

## ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

В. Е. Гвоздев • А. С. Давлиева

**Аннотация.** В работе дается характеристика ситуации, требующей развития и совершенствования методов информационной поддержки обеспечения функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов в условиях неопределенности среды эксплуатации; обосновывается актуальность решаемой научной задачи. Работа посвящена разработке метода построения эмпирических моделей взаимосвязей параметров в условиях малого числа ретроспективных данных, а также совместного использования экспертных оценок и измеряемых данных.

**Ключевые слова:** функциональная безопасность; аппаратно-программные комплексы; территориально распределенные технические системы; эффективность функционирования; неопределенность среды эксплуатации; малое число данных; отказ; дефект.

### ВВЕДЕНИЕ

Необходимость обеспечения функциональной безопасности технических систем требует разработки мер по обеспечению функциональной безопасности системы мониторинга и ее компонент.

Формирование систем мониторинга за счет интеграции существующих систем, созданных на основе разных методологий, инструментальных средств, с одной стороны, обуславливает возникновение новых технологических задач, связанных с обеспечением бесшовной информационной интеграции (эти вопросы обсуждаются в работах, посвященных сетевому управлению [1, 2]). С другой стороны, открывает новые возможности сохранения эффективного функционирования систем за счет возникновения функционального дублирования (одни и те же функции разными способами реализуются в объединяемых системах). Наличие функционального дублирования позволяет перераспределять задачи между разными вычислительными узлами (например, на основе GRID-систем (эти вопросы обсуждаются в работах Тимофеева [3])). При этом следует отметить, что основу построения распределенных вычислительно-коммуникационных систем составляют базовые типовые структуры. Возможными подходами этого являются функциональное резервирование (дублирование) компонент получения измеряемых данных за счет восстановления потерянных измерений посредством вычислений, что является необходимым в случае малого числа данных.

Аппаратно-программные комплексы (АПК), на основе которых создаются системы мониторинга состояния компонентов технических систем, по сути являются сложными системами, в которых необходимо рассматривать как единое целое аппаратную и программную составляющие. В литературе отмечается, что «слабым местом» с точки зрения функциональной безопасности АПК являются программные компоненты. Рациональное планирование ресурсов на выявление и устранение дефектов в программных продуктах является одним из инструментов повышения функциональной безопасности программных продуктов.

Особенностями реализации выделенных задач, связанных с обеспечением функциональной безопасности, являются:

- 1) Малое число измеряемых данных, что обусловлено необходимостью реагирования на возникающие негативные ситуации в режиме жесткого реального времени; различные объемы данных, соответствующих разным измеряемым параметрам;
- 2) Интервальная неопределенность характеристик каналов информационного взаимодействия узлов и подсистем систем мониторинга;
- 3) Различная размерность показателей эффективности функционирования компонент технических систем.

Малое число однородных данных, гетерогенность технических систем и систем мониторинга, ограничения на время решения информационных задач, неоднородность среды эксплуатации, субъектоцентрическая природа аппаратно-программных комплексов, необходимость привлечения экспертов при решении задач обеспечения функциональной безопасности программных компонент АПК требуют развития подходов к выработке вариантов обеспечения функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов в составе систем управления распределенными сложными техническими системами.

#### **АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Существующие системы управления территориально распределенными техническими системами ориентированы на иерархическое управление, когда нижние уровни системы ориентированы на сбор и передачу данных и реализацию поступающих «сверху» решений. В условиях ориентации на получающие все большее распространение беспроводные системы передачи данных, а также отказы компонент систем мониторинга, это может привести к искаженному восприятию текущей ситуации из-за потерь данных и их старения, что замедляет реакцию на динамически изменяющиеся ситуации. По мере роста сложности и масштабов системы прежние структуры системы информационной поддержки управления могут не справиться со своими задачами, что делает необходимым совершенствовать подходы к обеспечению информационной поддержки управления. Так, увеличение масштабов и сложности территориально распределенных гетерогенных технических систем диктует изменение парадигмы управления информационной поддержки: происходит переход к сетцентрическому управлению, характерной особенностью которого является ориентация на интеллектуальные сенсоры и Fog Computing. При этом обеспечение функциональной безопасности компонент информационных систем приобретает критически важное значение.

