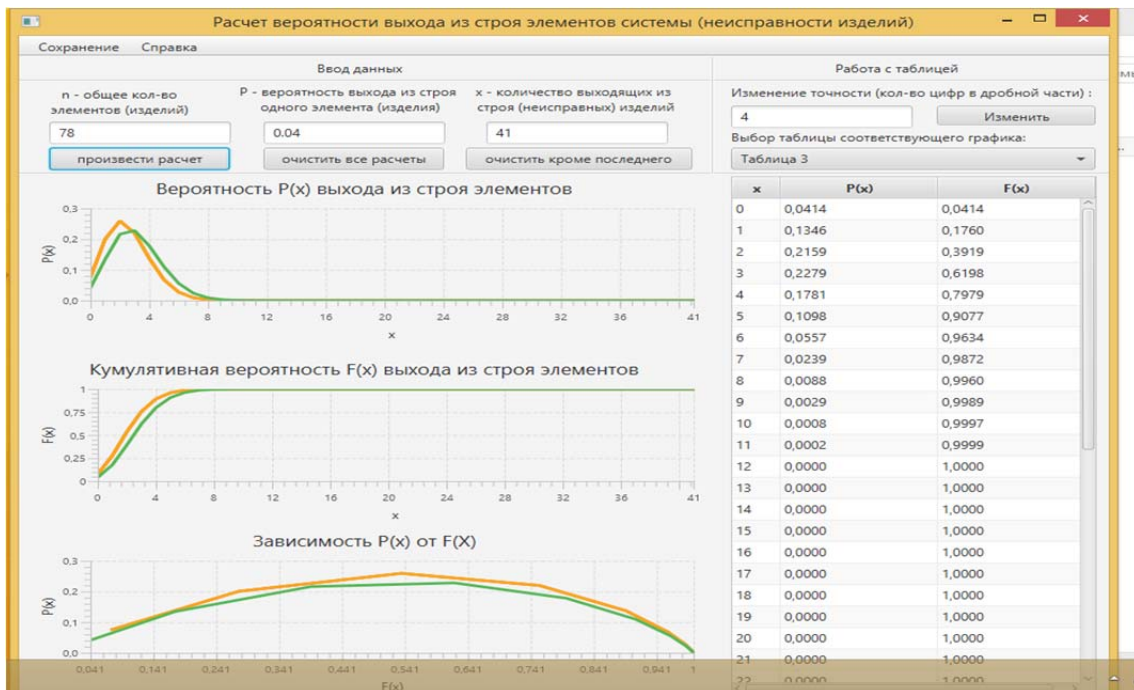


Рис. 2. Пример представления результатов расчетов со вторым графиком, построенным при увеличении количества оцениваемых систем до $n = 78$.

Таблица 1

Исходные данные для t_0 : $n = 78, x = 41, P_n(1) = 0,04$ (рис. 2)		
X	$F_0(x)$	$P_0(x)$
0	0,04142	0,04142
1	0,17601	0,134598
...
8	0,99605	0,008822
...
41	0,9999	2,626274E-36

Таблица 2

X	Исходные данные для t_0 : $n = 78, x = 41, P_n(1) = 0,04$ (рис. 2)		Исходные данные для t_1 : $n = 78, x = 41, P_n(1) = 0,04$ (рис. 1)		Изменение показателей за период времени функционирования системы: [$t_0; t_1$]	
	$F_0(x)$	$P_0(x)$	$F_1(x)$	$P_1(x)$	$\Delta F(x)$	$\Delta P(x)$
0	0,0414	0,0414	0,0764	0,0764	- 0,035	- 0,035
1	0,1760	0,1346	0,2769	0,2005	- 0,1009	- 0,0659
...
8	0,9960	0,0088	0,9991	0,0026	- 0,0031	- 0,0026
...

Примеры вариантов применения методики и программы для ЭВМ при исследовании систем

В примерах требуется решить две взаимосвязанные задачи (табл. 3, рис. 3 и 4).

Задача 1. В какой из двух систем, имеющих соответственно в составе элементы двух разных типов вероятность неисправности системы, будут выше: $P_1(9)$ или $P_2(10)$.

Задача 2. Значения вероятностей выхода из строя элементов первого и второго типов $P_1(1)$ и $P_2(1)$ в системах 1 и 2 для того, чтобы значения $P_1(9)$ и $P_2(10)$ были равны нулю с заданной точностью шесть знаков после запятой.

Исходные данные. В первой системе (далее – система 1) количество исследуемых эле-

ментов $n_1 = 63$. Определено, что одновременный отказ $x_1 = 9$ и более числа элементов приведет к неисправности системы 1. При этом для системы 1 вероятность отказа одного элемента первого типа, используемого в системе 1, будет равна $P_1(1) = 0,038$.

Во второй системе (далее – система 2) даны значения показателей $n_2 = 56, x_2 = 10$ и элементов второго типа, функционирующих во второй системе $P_2(1) = 0,044$.

