

УДК 004.053

DOI: [10.26102/2310-6018/2021.34.3.026](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.34.3.026)

## **Анализ влияния качества управления проектом на состояние функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов на основе системного архетипа «предел роста»**

**В.Е. Гвоздев, М.Б. Гузайров, О.Я. Бежаева**

*Уфимский государственный авиационный технический университет  
Уфа, Российская Федерация*

**Резюме.** Научной идеей настоящей работы является формализация известного положения о том, что существует прямая зависимость между качеством управления проектом и потребительскими свойствами получаемого продукта. Аппаратно-программные комплексы (АПК) являются разновидностью сложных систем, что обосновывает возможность научной адаптации известных подходов, применявшихся при исследовании сложных систем иной природы, в область обеспечения функциональной безопасности АПК. Одним из признаков такого «родства» аппаратно-программных комплексов со сложными системами иной природы являются типовые проблемные ситуации, возникающие при реализации проектов. В литературе на декларативном уровне описаны типовые проблемные ситуации, возникающие при управлении сложными системами разной природы, и именуемые системными архетипами. В настоящей работе на примере системного архетипа «пределы роста» предложен формальный подход к анализу соответствия качества управления проектом созданию АПК состоянию объекта управления. В работе предложено новое системное сочетание известных в системном анализе моделей и подходов, что позволило повысить степень формализации исследований, ориентированных на оценку влияния качества управления проектом на функциональную безопасность аппаратно-программных комплексов.

**Ключевые слова:** управление проектом, проблемные ситуации, функциональная безопасность, аппаратно-программный комплекс, системный архетип «пределы роста».

**Для цитирования:** Гвоздев В.Е., Гузайров М.Б., Бежаева О.Я. Анализ влияния качества управления проектом на состояние функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов на основе системного архетипа «предел роста». Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1029> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.34.3.026

## **Analysis of the impact of the project management quality on the state of functional safety of hardware and software systems based on the system archetype “limits to success”**

**V.E. Gvozdev, M.B. Guzairov, O.Y. Bezhaeva**

*Ufa State Aviation Technical University  
Ufa, Russian Federation*

**Abstract:** The scientific idea of this work is the formalization of the known thesis that there is a direct relationship between the quality of project management and consumer properties of the resulting product. Hardware and software complexes are a kind of complex systems, which proves the possibility of scientific adaptation of well-known approaches used in the research of complex systems of a different nature to the field of ensuring the functional safety of the hardware and software systems. One sign of this "relationship" of software and hardware systems with complex systems of different nature are typical problem situations arising in the implementation of projects. In the publications, at the declarative level, typical problem situations that occurs in managing of complex systems of different nature are described, and are called system archetypes. In this paper, on the example of the system archetype “limits of success”, a formal approach to the analysis of the compliance of the quality of

hardware and software complex project management a with the state of the control object is proposed. The paper proposes a new systemic combination of models and approaches known in system analysis, which made it possible to increase the degree of formalization of research focused on assessing the impact of project management quality on the functional safety of hardware and software systems.

**Keywords:** project management, problem situation, functional safety, hardware-software system, system archetype “limits to success”.

**For citation:** Gvozdev V.E., Guzairov M.B., Bezhaeva O.Y. Analysis of the impact of the project management quality on the state of functional safety of hardware and software systems based on the system archetype “growth limit”. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(3). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1029> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.34.3.026

## Введение

Распределенные информационные системы являются системообразующей составляющей эффективного управления сложными распределенными техническими системами в рамках сетцентрического подхода. Это обуславливает выделение в качестве самостоятельной приоритетной проблемы обеспечение функциональной безопасности инфраструктурных компонентов системы информационного обеспечения сетцентрического управления.

Еще в середине прошлого столетия было признано, что АПК являются разновидностью сложных систем. Это обосновывает принципиальную возможность научной адаптации подходов к управлению качеством сложных систем в области обеспечения функциональной безопасности АПК. Существующие в настоящее время подходы, модели, руководства, методическое обеспечение, инструментальные программные средства ориентированы в большей степени на обеспечение функциональной безопасности и надежности локальных информационных систем. К отличительным особенностям систем информационного обеспечения сетцентрического управления относятся, среди прочего, нечеткость и изменчивость целей функционирования, неопределенность и изменчивость условий эксплуатации. Это обуславливает актуальность и научную значимость исследований, направленных на развитие теоретических основ, разработку новых методов, моделей и инструментальных средств обеспечения функциональной безопасности аппаратно-программных компонентов (АПК) открытых систем информационного обеспечения сетцентрического управления сложными распределенными техническими объектами с учетом отмеченных обстоятельств.

Научной идеей настоящей работы является формализация известного положения о том, что существует прямая зависимость между качеством управления проектом и потребительскими свойствами получаемого продукта.

### 1. Системные архетипы как инструмент описания проблемных ситуаций

В литературных источниках, например, [1-4], неоднократно подчеркивалось, что качество организации проектов, связанных с созданием аппаратно-программных комплексов, является ключевым фактором, определяющим функциональную пригодность, одной из составляющих которой является функциональная безопасность. В известной литературе, посвященной проблематике управления проектами, подчеркивается такая особенность проектов, как «уникальность». Меньшее внимание уделяется тому, что «роднит» программные системы со сложными субъектоцентрическими системами иной природы. Одним из признаков такого «родства» являются общие укрупненные схемы типовых проблемных ситуаций,

возникающих при реализации проектов, именуемые «системными архетипами». Системные архетипы являются концентрированной формой представления схожих по содержанию ситуаций, встречающихся при управлении сложными системами разной природы.

Архетип – в переводе с греческого «начальный образ», формальный прообраз, идея. В литературных источниках [5-7] определяется роль архетипов как инструмента структуризации схожих по содержанию проблем, возникающих при управлении сложными системами.