Функциональная безопасность компонент (согласно ГОСТ Р МЭК 61508) АПК в составе информационной поддержки управления технических систем определяется главным образом двумя факторами: дефектами, допущенными при их проектировании или изготовлении, а также конструктивными особенностями изделий.

Анализ существующих подходов к обеспечению функциональной безопасности систем информационной поддержки управления распределенными системами выявил, что область применимости ранее разработанных методов обеспечения функциональной безопасности не позволяет в полной мере решать задачи, связанные с обеспечением задач информационной поддержки сетцентрического управления, что обуславливает актуальность задачи совершенствования методов функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов в составе систем управления распределенными техническими системами.

#### **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНИВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ МАЛОГО ЧИСЛА И РАЗНЫХ ОБЪЕМОВ ДАННЫХ О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

В случае малого числа и низкой точности измеряемых данных необходимо обеспечить баланс между свойствами исходных данных и сложностью моделей, т. е. ориентироваться на модели простой структуры. При малом числе данных использовать модели со сложной

структурой нецелесообразно. Задача построения линейных регрессионных зависимостей известна, однако она основана на наличии корреляционной таблицы, получение которой на практике осложняется разными регламентами сбора данных на разных стадиях жизненного цикла изделий. Поэтому в качестве самостоятельной задачи можно выделить задачу построения линейных регрессионных моделей по малому числу данных в случае отсутствия корреляционной таблицы, а также на основе совместного использования измеряемых данных и экспертных оценок.

Основу построения моделей составляет решение задачи, обратной по отношению к известной задаче определения закона распределения функции случайного аргумента. Концептуальную основу решения задачи построения регрессионных зависимостей при отсутствии корреляционной таблицы либо на основе совместного использования исходных данных составляет обеспечение сопоставимости исходных данных за счет преобразования их к виду законов распределения случайной величины.

Общая схема решения задачи построения линейных регрессионных зависимостей имеет вид:

$$\begin{aligned} A(1): \{x\}_1^N &\rightarrow \hat{F}(x), \\ A(2): \{y\}_1^M &\rightarrow \hat{F}(y), \\ A(3): \{\hat{F}(x), \hat{F}(y)\} &\rightarrow \langle \hat{x}, \hat{y} \rangle, \\ A(4): \langle \hat{x}, \hat{y} \rangle &\rightarrow \hat{y} = a + b\hat{x}, \end{aligned} \quad (1)$$

где параметры  $\langle \hat{x}, \hat{y} \rangle$  — корреляционная таблица;  $A(3)$  — оператор, который реализует обратную задачу оценивания закона распределения функции случайного аргумента;  $A(4)$  — оператор построения по сформированной корреляционной таблице линейной регрессионной зависимости, параметры которой определяются соотношениями:

$$b = \frac{\hat{\sigma}_y}{\hat{\sigma}_x}, \quad a = \hat{M}[y] - \hat{M}[x] \frac{\hat{\sigma}_y}{\hat{\sigma}_x},$$

где  $\hat{M}[x]$  и  $\hat{M}[y]$  — математическое ожидание величин  $X$  и  $Y$  соответственно, а также их среднеквадратическое отклонение  $\hat{\sigma}_x$  и  $\hat{\sigma}_y$ .

Обосновано, что параметры линейной функциональной зависимости, определяемые по данной схеме, совпадают с параметрами зависимости, вычисленными по методу наименьших квадратов.

Преобразование экспертных оценок к виду закона распределения случайной величины основано на использовании известного треугольного распределения.

Построение линейных зависимостей на основе измеряемых данных, а также субъективных оценок  $\{t\}$  в виде нижних и верхних границ интервала  $\{H_t; B_t\}$  сводится к определению на основе моды  $t_M$  и границ области возможных значений  $t$  математического ожидания  $\hat{M}[t]$  и среднеквадратического отклонения  $\hat{\sigma}[t]$ , по которым строится функция  $\hat{F}(t)$  треугольного распределения:

$$A(1): \{H_t, B_t, t_M\} \rightarrow \{\hat{M}[t]; \hat{\sigma}[t]\}, \quad A(2): \{\hat{M}[t]; \hat{\sigma}[t]\} \rightarrow \hat{F}(t).$$

Далее определение параметров линейной зависимости организуется по схеме (1).

В ходе исследований методами имитационного моделирования оценивались свойства параметров линейных зависимостей  $a$  и  $b$ , а также показателей точности регрессионных моделей. На рисунке 1 в качестве примера приведены результаты исследований свойств параметров регрессионной модели, на рисунке 2 — характеристики точности оценки регрессионных моделей.

