

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ НИЖНИХ  
ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СОСТОЯНИЙ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

**В. В. Глазкова<sup>1</sup>, Д. Ю. Муромцев<sup>2</sup>, В. Н. Шамкин<sup>2</sup>**

*Кафедры: «Природопользование и защита окружающей среды» (1),  
«Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» (2),  
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; ichka187@rambler.ru*

**Ключевые слова:** вероятность состояний функционирования; законы распределения; нижние и верхние значения; оценка; показатели надежности элементов; режим обслуживания; сложная система; точность; эффективность.

**Аннотация:** Представлено влияние различных факторов на точность вычисления нижних значений вероятностей состояний функционирования сложных систем, обусловленных отказами или нарушениями в работе их отдельных элементов. Рассуждения проиллюстрированы на примере сложных систем типа совокупности, знание нижних граничных значений которых могут быть использованы в процессе принятия решений при оперативном управлении технологическими процессами и объектами, а также при оценке эффективности функционирования сложных систем в процессе их проектирования.

---

**Введение**

В работах [1 – 3] рассматривались вопросы, связанные с изучением влияния показателей надежности средств защиты информации в автоматизированной банковской системе на эффективность мониторинга инцидентов информационной безопасности и, в конечном счете, на эффективность функционирования банка. В [4, 5] речь шла об управлении рисками на объектах регионального газового хозяйства. И в том и в другом случае объект исследования представляет собой сложную систему, в которой протекают случайные процессы, обусловленные отказами или нарушениями в работе отдельных элементов (подсистем) и последующим восстановлением их работоспособности. Результатом протекания процессов является смена состояний функционирования системы, происходящая в случайные моменты времени. Для таких систем возможно применение описанной в [6] методики исследования эффективности с учетом их нахождения в различных состояниях. В обоих случаях необходимо вычислять вероятности возможных состояний функционирования систем, причем могут возникать ситуации, когда необходимо делать это оперативно, в реальном времени, что не всегда возможно из-за огромного числа различных состояний, в которых система может оказаться.

Вопросы вычисления вероятностей состояний функционирования сложных систем, нашли отражение в [7 – 12]. Отметим публикацию [7], как основополагающую, в ней теоретически обоснована целесообразность использования при

расчетах сложных систем (с большим числом  $n$  элементов) гарантированных граничных значений показателей надежности, в том числе вероятностей состояний функционирования, что позволяет в дальнейшем применить этот подход для решения упомянутых выше задач. В [7 – 9] рекомендованы соотношения для вычисления гарантированных граничных значений (нижних и верхних) стационарных вероятностей состояний систем: при неограниченном обслуживании (число ремонтников  $r = n$ ) и произвольных распределениях времени работы и ремонта элементов; при ограниченном обслуживании (число ремонтников  $r < n$ ) и показательных распределениях их времени работы и ремонта. Вопросы оценки нестационарных вероятностей состояний сложных систем обсуждены в [9, 11]. Учет реальных распределений времени и работы и ремонта элементов, отличных от экспоненциального закона распределения, и их влияние на расчеты, проведены в [12].

### Оценка точности вычисления нижних граничных значений вероятностей состояний функционирования

Далее для сложных систем различной структуры, состоящих из большого числа  $n$  элементов, проводится анализ соотношений, используемых при оценке вероятностей  $P(h)$  состояний функционирования  $h \in H$ , где  $H$  – множество возможных состояний. Соотношения получены путем определения нижних  $P^H(h)$  и верхних  $P^B(h)$  гарантированных значений вероятностей, для которых выполняются условия:

$$P^H(h) \leq P(h) \leq P^B(h),$$

$$P^B(h) - P^H(h) \leq \Delta P(h),$$

где  $\Delta P(h)$  – задаваемая точность определения граничных значений вероятностей  $P(h)$ .

Для вычислений значений  $P^H(h)$ ,  $P^B(h)$  в [7] предлагается вместо реальной системы, состоящей из элементов, имеющих конкретные значения показателей надежности, рассматривать две системы, в которых надежность элементов одинакова и определяется показателями, соответственно равными среднеарифметическому и среднегеометрическому значениям показателей этих элементов.