Описание схожих по смыслу проблемных ситуаций в системах разной природы посредством одинаковых архетипов, создает основу для научно обоснованной адаптации известных моделей управления в новые предметные области. Это является реализацией известного системного принципа изоморфизма. В [7] отмечается, что представление состояния типовых ситуаций посредством системных архетипов создает условия применения знаний иных дисциплин – психологии, когнитологии, математики, социологии – для выявления возможных сценариев развития ситуаций, отражаемых архетипами в тех или иных обстоятельствах. Следует подчеркнуть связь между опытом субъектов, участвовавших в реализации проектов создания АПК, и проблемной ситуацией, описываемой посредством системного архетипа. Ориентация на опыт подчеркивает то обстоятельство, что речь идет об управлении сложной субъектоцентрической системой в условиях неопределенности, когда принять рациональное решение на основе подходов, ориентированных на управление в условиях четких целей и ограничений на решения, не представляется возможным.

Полученные на основе структуризации проблемных ситуаций результаты, в свою очередь формирующие основу информационной поддержки управления программными проектами, включая задачи обеспечения функциональной безопасности, создают основу для построения в различной степени формализованных знаковых моделей. Наличие таких моделей позволяет оценить последствия различных управленческих решений, иными словами, создают основу для предупреждения возникновения латентных дефектов разных типов (организационных, проектных, конструкторских и т. д.), влекущих за собою негативные последствия [8].

Представление типовых ситуаций, возникающих на разных стадиях жизненного цикла АПК посредством системных архетипов, может способствовать выработке рациональных стратегий обеспечения функциональной безопасности, соответствующих динамически изменяющемуся сочетанию внешней и внутренней сред проекта.

## **2. Анализ состояния проекта на основе системного архетипа «пределы роста»**

Графическая модель, соответствующая архетипу «пределы роста», представлена на Рисунке 1.



Рисунок 1 – Графическая модель, соответствующая архетип «пределы роста»  
 Figure 1 – Graphical model corresponding to the archetype «Limits of Success»

Содержание этого архетипа применительно к задачам обеспечения функциональной безопасности, сводится к тому, что, с одной стороны, имеет место стремление развивать и совершенствовать потребительские свойства АПК, в том числе за счет предотвращения негативных последствий от проявления латентных дефектов (развивающий цикл, действия, ведущие к улучшению). С другой стороны, в силу того что устранение и предотвращение возникновения дефектов требует использования ресурсов проекта (при том, что не добавляет новых функциональных возможностей АПК), возникает противодействие расходованию ресурсов на решение задач обеспечения функциональной безопасности (стабилизирующий цикл, условия, препятствующие улучшению).

Рассмотрим одну из известных моделей, которая ставится в соответствие системному архетипу «предел роста» как инструмент анализа проблемных ситуаций, связанных с обеспечением функциональной безопасности. В [7] со ссылкой на работу В. И. Арнольда приведена математическая модель (именуемая «логистической»), соответствующая системному архетипу «пределы роста». Модель имеет вид:

$$h_k^{(t+1)} = h_k^{(t)} \gamma_k (1 - h_k^{(t)}) \quad (1)$$

Параметрам этой модели, с точки зрения функциональной безопасности АПК, можно дать следующее толкование:

$h_k^{(t)}$  – интегральный показатель функциональной безопасности на  $k$ -й стадии жизненного цикла АПК.

Под функциональной безопасностью, следуя [3], понимается отсутствие неприемлемого риска, обусловленного несоответствием функциональных возможностей АПК потребностям пользователей.

Согласно [2] «...Под функциональной безопасностью продукции, процессов производства и эксплуатации систем понимается их работоспособное состояние и функционирование в соответствии с требованиями заказчика и документацией, при которых отсутствуют опасные отказы и недопустимый ущерб, связанный с причинением вреда жизни и здоровью граждан, государственному имуществу и окружающей среде, собственности физических и юридических лиц...».

В настоящей работе предполагается, что функциональная безопасность характеризуется долей функциональных компонентов АПК, поведение которых удовлетворяет требованиям пользователей, совпадает с содержанием документации,

причем в случае проявления латентных дефектов они устраняются за такое время, что отказы могут рассматриваться как сбои [2].

Очевидно, что  $0 < h_k^{(t)} < 1$ . По сути, это соответствует тому, что для пользователя представляют интерес лишь системы, содержащие работоспособные функции. Значение  $h_k^{(t)}=0$  означает, что в системе нет ни одной работоспособной функции, т. е. такая система для пользователя интереса не представляет. При росте  $h_k^{(t)}$  функциональные возможности АПК все более соответствуют требованиям пользователей.

$\gamma_k$  – интегральный показатель, характеризующий совокупное влияние факторов, как способствующих, так и препятствующих повышению функциональной безопасности. Считается, что в ходе реализации проекта эта характеристика остается неизменной. Из (2) следует, что характеристика  $\gamma_k$  может принимать лишь положительные значения.

Зависимость (1) создает основу для исследования влияния соотношения показателей состояния АПК  $h_k^{(t)}$  и организации проекта  $\gamma_k$ . Отправной точкой исследования является определение состояния равновесия АПК, т. е. такого, при котором показатель состояния не изменяется во времени. В этом случае  $h_k^{(t+1)} = h_k^{(t)}$  при любом  $t$ . При этом (1) преобразуется к виду (2):

$$\gamma_k^* = \frac{1}{1-h_k^{(t)}} \quad (2)$$

Соотношение (2) соответствует случаю, когда влияние факторов, способствующих и препятствующих повышению функциональной безопасности одинаково.

Выясним как изменяется показатель  $h_k^{(t)}$  в случае, когда  $\gamma_k > \gamma_k^*$ . На Рисунке 2 представлены результаты, соответствующие разным  $\gamma_k$  и различным  $h_k^{(0)}$  в случае, когда  $\gamma_k = 2$ , что соответствует  $h_k^{(0)} = 0.5$ .