На рисунке 1 показаны зависимости характеристики неопределенности  $H$  (в качестве характеристики неопределенности выбиралась площадь поля рассеяния  $H$  параметров  $a$  и  $b$ ) от объема выборки  $N$  в случае равномерного закона распределения аргумента и нормального закона распределения погрешности измерений. Цифра 1 соответствует случаю, когда масштаб помехи составлял  $\sigma_\varepsilon = 0$ ; цифра 2 — когда масштаб помехи составлял  $\sigma_\varepsilon = 0,1\sigma_x$ ; цифра 3 —

$\sigma_\varepsilon = 0,5\sigma_x$ ; цифра 4 —  $\sigma_\varepsilon = 0,9\sigma_x$ . В качестве примера на рисунке 2 представлены зависимости характеристик неопределенности  $H$  для случая, когда объемы выборок  $\{x\}_1^N, \{y\}_1^M, N = 10; 50; 100; M = 10; 20; 50; 100$ .  $\{x\}_1^N$  и  $\{y\}_1^M$  распределены по нормальному закону распределения, погрешность измерений составила 5%. В качестве характеристики неопределенности использовалась максимальная ширина доверительного интервала, в котором находятся построенные регрессионные зависимости.

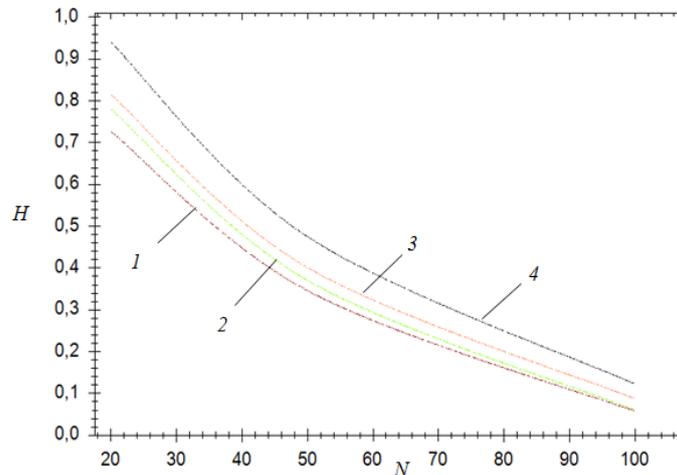


Рис. 1 Зависимости характеристик неопределенности  $H$  от объема выборки  $N$

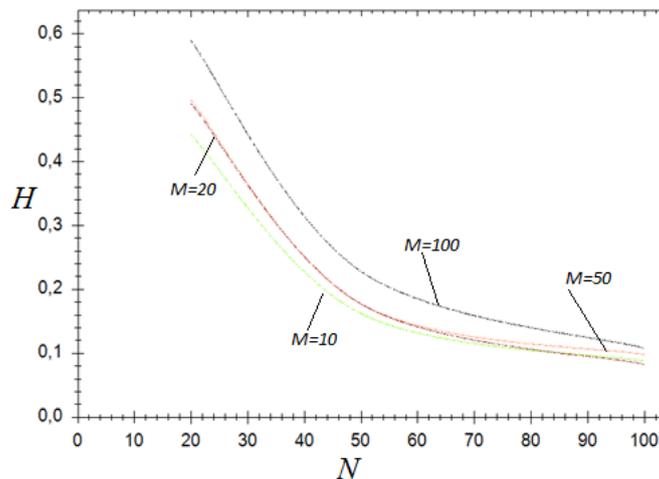


Рис. 2 Зависимости характеристик неопределенности  $H$  от объема выборки  $\{x\}_1^N$

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК УЗЛОВ И СВЯЗЕЙ В ТИПОВЫХ СТРУКТУРАХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ О РАЦИОНАЛЬНЫХ СПОСОБАХ РЕАГИРОВАНИЯ НА ЧАСТИЧНЫЕ ОТКАЗЫ В АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Основу решения задачи составляет развитие аппарата уравнений Колмогорова на случай интервальных оценок показателей относительной эффективности функционирования (фактически являющихся разновидностью статистических индексов) и интенсивностей переходов при различных состояниях, обеспечивающего эффективное функционирование аппаратно-программных комплексов при частичных отказах их функциональных компонент. Критерием

эффективности парирования отказов являлись потери относительной целевой эффективности системы [4].