Вначале проведен анализ точности для систем с неограниченным обслуживанием ( $r = n$ ), когда рассматривается некоторая система из  $n$  элементов, каждый из которых может находиться в двух состояниях – нормальное функционирование и отказ. Изменения состояний элементов независимы, законы распределения случайных величин – времени работы  $T_i$ , и времени ремонта  $\theta_i$   $i$ -го ( $i = \overline{1, n}$ ) элемента – произвольные, а среднее время нахождения его в состоянии функционирования –  $\overline{T}_i$ , среднее время нахождения в состоянии отказа –  $\overline{\theta}_i$ . Рассматривается

также значение показателя надежности  $i$ -го элемента в виде  $\rho_i = \frac{\overline{\theta}_i}{\overline{T}_i}$ , при этом

его среднее значение интерпретировалось как  $\overline{\theta}_i$  – среднее время ремонта, а  $\overline{T}_i$  – среднее время работы.

В качестве примера в табл. 1 представлены результаты расчета нижних, верхних и точных значений вероятностей состояний для двух разных по надежности систем, каждая из которых состоит из 10 элементов. Значения показателей надежности элементов систем  $\rho_i = \frac{\overline{\theta}_i}{\overline{T}_i}$ , ( $i = \overline{1, 10}$ ), моделировались с помощью датчика случайных чисел, подчиненных равномерному закону распределения со

Таблица 1

Точные  $P_j$ , нижние  $P_j^H$  и верхние  $P_j^B$  граничные значения вероятностей состояний функционирования  $H_j$  ( $j = \overline{0, n}$ ) систем с  $j$  отказавшими элементами при неограниченном обслуживании ( $r = n = 10$ )

Состояния $h$	Значения вероятностей состояний			Точность оценок, $\times 10^{-5}$	
	нижние $P_j^H$	точные $P_j$	верхние $P_j^B$	$P_j^B - P_j$	$P_j - P_j^H$
Первая система ( $\bar{\rho} = 0,01$ )					
$H_0$	0,904957	0,904963	0,905645	0,6	72,2
$H_1$	0,090906	0,090837	0,090838	0,1	6,8
$H_2$	0,004106	0,004096	0,004072	2,4	1,0
$H_3$	0,000110	0,000109	0,000108	0,1	0,1
Вторая система ( $\bar{\rho} = 0,1$ )					
$H_0$	0,387253	0,387386	0,388531	13,3	117,5
$H_1$	0,337857	0,337973	0,338972	11,6	100,1
$H_2$	0,199103	0,199665	0,200401	56,2	73,6
$H_3$	0,060662	0,060940	0,061254	27,8	31,4
$H_4$	0,012129	0,012197	0,012287	6,8	9,0
$H_5$	0,001663	0,001673	0,001690	1,0	1,7
$H_6$	0,000158	0,000159	0,000161	0,1	0,2

средними значениями  $\bar{\rho} = 0,01$  (более надежная система),  $\bar{\rho} = 0,1$  (менее надежная система) и дисперсией  $\delta = 0,003$ .

Значения вероятностей состояний определялись с использованием выражений и рекомендаций, приведенных в [7 – 10], при этом необходимые для расчета

$P_i^H$  и  $P_i^B$  значения среднего арифметического  $\bar{\rho} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \rho_i$  и среднего геометри-

ческого  $\hat{\rho} = \sqrt[10]{\rho_1 \rho_2 \dots \rho_{10}}$  вычислялись исходя из смоделированных значений  $\rho_i$  ( $i = \overline{1, 10}$ ).

Приведенные в таблице результаты позволяют сделать вывод о том, что рекомендованные в [7 – 12] соотношения для приближенного определения вероятностей состояний обладают весьма высокой точностью. Разница между граничными оценками и точными значениями вероятностей состояний находятся в пределах четвертого-шестого знака после запятой, при этом нижние граничные значения определяются всегда более точно, чем верхние.

Таким образом, нижние оценки всегда ближе к истинным значениям вероятностей состояний и это важно, поскольку при невозможности быстрого и точного определения показателей надежности сложных систем для оценки необходимо использовать именно нижние значения показателей вероятностей. Реальная надежность системы выше, хотя и незначительно, чем вычисленная, то есть использование нижней оценки гарантирует некоторый «запас надежности».

Верхние граничные значения служат для того, чтобы оценить (хотя бы приближенно) погрешность, допускаемую при замене истинных значений показателей надежности систем в виде вероятностей состояний на их приближенные нижние оценки. Для конкретной системы эта погрешность не превышает половины разности между верхними и нижними значениями соответствующих вероятностей состояний.