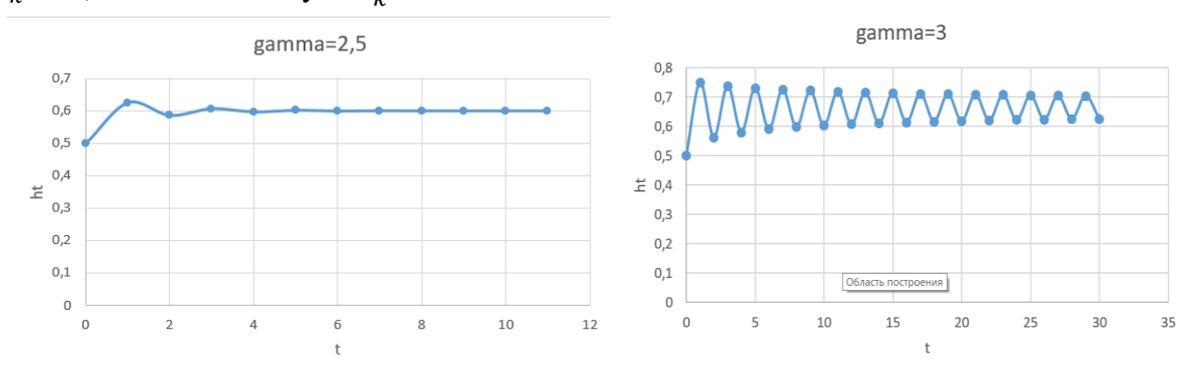


Рисунок 2 – Характер изменения  $h_k^{(t)}$  при  $\gamma_k > \gamma_k^*$  при  $h_k^{(0)} = 0.5$

Figure 2 – The type of change  $h_k^{(t)}$  at  $\gamma_k > \gamma_k^*$  at  $h_k^{(0)} = 0.5$

На Рисунке 3 представлены результаты, демонстрирующие изменение  $h_k^{(t)}$  в случае, когда  $\gamma_k = 2$ , но  $h_k^{(0)} = 0.1$ , чему соответствует  $\gamma_k^*=9/10$

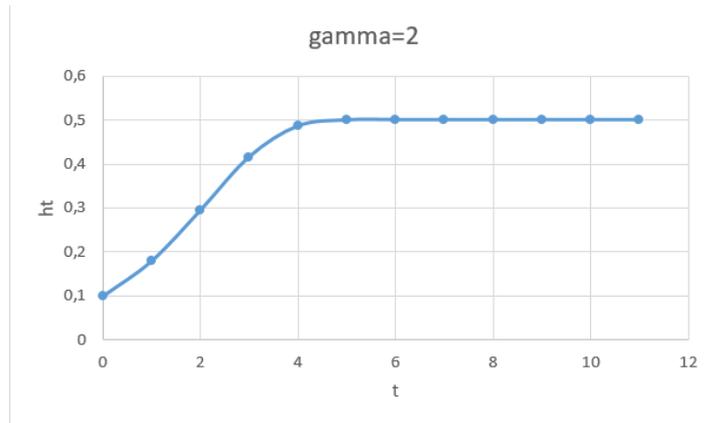


Рисунок 3 – Характер изменения  $h_k^{(t)}$  при  $\gamma_k > \gamma_k^*$  при  $h_k^{(0)} = 0.1$   
 Figure 3 – The type of change  $h_k^{(t)}$  at  $\gamma_k > \gamma_k^*$  at  $h_k^{(0)} = 0.1$

На Рисунке 4 представлены результаты, соответствующие случаю  $\gamma_k < \gamma_k^*$  при том же  $h_k^{(0)} = 0.5$ .

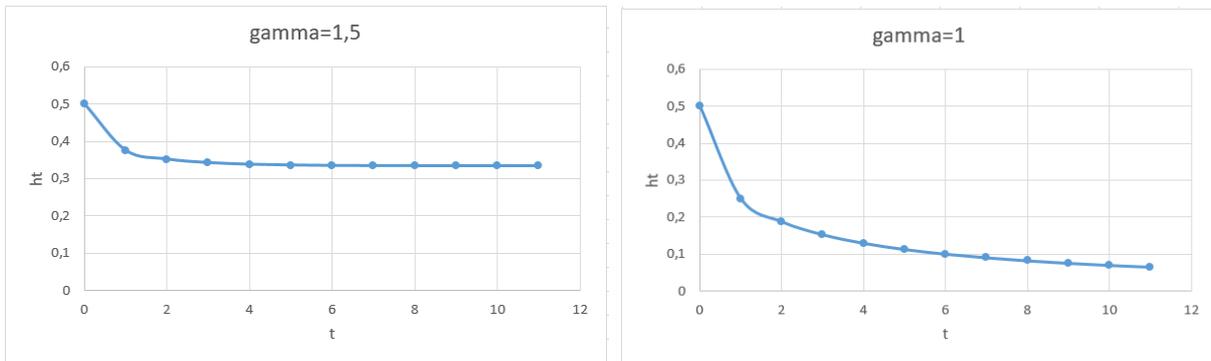


Рисунок 4 – Характер изменения  $h_k^{(t)}$  при  $\gamma_k < \gamma_k^*$ ,  $h_k^{(0)} = 0.5$   
 Figure 4 – The type of change  $h_k^{(t)}$  at  $\gamma_k < \gamma_k^*$  at  $h_k^{(0)} = 0.5$

На Рисунке 5 представлены результаты, демонстрирующие изменение  $h_k^{(t)}$  в случае, когда  $\gamma_k = 2$ , но  $h_k^{(0)} = 0.9$ , чему соответствует  $\gamma_k^* = 10$ .