Обоснована возможность построения системы уравнений Колмогорова в случае исследования гетерогенных АПК за счет предварительного обеспечения сопоставимости характеристик состояния гетерогенных компонент сложной системы на структурном и параметрическом уровнях. На структурном уровне сопоставимость обеспечивается за счет представления различных по устройству систем и связей между ними в виде сервисов, реализующих решение бизнес-задач. Такое представление создает основу для описания разных, с точки зрения функциональной безопасности, ситуаций устройств посредством диаграммы состояний. При этом каждому узлу диаграммы состояний ставится в соответствие сопоставимый, с точки зрения потребителя, набор результатов решения бизнес-задач. На параметрическом уровне обеспечение сопоставимости основано на использовании относительных показателей эффективности (узлы диаграммы состояний) и интенсивностей переходов между состояниями. Основанием для использования относительных показателей эффективности является то, что они являются безразмерными, т. е. можно абстрагироваться от физической природы бизнес-процессов. Основанием для использования в качестве весовых характеристик ребер графа интенсивностей переходов является то, что в этом случае все весовые коэффициенты имеют одинаковую размерность (число событий в единицу времени).

Сопоставимость решений бизнес-задач (на основе относительных показателей эффективности) и способов решения задач (за счет представления их в виде сервисов) делает возможным в качестве интегральной характеристики состояния использовать аддитивную функцию  $\mathcal{E}_\Sigma = \sum_i \mathcal{E}_i p_i$ , где  $i$  – состояние системы.

Для задач, представленных ниже, использовались следующие формализованные положения:

- Рассматривается система с гомогенными во времени характеристиками состояния, которой ставится в соответствие ориентированный граф  $D = (V, A, \Delta)$ , где  $V$  – вершины графа в количестве  $n$ , причем  $k$ -й вершине соответствует показатель эффективности функционирования  $\mathcal{E}_k$  ( $k = \overline{1; n}$ );  $A$  – дуги;  $\Delta$  – ориентированное отображение инцидентностей графа.

- В общем случае элементы несимметричной относительно главной диагонали матрицы размером  $n \times n$   $\|\lambda^{(0)}\|$  представляют значения интенсивностей переходов между вершинами графа.

- Границы интервалов  $\{\lambda_{ij}^{(H)}; \lambda_{ij}^{(B)}\}$  значений интенсивностей переходов, начинающихся в  $i$ -м и заканчивающихся в  $j$ -м узлах, т. е.  $\lambda_{ij} \in [\lambda_{ij}^{(H)}; \lambda_{ij}^{(B)}]$ , ( $i, j = \overline{1; n}$ ). В отдельных случаях  $\lambda_{ij}$  может принимать значение “нуль”, что означает отсутствие отношения между  $i$ -й и  $j$ -й вершинами.

- Границы интервалов  $\{\mathcal{E}_k^{(H)}, \mathcal{E}_k^{(B)}\}$  возможных значений показателей эффективности системы в случае, когда ей соответствует  $k$ -я вершина графа  $V_k$ , т. е.  $\mathcal{E}_k \in [\mathcal{E}_k^{(H)}, \mathcal{E}_k^{(B)}]$ , ( $k = \overline{1; n}$ ).

- Множество начальных значений показателей эффективности  $\mathcal{E}_k^{(0)}$ ,  $k = \overline{1; n}$ .

1. В рамках представленной формализации рассмотрена задача влияния интервальной неопределенности характеристик компонентов структуры на значения статистических характеристик модели эффективности. Целью исследований было получение ответа на вопрос: может ли вариативность параметров привести к большей потере функциональной безопасности системы, чем целенаправленное ухудшение функциональных характеристик системы при отсутствии вариативности параметров.

На основе проведенных исследований выяснено, что разброс характеристик узлов графа в большей степени влияет на статистическую устойчивость показателей модели эффективности. Учет разброса характеристик интенсивностей переходов в большей степени влияет на от-

клонение формы закона распределения от симметричного, причем знак коэффициента асимметрии указывает на то, что значения  $\Xi_{\Sigma}$  большие, чем математические ожидания  $M[\Xi_{\Sigma}]$ , появляются чаще, нежели значения меньшие, чем математическое ожидание.