Следует отметить, что при определении граничных значений вероятностей состояний систем, состоящих из более надежных элементов, допускается меньшая погрешность (см. табл. 1), чем для систем из ненадежных элементов, то есть точность предлагаемых соотношений возрастает с ростом надежности системы. Это обстоятельство особенно важно, поскольку современные сложные технические системы состоят, как правило, из элементов, имеющих достаточно высокую надежность.

Одним из наиболее важных показателей функционирования сложной системы является вероятность  $P_0$  ее нормальной работы. В [10] приведены результаты расчета вероятности  $P_0$  систем, состоящих из различного числа элементов, при разных режимах обслуживания  $r \leq n$  и разных показателях надежности их элементов  $\bar{\rho}, \hat{\rho}$ .

На рисунке 1 штриховыми линиями показано, как изменяются граничные значения  $P_0^H, P_0^B$  вероятности состояния нормального функционирования систем при неограниченном обслуживании  $r = n$  с ростом числа  $n$  ее элементов при одинаковых средних значениях  $\bar{\rho}, \hat{\rho}$  показателей надежности.

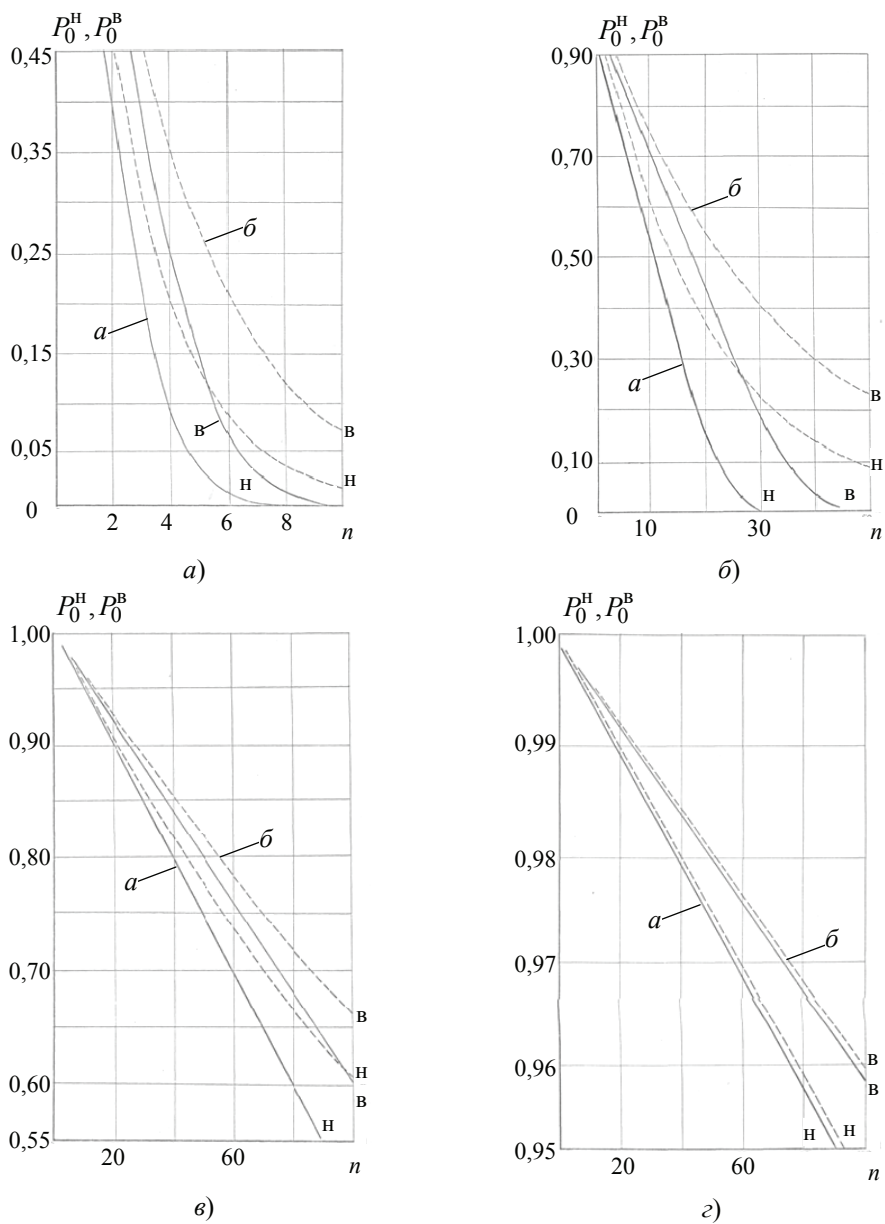
На рисунке 1 *a, б* представлены зависимости изменения  $P_0^H, P_0^B$  от числа элементов  $n$  для «малонадежных» систем, а на рис. 1 *в, г* – для «высоконадежных» систем. Как видно из этих рисунков, величина интервала  $(P_0^B - P_0^H)$  с ростом числа элементов возрастает (хотя и весьма незначительно), причем для «малонадежных» систем этот интервал несколько шире, чем для «высоконадежных» систем.