Решение задачи 1. Расчет вероятности неисправности систем 1 и 2 (табл. 3).

По результатам расчетов (формула 3) получаем для системы 1 значение $P_1(9) = 0,000483$, а для системы $P_2(10) = 0,000122$. Таким образом, вероятность неисправности меньше в системе 2, чем в системе 1 на $\Delta P_{1,2} = 0,000361$.

Таблица 3

Результаты расчета вероятностных характеристик систем 1 и 2

X	$F_1(x)$	$P_1(x)$	$F_2(x)$	$P_2(x)$
0	0,087102	0,087102	0,080471	0,080471
1	0,303862	0,216759	0,287879	0,207408
...
8	0,999391	0,001999	0,999284	0,002302
9	0,999873	0,000483	0,999849	5,649801E-4
10	-	-	0,999972	1,222154E-4

Решение задачи 2. Расчет требуемых значений вероятности отказа элементов первого и второго типов $P_1(1)$ и $P_2(1)$ в системах 1 и 2 для того, чтобы значения $P_1(9)$ и $P_2(10)$ были равны нулю с заданной точностью, а именно, шесть знаков после запятой (рисунки 3 и 4).

Пример 2.1. В системе 1 вероятность неисправности $P_1(9) = 0$ при значении вероятности отказа одного элемента первого типа $P_1(1) \leq 0,015404$ (рис. 3).

Пример 2.2. В системе 2 вероятность неисправности $P_2(10) = 0$ при значении вероятности отказа одного элемента второго типа $P_2(1) \leq 0,0229703$ (рис. 4).

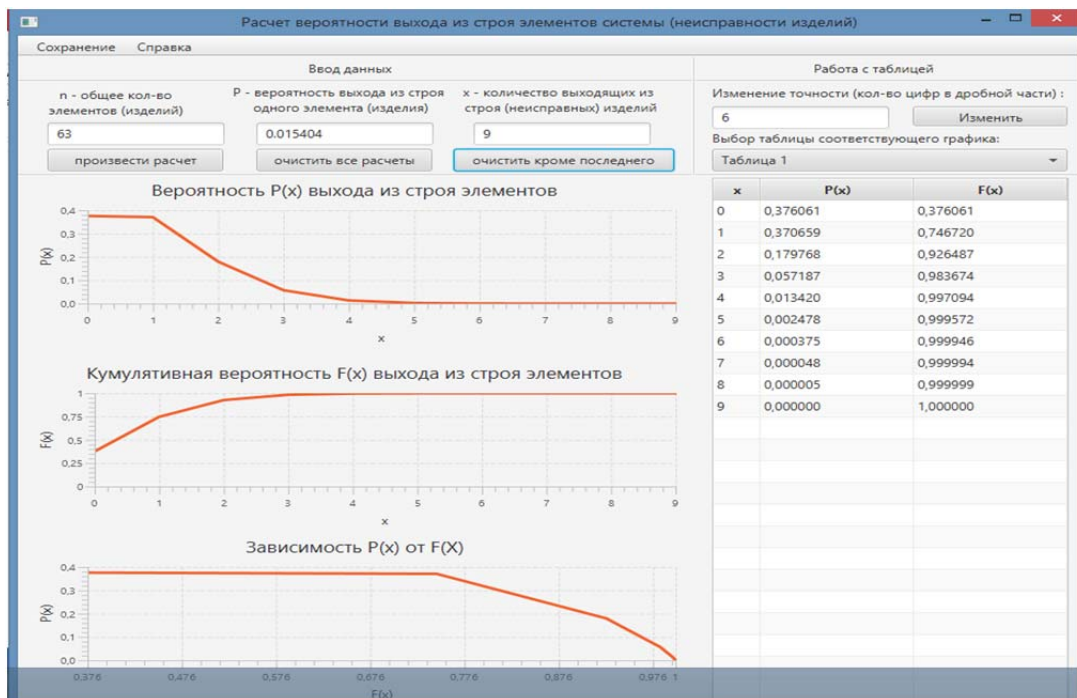


Рис. 3. Результаты расчета вероятности отказа элементов первого типа $P_1(1)$ в системе 1, при $P_1(9) = 0$ с заданной точностью шесть знаков после запятой.