2. Рассмотрена задача оценки влияния структурных решений на оценку функциональной безопасности по показателю целевой эффективности АПК. Целью исследований было определить, до какой степени возможна компенсация изменения среднего относительного значения целевой эффективности системы вследствие потери эффективности одного узла за счет целенаправленного изменения границ диапазонов показателей эффективности иных узлов. Задача рассматривалась для известных четырех базовых структур: линейной, «кольцо», «звезда» и «сеть».

Результаты исследований показали, что наиболее чувствительной к ухудшению показателей эффективности узлов 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 нетерминальных узлов. Полученные результаты могут составить основу сравнения альтернатив переходов между состояниями на этапе проектирования АПК [5].

3. Рассмотрена задача оценки влияния вариативности параметров системы (узлов и интенсивностей переходов) на показатели отказоустойчивости. Целью исследований было выяснение того, что больше влияет на функциональную безопасность – свойства узлов либо свойства связей [6].

Приведенные исследования позволяют заключить, что вариативность параметров системы может выступать в качестве иницирующего события, приводящего к недопустимым изменениям свойств системы. Разброс параметров компонентов системы с точки зрения потери средней целевой эффективности может приводить к результатам худшим, чем сознательное ухудшение свойств системы за счет внешних воздействий, снижающих эффективность узлов системы.

4. Рассмотрены прямая и обратная задачи функциональной безопасности. Прямая задача состоит в определении влияния характеристик неопределенности эффективности в узлах системы и интенсивностей переходов на значения характеристики неопределенности средней целевой эффективности. Обратная задача состоит в оценке ограничений на вариативность параметров узлов и ребер графа исходя из ограничений на характеристики неопределенности средней целевой эффективности.

Предлагаемый в работе подход позволяет формализовать процедуру вынесения заключения о функциональной безопасности системы на основе анализа характеристик внешнего поведения системы.

5. Рассмотрена задача компенсации потери эффективности в одном узле системы за счет изменения свойств в других узлах [7].

Из полученных результатов можно заключить, что возможна компенсация потери эффективности в узлах структуры за счет изменений статистических характеристик в других узлах. При уменьшении устойчивости системы путем увеличения среднеквадратического отклонения максимальное восстановление достигается путем изменения характеристик в других узлах на 25–30%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ известных подходов к обеспечению функциональной безопасности систем информационной поддержки управления распределенными системами показал, что область применимости ранее разработанных методов обеспечения функциональной безопасности не позволяет в полной мере решать задачи, связанные с обеспечением функциональной

безопасности систем информационного обеспечения сетевидного управления, что обуславливает актуальность задачи совершенствования методов обеспечения функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов в составе систем управления распределенными техническими системами.

Разработан метод построения линейных регрессионных зависимостей в случае отсутствия таблицы совместно наблюдаемых значений на основе решения обратной задачи оценивания закона распределения функции случайного аргумента. Основу метода составляет преобразование исходных данных к виду законов распределения непрерывных случайных величин и измеряемых данных, а также на основе совместного использования измеряемых данных и экспертных оценок. Доказано, что для частного случая оценки, полученные предлагаемым методом, совпадают с оценками, получаемыми методом наименьших квадратов, т. е. полученные оценки являются несмещенными, состоятельными и наиболее эффективными оценками в классе всех несмещенных оценок. Представлены результаты исследования статистических свойств оценок регрессионных зависимостей в условиях малых по объему и низких по точности исходных данных.