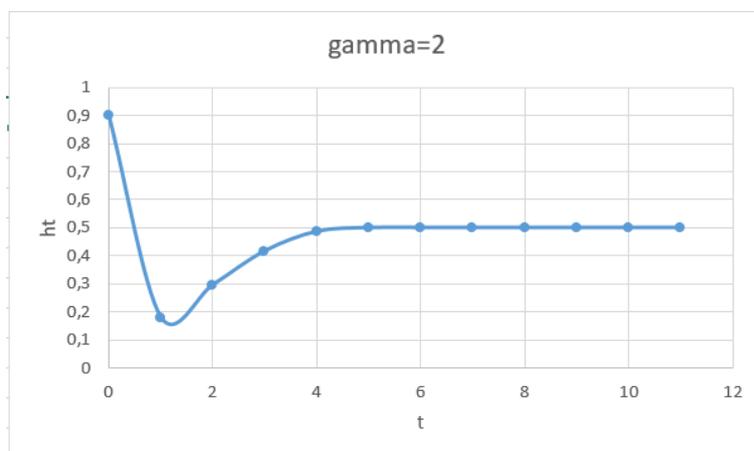


Рисунок 5 – Характер изменения  $h_k^{(t)}$  при  $\gamma_k < \gamma_k^*$  при  $h_k^{(0)} = 0.9$   
 Figure 5 – The type of change  $h_k^{(t)}$  at  $\gamma_k < \gamma_k^*$  at  $h_k^{(0)} = 0.9$

### 3. Модель интегрального показателя

Для построения математической модели интегрального показателя  $\gamma_k$ , представим системный архетип так, как показано на Рисунке 6.

Факторы  $D_k^{(i)}, (i = \overline{1; N})$  соответствуют тем, которые препятствуют устранению дефектов. Факторы  $\Phi_k^{(j)}, (j = \overline{1; M})$  соответствуют тем, которые способствуют устранению дефектов.

Индекс  $k$  является признаком фазы жизненного цикла АПК. Пунктирные линии обозначают взаимное влияние факторов. Стрелками  $R_k, D_k$  обозначены интегральные характеристики, соответствующие факторам, препятствующим и способствующим устранению дефектов. Линия, разделяющая круг на две части, соответствует интегральному показателю  $\gamma_k$ .

Индекс  $k$  подчеркивает то обстоятельство, что состав факторов, содержание их взаимосвязей определяются видами деятельности, реализуемыми на соответствующей фазе жизненного цикла. Считается, что состав и значения факторов  $\{D_k\}_1^N, \{\Phi_k\}_1^M$  в течение реализации проекта остаются неизменными.

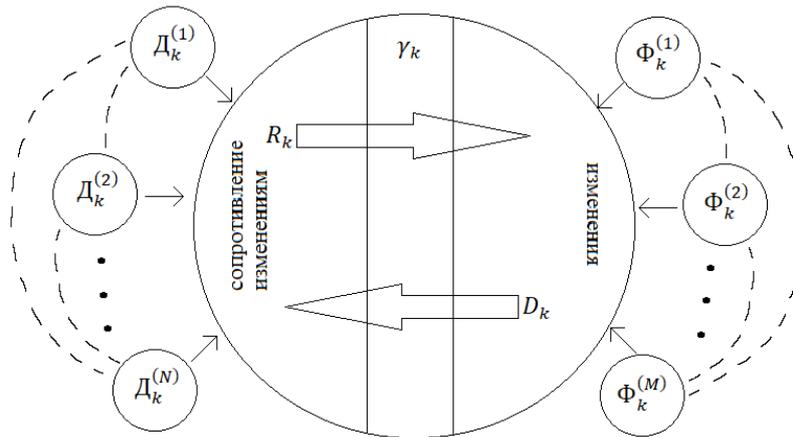


Рисунок 6 – Системный архетип «Пределы роста»  
 Figure 6 – System archetype «Limits of Success»

Формирование интегрального показателя  $\gamma_k$  рассмотрим в рамках ресурсного подхода. В рамках этой точки зрения, во-первых, факторы  $\{D_k\}_1^N$  можно рассматривать как причины расходования ресурсов на решение задач, связанных с проявлением дефектов. Факторы  $\{\Phi_k\}_1^M$  можно рассматривать как те, которые стимулируют развитие функциональных возможностей АПК соответственно потребностям и желаниям пользователей. В рамках ресурсного подхода в качестве универсальной характеристики ресурсов может выступать время. Это создает основу формирования количественных характеристик факторов.

Заметим, что модель, представленная на Рисунке 6, по виду схожа с системными моделями, описанными в [9]. Отличие состоит в учете связей между факторами  $\{D_k\}_1^N$  и  $\{\Phi_k\}_1^M$ .

Системной модели, представленной на Рисунке 6, можно поставить в соответствие структурную модель, известную как «Дом качества» (*House of Quality – HoQ*) (Рисунок 7).