Учитывая высокую точность определения граничных значений вероятностей состояний, отмеченный выше факт о незначительности возрастания интервала  $(P_0^B - P_0^H)$  при увеличении  $n$ , а также то, что нижние граничные значения определяется всегда более точно (то есть истинная кривая изменения вероятности  $P_0$  располагается ближе к кривой  $P_0^H$ ), следует говорить о целесообразности использования предложенных в [11, 12] соотношений для оперативной оценки вероятности безотказной работы  $P_0$  систем с большим числом элементов.

Сплошные линии на рис. 1 *a – г* показывают, как изменяются граничные значения  $P_0^H, P_0^B$  вероятности состояния нормального функционирования систем в зависимости от числа  $n$  элементов систем при ограниченном обслуживании и одинаковых средних значениях  $\bar{\rho}, \hat{\rho}$  показателей надежности. При этом рассмотрен крайний случай полностью ограниченного обслуживания, когда  $r = 1$ , то есть имеется один ремонтник.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что величина интервала  $(P_0^B - P_0^H)$  для таких систем несколько шире, чем для систем с неограниченным обслуживанием, причем с увеличением числа  $n$  элементов системы ширина интервала несколько увеличивается, а для «высоконадежных» систем этот интервал уже, чем для «малонадежных».

Ширина интервала  $(P_0^B - P_0^H)$ , как это видно на рис. 2, при конкретных значениях  $\bar{\rho}, \hat{\rho}$  с изменением числа ремонтников  $r$  от одного до трех уменьшается, поскольку вероятность  $P_0$  нормального функционирования системы с ростом обслуживания растет. Расчеты показали, что при дальнейшем увеличении  $r$  ширина этого интервала уменьшается и достигает своего минимума при неограниченном обслуживании.



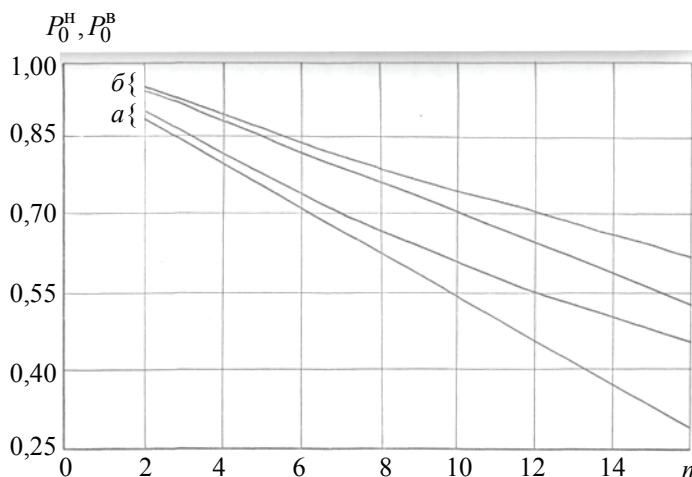
**Рис. 1. Зависимость верхних  $P_0^B$  (в) и нижних  $P_0^H$  (н) граничных значений**

**вероятности  $P_0$  состояния нормального функционирования систем от числа  $n$  элементов системы при неограниченном  $r = n$  и ограниченном  $r = 1$  обслуживании для:**

$a - \bar{\rho} = 0,5, \hat{\rho} = 0,4; б - \bar{\rho} = 0,05, \hat{\rho} = 0,04; в - \bar{\rho} = 0,005, \hat{\rho} = 0,004;$