Разработаны алгоритмы обеспечения эффективного функционирования аппаратно-программных компонент сложных систем при частичных отказах функциональных компонентов и неопределенности среды функционирования, основанные на компенсации потери эффективности в одних узлах системы за счет повышения эффективности в других узлах, отличающиеся от известных тем, что основу решений составляют статистические индексы, характеризующие относительную эффективность узлов структур. Это делает возможным на стадии проектирования сформировать алгоритмы обеспечения функциональной безопасности системы в случае возникновения частичных отказов, что, в свою очередь, позволяет автоматически компенсировать последствия частичных отказов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Ефремов А. Ю., Максимов Д. Ю. Сетевидная система управления – что вкладывается в это понятие? // Труды Третьей Всероссийской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ-2012, Москва). М.: ИПУ РАН, 2012. С. 158–161. [[ A. U. Efremov, D. U. Maksimov, "Network-centric control system - what meaning is put in this concept?" (in Russian). In: Hardware and Software of Control, Monitoring and Measurement Systems, pp. 158-161, 2012. ]]
2. Затуливетер Ю. С. Компьютерный базис сетевидного управления // Сборник трудов Второй российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения (теория, методы, алгоритмы, исследования и разработки)». М.: ИПУ РАН, 2010. С. 492–511. [[ U. S. Zatuliveter, "Computer basis for network-centric control" (in Russian). In: Hardware and Software of Control, Monitoring and Measurement Systems, pp. 492-511, 2010. ]]
3. Тимофеев А. В. Адаптивное управление и интеллектуальный анализ информационных потоков в компьютерных сетях. СПб.: ООО «Анатолия», 2012. [[ A. V. Timofeev, Adaptive Management and Intelligent Analysis of Information Flows in Computer Networks (in Russian). St. Petersburg: "Anatoliya", 2012. ]]
4. Gvozdev V. E., Chernyakhovskaya L. R., Davlieva A. S. "Decision support in management of hardware-software complex functional safety on the basis of ontological engineering". In: Proc. of the International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 2018, (Sochi, September 9-16, 2018), pp. 1-5.
5. Gvozdev V. E., Guzairov M. B., Bezhaeva O. Ya., Davlieva A. S., Galimov R. R. "Ensuring the functional safety of the distributed dynamic systems components in the conditions of uncertainty of the environment use". In: Proc. of the International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS 2020), 2020, pp. 232-237.
6. 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 of the state characteristics dispersion on the vulnerability indicator of complex systems". In: Proc. of the 5th Workshop on Information Technologies for Intellectual Decision Support (ITIDS' 2017), 2017, Vol. 2, pp. 158-161. ]]
7. 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". In: Proc. of the International Conference on Information Technology and Nanotechnology. Session Data Science DS-ITNT 2017, (Samara, April 24-27, 2017), 2017, pp. 11-16.

## МЕТАДАННЫЕ / METADATA

**Title:** Evaluation of the functional safety of hardware and software complexes based on mathematical and statistical methods.

**Abstract:** The paper gives a description of the situation that requires the development and improvement of information support methods for ensuring the functional safety of hardware and software systems under conditions of uncertainty in the operating environment; the relevance of the scientific problem being solved is substantiated. The work is devoted to the development of a method for constructing empirical models of parameter relationships in the conditions of a small number of retrospective data, as well as the joint use of expert assessments and measured data.

**Key words:** functional safety; hardware and software complexes; geographically distributed technical systems; functioning efficiency; uncertainty of the operating environment; small amount of data; refusal; defect.

**Язык статьи / Language:** русский / Russian.

**Об авторах / About the authors:****ГВОЗДЕВ Владимир Ефимович**

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Россия. Проф. каф. технической кибернетики. Дипл. инж. электронной техники (Уфимск. авиац. ин-т, 1978). Д-р техн. наук по упр. в техн. системах (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2000). Иссл. в обл. математической статистики, информационных систем, экологического мониторинга.  
E-mail: wega55@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8557-3445>  
URL: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=174520](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=174520)

**GVOZDEV Vladimir Efimovich**

Ufa University of Science and Technology, Russia. Prof., Dept. of Technical Cybernetics. Dipl. of electronic engineer (Ufa Aviation Institute, 1978). Dr. of Tech. Sci. in technical systems control (Ufa State Aviation Technical University, 2000). Research in mathematical statistics, information systems, environmental monitoring.  
E-mail: wega55@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8557-3445>  
URL: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=174520](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=174520)

**ДАВЛИЕВА Алия Салаватовна**

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Россия. Доц. каф. технической кибернетики. Дипл. препод.-исследователь (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2019). Канд. техн. наук (там же, 2022). Иссл. в обл. математической статистики, информационных систем.  
E-mail: aliyasr21@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7548-2134>  
URL: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=869995](https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=869995)

**DAVLIEVA Aliya Salavatovna**

Ufa University of Science and Technology, Russia. Associate Prof., Dept. of Technical Cybernetics. Dipl. of lecturer and researcher (Ufa State Aviation Technical University, 2019). Cand. Tech. Science (Ufa State Aviation Technical University, 2022). Research in mathematical statistics, information systems.  
E-mail: aliyasr21@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7548-2134>  
URL: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=869995](https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=869995)