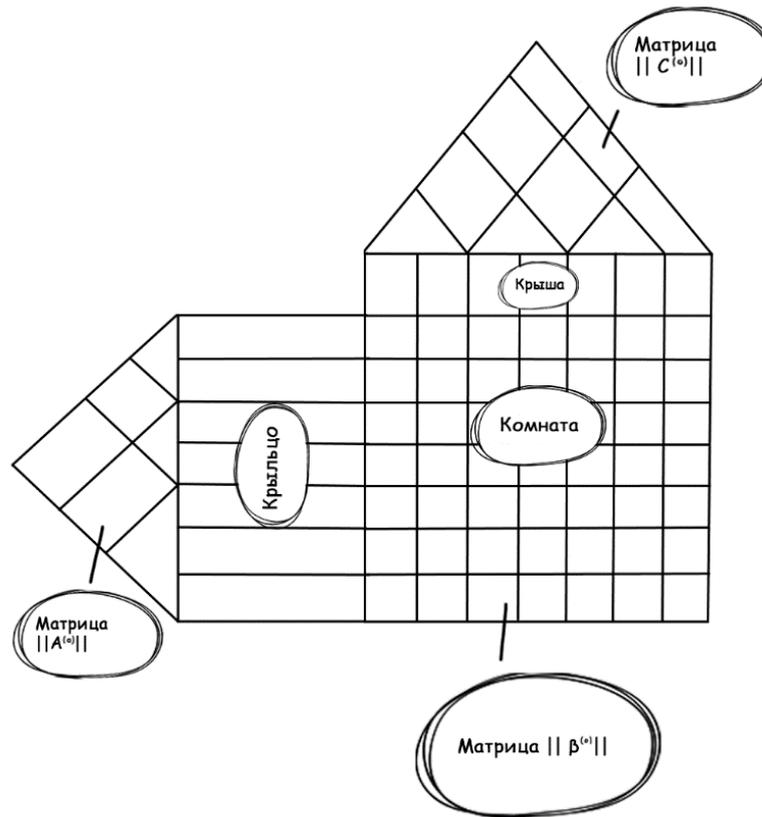


Рисунок 7 – Структурная модель «Дом качества»

Figure 7 – The structure model «House of Quality»

«Крыльцо» представляет собой вектор, компонентами которого являются факторы  $\{D_k\}_1^N$  либо  $\{\Phi_k\}_1^M$ . Векторам  $\|D_k\|_1^N$ ,  $\|\Phi_k\|_1^M$  ставятся в соответствие матрицы  $\|A^{(D)}\|$  либо  $\|A^{(\Phi)}\|$ , характеризующие взаимное влияние факторов.

«Крыше» соответствуют компоненты вектора  $\|r_k\|_1^L$  (соответствующего факторам  $\{D_k\}_1^N$ ), либо компоненты вектора  $\|d_k\|_1^Q$  (соответствующего факторам  $\{\Phi_k\}_1^M$ ). Векторы  $\|r_k\|_1^L$  и  $\|d_k\|_1^Q$  служат основой вычисления интегральных характеристик  $R_k, D_k$  соответственно.

Векторам  $\|r_k\|_1^L$  либо  $\|d_k\|_1^Q$  ставятся в соответствие квадратные матрицы  $\|C_k^{(r)}\|$  и  $\|C_k^{(d)}\|$  соответственно, характеризующие взаимное влияние компонент векторов.

Для преобразования квадратных матриц  $\|A_k^{(r)}\|$ ,  $\|C_k^{(d)}\|$  к виду треугольных воспользуемся обозначениями, показанными на Рисунке 8. При этом диагональные элементы матриц равны нулю, что означает, что элементы векторов не могут влиять сами на себя.

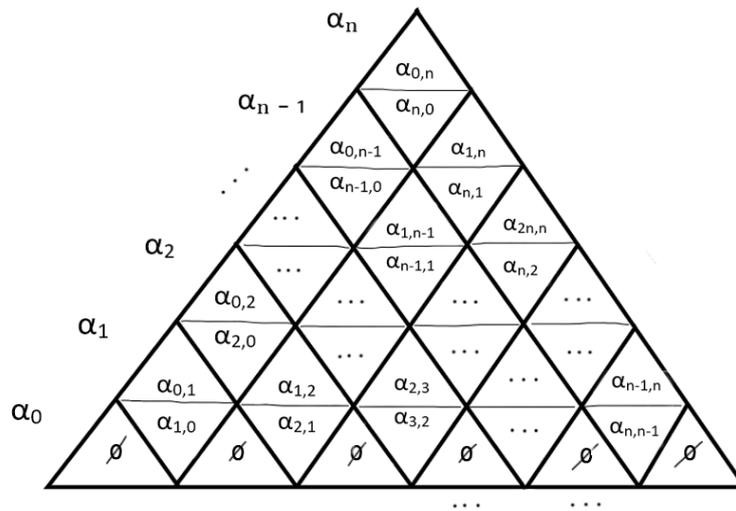


Рисунок 8 – Представление квадратных матриц в виде треугольных

Figure 8 - Representation of square matrices in the form of triangular

«Комната» характеризует влияние компонентов векторов «крыльца» на компоненты векторов «крыши». «Комнате» ставятся в соответствие прямоугольные матрицы размером либо  $N \times L$  ( $\|B_k^{(D-r)}\|$  в случае, когда «крыльцу» соответствует  $\|D_k\|_1^N$ , а «крыше» –  $\|r_k\|_1^L$ ), либо  $M \times Q$  ( $\|B_k^{(\Phi-d)}\|$  в случае, когда «крыльцу» соответствует  $\|\Phi_k\|_1^M$ , а «крыше» –  $\|d_k\|_1^Q$ ).

Таким образом,  $HoQ$ , соответствующие факторам  $\{D_k\}_1^N$  и  $\{\Phi_k\}_1^M$ , могут быть представлены в виде трех матриц  $\|A^{(\cdot)}\|$ ,  $\|B^{(\cdot-d)}\|$ ,  $\|C^{(\cdot)}\|$  и векторов факторов:

$$\begin{cases} HoQ^{(D)}: (\|D_k\|_1^N, \|A^{(D)}\|, \|B^{(D-r)}\|, \|C^{(r)}\|) \\ HoQ^{(\Phi)}: (\|\Phi_k\|_1^M, \|A^{(\Phi)}\|, \|B^{(\Phi-d)}\|, \|C^{(\Phi)}\|) \end{cases} \quad (3)$$

Примерами факторов  $\{D_k\}_1^N$  могут служить:

- отсутствие устава проекта [10], пренебрежение требование нормативных документов;
- негативное изменение ролей отдельных сотрудников в команде проекта;
- необходимость внесения изменений в существующие бизнес-процессы реализации работ проекта, что повлечет за собой изменения Work Breakdown Structure (WBS) стадии проекта [10];
- необходимость освоения новых технологий и т. д.