$г - \bar{\rho} = 0,0005, \hat{\rho} = 0,0004$

Таким образом, для оценки погрешности вычисления используемого в определенных целях нижнего гарантированного значения  $P_0^H$  вероятности  $P_0$  нормального функционирования сложной системы, состоящей из  $n$  элементов и обслуживаемой числом ремонтника  $r < n$ , надо найти верхнее  $P_0^B$  значение, и вы-



**Рис. 2. Зависимость верхних  $P_0^B$  (в) и нижних  $P_0^H$  (н) граничных значений вероятности  $P_0$  состояния нормального функционирования систем от числа элементов  $n$  системы при  $\bar{\rho} = 0,01$  и  $\hat{\rho} = 0,03$ :  
 $a - r = 1$ ;  $\bar{b} - r = 3$**

числить разницу  $(P_0^B - P_0^H)$ , в пределах которой располагается вероятность  $P_0$ . Тогда допускаемая погрешность  $\delta \leq \frac{P_0^B - P_0^H}{2}$  при замене реального значения  $P_0$  на  $P_0^H$ .

Заметим, что для систем, состоящих из «надежных» элементов, графики зависимостей  $P_0^B$ ,  $P_0^H$  от числа  $n$  представляют собой прямые линии (см. рис. 1, з), уравнения которых можно записать в виде

$$P_0^B = 1 - \hat{\rho}n;$$

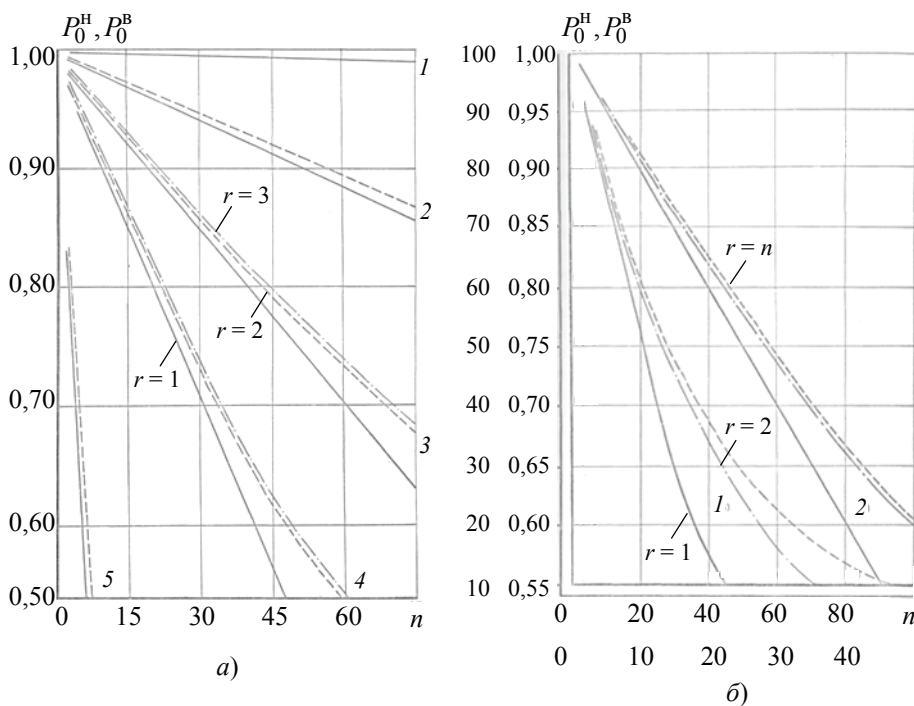
$$P_0^H = 1 - \bar{\rho}n.$$

Расчеты вероятностей  $P_0^B$ ,  $P_0^H$  для различных значений  $\bar{\rho}$ ,  $\hat{\rho}$  и  $r$ , показывают, что эти уравнения справедливы для значений  $\bar{\rho} \leq 0,01$ . Для значений  $\bar{\rho} > 0,01$  зависимости  $P_0^B$ ,  $P_0^H$  от  $n$  при больших  $n$  становятся нелинейными (см. рис. 1, а, б; 3, б).

Ранее отмечалась важность нижнего граничного значения вероятности  $P_0^H$  для сложной системы. На рисунке 3 показано, как изменяются значения  $P_0^H$  с увеличением числа  $n$  их элементов и числа ремонтников  $r$ .