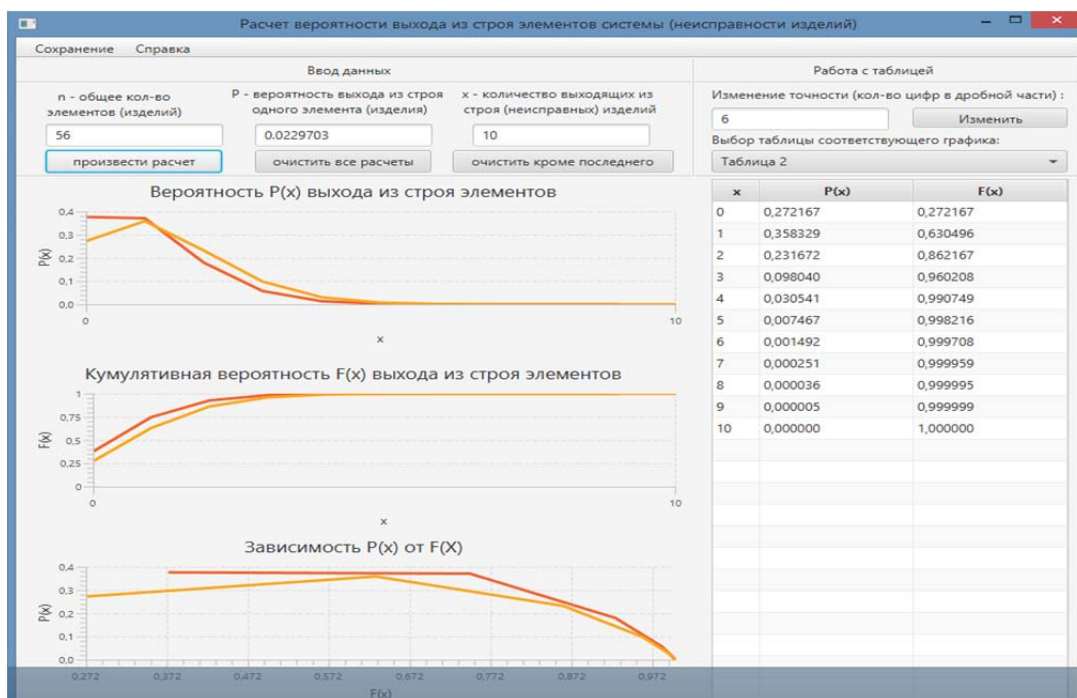


Рис. 4. Результаты расчета вероятности отказа элементов второго типа $P_2(1)$ в системе 2, при $P_2(10) = 0$ с заданной точностью шесть знаков после запятой.

Заклучение

Оценивая результаты работы, важно отметить, что теоретически одним из перспективных направлений рационального применения разработанной методики может являться регистрация сложных событий (в пределах видимости на горизонте событий), расчет вероятностных характеристик сценариев их развития, взаимосвязей и оценки возможных последствий в интересах повышения эффективности исследования динамики состояний оцениваемых систем [2–5, 7]. В практическом аспекте представленная методика реализована в программе для ЭВМ «Расчет и анализ вероятностных характеристик системы» (свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610203, 10.01.2020). Основным положительным эффектом

от применения методики и программы для ЭВМ будет состоять в существенном сокращении времени и ресурсов на расчет вероятностных характеристик систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Билятдинов К. З., Меняйло В. В. // Век качества. 2020. № 2. С. 198.
2. Билятдинов К. З. // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 11. С. 20.
3. Baker J., Henderson S. The Cyber Data Science Process. The Cyber Defense Review. 2017. Vol. 2. № 2. P. 47.
4. Duer S. // Energies. 2020. № 13. Art. 2437.
5. Calabrese R., Osmetti S. A. // European Journal of Operational Research. 2019. Vol. 279 (3). P. 1053.
6. Gerami J. // Expert Systems with Applications. 2019. № 137. P. 29.
7. Kalimoldayev M., Abdildayeva A., Mamyrbayev O. // Open engineering. 2016. Vol. 6. № 1. P. 464.

PACS: 07.57.Pt

Assessment of probabilistic characteristics of complex radiotechnical systems depending on quantity and quality of electronic elements within them

K. Z. Biliatdinov and V. S. Dosikov

ITMO UNIVERSITY

Bd. A, 49 Kronverksky Pr., St. Petersburg, 197101, Russia

E-mail: k74b@mail.ru

Received August 13, 2021

The article describes possible ways of improvement of assessment means of probabilistic characteristics of various complex radiotechnical systems. These ways are presented as practical examples of application of the methodology of assessment of a probability of failure of a given number of electronic elements within a complex radiotechnical system depending on a maximum likelihood of failure of one electronic element and the overall number of elements within the system. In actual practice, the proposed methodology is implemented through the software «Analysis and assessment of probabilistic characteristics of systems».

Keywords: probability, complex radiotechnical systems, methodology, method, quantity, electronic element.

DOI: 10.51368/1996-0948-2021-4-87-92

REFERENCES

1. K. Z. Biliatdinov and V. V. Meniailo, Vek Kachestva, No. 2, 198 (2020) [in Russian].
2. K. Z. Biliatdinov, Vestnik Povolzh'ya, No. 11, 20 (2020) [in Russian].
3. J. Baker and S. Henderson, The Cyber Data Science Process. The Cyber Defense Review **2** (2), 47 (2017).
4. S. Duer, Energies, No. 13, Art. 2437 (2020).
5. R. Calabrese and S. A. Osmetti, European Journal of Operational Research **279** (3), 1053 (2019).
6. J. Gerami, Expert Systems with Applications, No. 137, 29 (2019).
7. M. Kalimoldayev, A. Abdildayeva, and O. Mamyrbayev, Open engineering **6** (1), 464 (2016).