Примерами компонент вектора  $\|r_k\|_1^L$ , соответствующего интегральной характеристике  $R_k$ , могут служить:

- низкое качество проектной документации;
- нарушение требований к качеству и срокам представления промежуточных и финальных результатов по задачам проекта;
- нарушение правил использования инструментальных средств;
- низкое качество коммуникаций между субъектами, причастными к реализации проекта.

Результатом воздействия факторов  $\{D_k\}_1^N$  является необходимость выполнения сверхплановых работ, соответствующих каждому из компонентов вектора  $\|r_k\|_1^L$ , интегральной характеристикой которых является дополнительно затраченное время.

Примерами факторов  $\{\Phi_k\}_1^M$  могут служить:

- качественная организационная структура проекта, основанная на уставе проекта;
- распределение зон ответственности исполнителей с учетом их ролей, компетентности и исполнительности;
- создание руководителем внутренней среды проекта, способствующей гармонизации личных интересов сотрудников с целями проекта [11];
- накопление, систематизация, критический анализ опыта реализации задач проекта;
- выявление коренных причин совершаемых ошибок и создание условий, препятствующих их повторению.

Примерами компонентов вектора  $\|d_k\|_1^Q$ , соответствующего интегральной характеристике  $D_k$ , могут служить:

- высокое качество промежуточных и финальных результатов по каждой из работ, входящей в WBS, что не требует затрат времени на исправление и доработку результатов;
- высокое качество документации, что сокращает затраты времени на привлечение к выполнению проекта новых сотрудников;
- карьерный рост и улучшение материального положения сотрудников, следствием чего является повышение результативности и эффективности их деятельности;
- повышение управляемости проекта, что выражается в стремлении сотрудников в работе на конечный результат, поиск оригинальных способов урегулирования проблемных ситуаций;
- повышение репутации организации, результатом чего является увеличение объемов договорных работ.

Результатами воздействия факторов  $\{\Phi_k\}_1^M$  является постоянный поиск сотрудниками внутренних резервов, результатом использования которых является сокращение времени работ (без потери качества результатов), соответствующих каждому из компонентов вектора  $\{d_k\}_1^Q$ .

#### 4. Формирование компонентов «дома качества» на основе архивных данных

Методическую основу формирования матриц в составе «дома качества» создает формальная процедура оценивания непараметрических функциональных зависимостей на основе решения обратной задачи оценивания законов распределения случайных величин как функции случайного аргумента [12] с последующей аппроксимацией непараметрической модели линейной зависимостью.

В силу того, что элементы множества  $\{D_k\}_1^N, \{\Phi_k\}_1^M$ , на основе которых формируются интегральные характеристики  $\{r_k\}_1^L, \{d_k\}_1^Q$  интегральных показателей  $R_k$  и  $D_k$ , могут быть представлены для оценки одного вида – времени, для формирования количественных оценок факторов  $\{D_k\}_1^N, \{\Phi_k\}_1^M$  может использоваться подход, основанный на совокупном использовании лингвистических шкал и функций принадлежности, описанный в [13]. Модифицированный вариант этого подхода, позволяющий формализовать выбор вида функций принадлежности, описан в [14].

Представление факторов  $\{D_k\}_1^N, \{\Phi_k\}_1^M$ , а также компонентов векторов  $\|r_k\|_1^L, \|d_k\|_1^Q$ , в единицах одной размерности позволяет предложить следующую процедуру формирования компонентов прямоугольных матриц, соответствующих «комнате» дома качества.

Основу расчета элементов матрицы «комната» составляет рассмотрение времени как универсальной характеристики факторов  $\{D_k\}_1^N, \{\Phi_k\}_1^M$ , а также компонентов интегральных характеристик  $R_k$  и  $D_k: \{r_k\}_1^L, \{d_k\}_1^Q$ .

Схема расчета имеет следующий вид:

1) Исторические данные о факторах  $\{D_k^{(i)}, i \in \overline{[1, N]}; \{\Phi_k^{(j)}, j \in \overline{[1, M]}\}$ , а также  $\{r_k^{(l)}, l \in \overline{[1, L]}; \{d_k^{(q)}, q \in \overline{[1, Q]}\}$ , которые могут быть представлены в виде экспертных оценок различного объема, либо измерительных данных, полученных в разных условиях, преобразуются к виду однородных статистических данных. Основу таких преобразований могут составить технологии, предложенные в [13] (усовершенствованный вариант описан в [15], также формальная процедура обеспечения сопоставимости данных, основанная на решении обратной задачи оценивания закона распределения функции случайного аргумента, описана [12, 16], (прямая задача описана в [17]).

2) На основе полученных выборок случайных величин строятся оценки законов распределения непрерывных случайных величин:

$$\begin{aligned} A^{(D)}: \{D_k^{(i)}\}_1^{N_i} &\rightarrow \hat{F}_{(k)}^{(D^{(i)})}(t) \\ A^{(r)}: \{r_k^{(l)}\}_1^{L_l} &\rightarrow \hat{F}_{(k)}^{(r^{(l)})}(t) \\ A^{(\Phi)}: \{\Phi_k^{(j)}\}_1^{M_j} &\rightarrow \hat{F}_{(k)}^{(\Phi^{(j)})}(t) \\ A^{(d)}: \{d_k^{(q)}\}_1^{Q_q} &\rightarrow \hat{F}_{(k)}^{(d^{(q)})}(t) \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь  $A^{(\cdot)}$  – операторы, реализующие формализованную процедуру построения оценок законов распределения непрерывных случайных величин (предназначенную в том числе для обработки выборок малого объема). Описание упомянутой процедуры приводится в [12].