С ростом  $r$  вероятность  $P_0^H$  увеличивается, причем при переходе от  $r = 1$  к  $r = 2$  наблюдается скачок в изменении  $P_0^H$ , особенно для больших  $\bar{\rho}$ . Дальнейшее увеличение  $r$  не приводит к существенному изменению  $P_0^H$  (особенно для «высоконадежных» систем). Сказанное позволяет сделать вывод о том, что для достаточно надежных систем при  $r \geq 2$  можно предлагать для расчета  $P_0^H$  более простые выражения, полученные в [7 – 10] для систем с неограниченным обслуживанием. Сказанное выше для вероятности  $P_0^H$  нормального функционирования сложной системы справедливо и для других вероятностей состояний.

В [12] отмечалось, что в случае, если реальные законы распределения времени работы и ремонта элементов сложной системы можно аппроксимировать эрланговским распределением, то расчет вероятностей ее состояний можно свести



**Рис. 3. Зависимость нижнего граничного значения  $P_0^H$  вероятности  $P_0$  от числа  $n$  элементов системы:**

*a* – при  $r = 1, 2, 3$ : 1)  $\bar{p} = 0,001$ ; 2)  $\bar{p} = 0,002$ ; 3)  $\bar{p} = 0,005$ ; 4)  $\bar{p} = 0,01$ ; 5)  $\bar{p} = 0,5$ ;  
*б* – при  $r = 1, 2, n$ : 1)  $\bar{p} = 0,05$ ; 2)  $\bar{p} = 0,005$

к расчету вероятностей системы с показательными распределенными временами работы и ремонта с определенным образом подобранными математическими ожиданиями. При этом значительно возрастает размерность данной задачи из-за введения так называемых «промежуточных состояний функционирования». Поэтому значимость нижних и верхних граничных значений вероятностей состояния для таких случаев становится еще более весомой, а, соответственно, для оценки точности их вычислений может быть применен использованный выше подход.

### Выводы

1. Показано, что погрешность, допускаемая при замене реального значения вероятности  $P(h)$  состояния  $h$ , где  $h \in H$ ,  $H$  – множество возможных состояний функционирования сложной системы, состоящей из  $n$  элементов и обслуживаемой числом ремонтников  $r \leq n$ , на нижнее граничное значение  $P^H(h)$ , не превышает величины  $\frac{P^B(h) - P^H(h)}{2}$ , где  $P^B(h)$  – верхнее гарантированное значение вероятности состояния.

2. Исследована зависимость точности нижних граничных значений вероятностей  $P^H(h)$  состояний функционирования  $h$  сложных систем, (обусловленных отказами или нарушениями в их работе), от числа элементов, режима обслуживания (неограниченное, ограниченное), законов распределения времени работы и ремонта элементов, а также их показателей надежности.

3. Значения вероятностей  $P^H(h)$  состояний функционирования используются в процессе принятия решений при оперативном управлении сложными технологическими процессами и объектами, а также при оценке их эффективности.

#### *Список литературы*

1. Попов, С. В. О влиянии состояний функционирования средств защиты информации на эффективность мониторинга инцидентов информационной безопасности банка / С. В. Попов, В. Н. Шамкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 297 – 303.

2. Попов, С. В. Методика мониторинга надежностных показателей средств защиты информации в банке по данным их текущей эксплуатации / С. В. Попов, В. Н. Шамкин // Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 1(37). – С. 54 – 65.

3. Попов, С. В. Определение вероятностей состояний функционирования средства контентного анализа как элемента системы мониторинга инцидентов информационной безопасности / С. В. Попов, В. Н. Шамкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2012. – Т. 18, № 1. – С. 27 – 37.

4. Алькубати, А. Ф. Роль и место задач управления рисками в автоматизированной системе оперативно-диспетчерского управления региональных газовых хозяйств / А. Ф. Алькубати, В. Н. Шамкин // Тр. междунар. науч.-технич. конф. «Современные информационные технологии. «Contemporary information technologies». – Пенза : Пенз. гос. технологич. академия, 2011. – Вып. 13 – С. 98 – 101.

5. Алькубати, А. Ф. / Система управления рисками на объектах регионального газового хозяйства / А. Ф. Алькубати, В. В. Глазкова, В. Н. Шамкин // Тез. докл. междунар. конф. с элементами науч. шк. – Тамбов : Изд-во Р. В. Першина, 2015. – С. 199 – 201.