3) На основе полученных оценок законов распределения непрерывной случайной величины (в качестве которой выступает время), в результате решения обратной задачи оценивания закона распределения функции случайного аргумента [12, 16] строятся непараметрические оценки строгих функциональных зависимостей:

$$B: \{\psi_1(\alpha), \psi_2(\beta)\} \rightarrow \beta = \varphi(\alpha), \quad (5)$$

Здесь  $\psi_1(\alpha), \psi_2(\beta)$  – пары оценок интегральных функций распределения, перечисленных в (Ф-1).

$\beta = \varphi(\alpha)$  – строгая параметрическая функциональная зависимость между параметрами  $\alpha$  и  $\beta$ . В нашем случае в качестве параметра  $\alpha$  выступает  $D_k^{(i)}, i \in \overline{[1, N]}$ ,  $\beta$  – компоненты  $r_k^{(l)}, l \in \overline{[1, L]}$ ; либо  $\Phi_k^{(j)}, j \in \overline{[1, M]}$ , и  $d_k^{(q)}, q \in \overline{[1, Q]}$ .

Каждая из функциональных зависимостей:

$$\begin{aligned} r_k^{(l)} &= \varphi_{D,l}(D_k^{(i)}) \\ d_k^{(q)} &= \varphi_{\Phi,q}(\Phi_k^{(j)}) \end{aligned} \quad (6)$$

Аппроксимируется линейной функциональной зависимостью:

$$\begin{aligned} \varphi_{D,l}(D_k^{(i)}) &\rightarrow \hat{r}_k^{(l)} = b_k^{(D_k^{(i)}), (l)} * D_k^{(i)} \\ \varphi_{\Phi,q}(\Phi_k^{(j)}) &\rightarrow \hat{d}_k^{(q)} = b_k^{(\Phi_k^{(j)}), (q)} * \Phi_k^{(j)} \end{aligned} \quad (7)$$

Параметры линейных зависимостей  $b_k^{(D_k^{(i)}), (l)}$  характеризуют угол наклона и знак влияния факторов  $D_k^{(i)}, \Phi_k^{(j)}$  на компоненты векторов  $r_k^{(l)}, d_k^{(q)}$  соответственно (обоснование выбора критерия аппроксимации выходит за рамки настоящей статьи).

Аналогичные преобразования могут быть выполнены к матрицам  $\|A^{(\cdot)}\|$  и  $\|C^{(\cdot)}\|$ , например:

Для «крыльца»  $NoQ$ , соответствующего факторам  $\{D_k\}_1^N: \|D_k\|_1^N$

$$F_k^{(D_k^{(i_1)})}(t), F_k^{(D_k^{(i_2)})}(t) \rightarrow D_k^{(i_2)} = b_k^{(D_k^{(i_1)}), (D_k^{(i_2)})} * D_k^{(i_1)}, \quad (8)$$

$$i_1, i_2 \in [1, N]; i_1 \neq i_2.$$

Для «крыши» соответственно:

$$F_k^{(l_1)}(t), F_k^{(l_2)}(t) \rightarrow \hat{r}_k^{(l_2)} = b_k^{(l_1), (l_2)} * \hat{r}_k^{(l_1)}, \quad (9)$$

$$l_1, l_2 \in [1, L]; l_1 \neq l_2.$$

Коэффициенты  $b_k^{(\cdot), (\cdot)}$  служат элементами матриц  $\|A_k^{(\cdot)}\|, \|B_k^{(\cdot \rightarrow \cdot)}\|, \|C_k^{(\cdot)}\|$ .

Представление *HoQ* в виде (3) позволяет оценить, с точки зрения функциональной безопасности, влияние изменения отдельных компонентов векторов  $\|D_k\|_1^N$  и  $\|\Phi_k\|_1^M$  на компоненты векторов «крыши». При этом постулируется положение о том, что, во-первых, одномоментно может изменяться только один из компонентов векторов, соответствующих факторам  $\{D_k\}_1^N$  либо  $\{\Phi_k\}_1^M$ . Во-вторых, считается, что обусловленные этим изменения компонентов векторов  $\|r_k\|_1^L$  и  $\|d_k\|_1^Q$  происходят мгновенно.

Например, алгоритм оценки влияния  $i$ -го фактора  $D_k^{(i)}$  на компоненты вектора «крыши»  $\|r_k\|_1^L$  имеет вид:

- 1) Задание начальных значений компонентов векторов  $\|D_k\|_1^N$
- 2) Внесение изменений в значение  $i$ -го компонента  $D_k^{(i)} \rightarrow *D_k^{(i)}$

3) На основе значений элементов квадратной матрицы  $\|A_k^{(D)}\|$ , представленной в форме, показанной на Рисунке 8, вычисляются новые значения компонентов вектора  $D_k^{(\omega)} \rightarrow *D_k^{(\omega)}, \omega = \overline{1; N}; \omega \neq i$

- 4) На основе  $\|D_k\|_1^N$  и матрицы  $\|B_k^{(D \rightarrow r)}\|$  вычисляются значения вектора  $\|r_k^{*(l)}\|_1^L$ .

5) На основе  $\|r_k^{*(l)}\|_1^L$  и квадратной матрицы  $\|C_k^{(r)}\|$ , представленной в форме, показанной на Рисунке 8, вычисляются значения компонентов вектора  $\|r_k^{(l)}\|_1^L$ :

$$\|r_k^{*(l)}\|_1^L \rightarrow \|r_k^{(l)}\|_1^L \quad (10)$$

Аналогичные преобразования выполняются для «крыши» дома качества  $\|d_k\|_1^Q$ , связанные с факторами  $\{\Phi_k\}_1^M$ . Полученные значения компонентов векторов  $\|r_k^{*(l)}\|_1^L$  и  $\|d_k^{(q)}\|_1^Q$  служат основанием для формирования интегральных показателей, характеризующих улучшения характеристики функциональной безопасности  $R_k$  и препятствующих этому  $D_k$ . Различные варианты сверток (т.е. формирования интегральных показателей)  $R_k$  и  $D_k$ , рассматриваются, например, в [18].