6. Муромцев, Д. Ю. Методы оптимизации и принятия проектных решений : учеб. пособие / Д. Ю. Муромцев, В. Н. Шамкин. – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 2014. – 86 с.

7. Муромцев, Ю. Л. Определение границ показателей надежности сложных систем / Ю. Л. Муромцев // Автоматика и телемеханика. – 1977. – № 3. – С. 177 – 190.

8. Пакет программ для определения надежности и эффективности при автоматизированном проектировании сложных систем / Ю. Л. Муромцев [и др.] // Тез. докл. II всесоюз. научн.-техн. совещ. «Автоматизация проектирования систем автоматич. и автоматизир. управления». – Челябинск, 1978. – 178 с.

9. Муромцев, Ю. Л. Аннот. сообщ. VI всесоюз. совещ. по проблемам управления : статика и динамика надежности сложных систем / Ю. Л. Муромцев, В. Н. Шамкин. – М., 1977. – 95 с.

10. Шамкин, В. Н. Дестабилизационное управление сложными технологическими объектами : дис. ... док. тех. наук : 05.13.07 : защищена 30.06.1997 : утв. 13.03.1998 / Шамкин Валерий Николаевич. – Тамбов, 1997. – 422 с.

11. Алькубати, А. Ф. Об оперативной оценке нестационарной вероятности состояния нормальной работы сложной системы / А. Ф. Алькубати, Д. Ю. Муромцев, В. Н. Шамкин // Тр. междунар. науч.-технич. конф. «Современные информационные технологии (Computer-based Conference)». – Пенза : ПГТУ, 2013. – Вып. 18. – С. 44 – 46.

12. Алькубати, А. Ф. Определение состояний функционирования сложных систем при эрланговском распределении времен работы и восстановления их элементов / А. Ф. Алькубати, Д. Ю. Муромцев, В. Н. Шамкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2014. – Т. 20, № 1. – С. 6 – 16.



## Research into Dependence of Calculation Accuracy of Lower Boundary Values of Probability States of Complex Systems on Different Factors

V. V. Glazkova<sup>1</sup>, D. Yu. Muromtsev<sup>2</sup>, V. N. Shamkin<sup>2</sup>

*Departments: Nature Management and Environment Protection (1);  
Design of Electronic and Microprocessor Systems (2),  
TSTU, Tambov, Russia; ichka187@rambler.ru*

**Keywords:** accuracy; assessment; complex system; distribution laws; effectiveness; indicators of elements reliability; lower and upper values; probability of operation conditions; service mode.

**Abstract:** The paper evaluates the influence of different factors on the accuracy of calculating lower values of probability states of complex systems (used in decision-making in operational management of technological processes and objects), resulting from failures or disturbances in their individual elements.

### References

1. Popov S.V., Shamkin V.N. [On the influence of the state of functioning of means of protection of information on the effectiveness of monitoring of the bank's information security incidents], *Transactions of Tambov State Technical University*, 2011, vol. 17, no. 2, pp. 297-303. (In Russ.)
2. Popov S.V., Shamkin V.N. [Methods of monitoring indicators nadezhnostnogo means of information protection in the bank according to their current operation], *Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University*, 2012, no. 1(37), pp. 54-65. (In Russ.)
3. Popov S.V., Shamkin V.N. [Definition of probability means the functioning of the state of content analysis as part of the monitoring system of information security incidents], *Transactions of Tambov State Technical University*, 2012, vol. 18, no. 1, pp. 27-37. (In Russ.)
4. Al'kubati A.F., Shamkin V.N. [The role and place of risk management tasks in an automated system of operational dispatch management of regional gas enterprises], *Trudy mezhdunar. nauch.-tekhnich. konf. "Sovremennyye informatsionnye tekhnologii. "Contemporary information technologies" [Proceedings of the Intern. scientific-tech. Conf. "Modern information technologies. "Contemporary information technologies"]*, Penza: Penz. gos. tekhnologich. Akademiya, 2011, ussue 13, pp. 98-101. (In Russ.)
5. Al'kubati A.F., Glazkova V.V., Shamkin V.N. [The risk management system at the facilities of the regional gas industry], *Tez. dokl. mezhdunar. konf. s elementami nauch. shk. [Abstracts of the International Conference with the elements of scientific school]*, Tambov: Izd-vo R.V. Pershina, 2015, pp. 199-201. (In Russ.)
6. Muromtsev D.Yu., Shamkin V.N. *Metody optimizatsii i prinyatiya proektnykh reshenii : ucheb. Posobie [Optimization methods and acceptance of design solutions: Proc. benefit]*, Tambov: Tamb. gos. tekhn. un-t, 2014, 86 p. (In Russ.)
7. Muromtsev Yu.L. [Delimitation of indicators of reliability of complex systems], *Avtomatika i telemekhanika [Automation and Remote Control]*, 1977, no. 3, pp. 177-190. (In Russ.)
8. Muromtsev Yu.L., Grebennikov V.Ya., Groshev V.N., Lazutin S.B., Shamkin V.N. [The software package to determine the reliability and efficiency of auto-disaggregated as designing complex systems], *Tez. dokl II vsesoyuz. nauchn.-tekhn. soveshch. "Avtomatizatsiya proektirovaniya sistem avtomatich. i avtomatizir. Upravleniya" [Proc. II All-Union rep. nauchn.-tehn. ings of the Conference. "Automation systems design AB-tomatich. and automates. Management"]*, Chelyabinsk, 1978, 178 p. (In Russ.)

9. Muromtsev Yu.L., Shamkin V.N. *Annot. soobshch. VI vsesoyuz. soveshch. po problemam upravleniya: statika i dinamika nadezhnosti slozhnykh system* [Annotation. msg. VI All-Union. mgs of the Conference. Management issues: statics and dynamics of complex systems reliability], Moscow, 1977, 95 p. (In Russ.)

10. Shamkin V.N. *PhD Dissertation(Technical)*, Tambov, 1997, 422 p. (In Russ.)

11. Al'kubati A.F., Muromtsev D.Yu., Shamkin V.N. [About rapid assessment of non-stationary state probabilities normal operation of a complex system], *Tr. mezhdunar. nauch.-tekhnich.konf. "Sovremennye informa-tzionnye tekhnologii (Computer-based Conference)"* [Tr. Intern. scientific-tehnich.konf. "Modern information technology (Computer-based Conference)"], Penza: PGU, 2013, issue 18, pp. 44-46. (In Russ.)

12. Al'kubati A.F., Muromtsev D. Yu., Shamkin V.N. [Defining the Probabilities of Functioning States of Complicated Systems under Erlang Distribution of Work and Restoration Periods of its Elements], *Transactions of Tambov State Technical University*, 2014, vol. 20, no. 1, pp. 6-16. (In Russ., abstract in Eng.)

---

### **Einschätzung der Genauigkeit der Berechnung der unteren Randbedeutungen der Wahrscheinlichkeiten der Zustände des Funktionierens der komplizierten Systeme**

**Zusammenfassung:** Es ist der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Genauigkeit der Berechnung der unteren Bedeutungen der Wahrscheinlichkeiten der Zustände des Funktionierens der komplizierten Systeme, die von den Absagen oder von den Verstößen in der Arbeit ihrer abgesonderten Elemente bedingt sind, dargelegt. Die Überlegungen sind am Beispiel der komplizierten Systeme als die Gesamtheit exemplifiziert, deren Wissen der unteren Randbedeutungen im Laufe der Annahme der Lösungen bei der Disposition von den technologischen Prozessen und den Objekten, sowie bei der Einschätzung der Effektivität des Funktionierens der komplizierten Systeme im Laufe ihrer Entwicklung verwendet werden können.

---

### **Evaluation de la précision du calcul des valeurs limites inférieures des probabilités des états du fonctionnement des systèmes complexes**

**Résumé:** Est présentée l'influence de différents facteurs sur la précision du calcul des valeurs inférieures des probabilités des états du fonctionnement des systèmes complexes dus à des pannes ou des interruptions de leurs éléments. Les raisonnements sont illustrés à l'exemple des systèmes complexes du type de l'ensemble, la connaissance des valeurs limites inférieures desquels peut être utilisée dans le processus de la prise des décisions pour la gestion opérationnelle des processus et des objets, ainsi que lors de l'évaluation de l'efficacité du fonctionnement des systèmes complexes dans le processus de la conception.

---

**Авторы:** *Глазкова Виктория Викторовна* – магистрант; *Муромцев Дмитрий Юрьевич* – доктор технических наук, профессор, проректор по научно-инновационной деятельности; *Шамкин Валерий Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

**Рецензент:** *Соколов Михаил Владимирович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.