Интегральный показатель функциональной безопасности, формируемый в результате действия как развивающих, так и препятствующих развитию факторов, целесообразно представить в

$$\gamma_k = \exp R_k - D_k \quad (11)$$

Выбор такой формы интегрального показателя гарантирует его не отрицательность при любых  $R_k, D_k$ . Кроме того, обеспечивается достаточно простая интерпретация показателя. Если  $R_k$  превышает  $D_k$ , что соответствует тому, что сопротивление развитию превышает стремление к развитию,  $\gamma_k$  становится меньше единицы. И наоборот, если  $R_k$  оказывается меньше  $D_k$ , что соответствует тому, что стремление к развитию превышает сопротивление развитию,  $\gamma_k$  становится больше единицы. Иными словами, значение  $\gamma_k = 1$  является значением, которому соответствует неизменное состояние функциональной безопасности АПК.

### Заключение

Известно, что аппаратно-программные комплексы являются разновидностью сложных систем. В литературе на декларативном уровне описаны типовые проблемные ситуации, возникающие при управлении сложными системами разной природы, и именуемые системными архетипами. То, что АПК являются разновидностью сложных систем, обосновывает возможность научной адаптации известных подходов, применявшихся при исследовании сложных систем иной природы, в область обеспечения функциональной безопасности АПК.

В многочисленных литературных источниках подчеркивается неразрывная связь качества управления проектом с получаемыми результатами. Это нашло отражение во многих стандартах и руководствах по управлению проектами, связанными с реализацией аппаратно-программных комплексов. В настоящей работе на примере системного архетипа «пределы роста» предложен формальный подход к анализу соответствия качества управления проектом созданию АПК состоянию объекта управления. Выполнены оценки изменения состояния АПК при различных соотношениях состояния объекта управления и интегрального показателя, характеризующего качество управления проектом посредством оценки совокупного влияния развивающихся и противодействующих развитию факторов. Основу оценивания составила известная модель в литературе, именуемая «логистической». Предложен формальный подход к формированию интегрального показателя, характеризующего совокупное влияние развивающихся и противодействующих развитию факторов, основу которого составляет известная модель «Дом качества». В рамках известного в системном анализе ресурсного подхода предложен способ представления в едином виде (законе распределения временных затрат на реализацию / парирование действия) различных факторов, влияющих на состояние объекта управления.

В целом, в работе предложено новое системное сочетание известных в системном анализе моделей и подходов, что позволило повысить степень формализации исследований, ориентированных на оценку влияния качества управления проектом на функциональную безопасность аппаратно-программных комплексов.

### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00177 А «Методологические, теоретические и модельные основы управления функциональной безопасностью аппаратно-программных комплексов в составе распределенных сложных технических систем».*

### Acknowledgments

*The research is supported by the grant № 19-08-00177 “Methodical, theoretical and model bases of functional safety management of hardware and software systems as part of distributed complex technical systems” from the Russian Foundation for Basic Research.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Липаев В.В. *Функциональная безопасность программных средств*. М: Синтег; 2004. 348с.
2. Липаев В.В. *Надежность и функциональная безопасность комплексов программ реального времени*. М: Институт системного программирования РАН; 2013. 207 с.

3. ГОСТ Р МЭК 61508-3 – 2012. *Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Требования к программному обеспечению.*
4. ESA PSS 05-11. *Guide to software quality assurance.*
5. Сенге П.М. *Пятая дисциплина.* М.: Олимп-Бизнес; 2003. 408 с.
6. Meadows D. H. *Thinking in Systems: A Primer.* Chelsea Green Publishing; 2008. 240 p.
7. Райков А.Н. *Конвергентное управление и поддержка решений.* М.: Издательство ИКАР; 2009. 244 с.
8. Reason J., Hollnagel E., Paries J. Revisiting the “Swiss Cheese” Model of Accidents, *European Organization for the Safety of Air Navigation.* 2006;13/06:25.
9. Аврамчук Е.Ф., Вавилов А.А. *Технология системного моделирования.* М.: Машиностроение; 1988. 520с.
10. Милошевич Д.З. *Набор инструментов для управления проектами.* М.: ДМК-Пресс; 2008. 736 с.
11. DeMarco T. *The human factor: successful projects and teams.* Publishing house: Symbol-Plus; 2014. 288 p.
12. Гвоздев В.Е., Гузаиров М.Б., Ильясов Б.Г., Колоденкова А.Е. *Статистическое исследование территориальных систем.* М.: Машиностроение; 2008. 187 с.
13. Pelaez С.Е, Bowles J.В. Using fuzzy cognitive maps as a system model for failure modes and effects analysis. *Information Sciences.* 1996;88(1):177-199.
14. Gvozdev V.E., Bezhaeva O.Y., Blinova D.V., Akhmetova D.R. The Model of the Innovative Project as the Multivariable Control Object. *Advances in Intelligent Systems Research.* 2020;174:278-282.
15. Гвоздев В.Е., Бежаева О.Я., Ахметова Д.Р., Сафинова Г.Р. Формирование параметров модели управления проектом на основе линеаризации функциональных зависимостей. *Онтология проектирования.* 2020;10(4):527-539.
16. Гвоздев В. Е., Мунасыпов Р. А., Бежаева О. Я., Ахметова Д. Р. Построение модели многосвязного объекта на основе совместного использования данных и экспертных оценок. *Онтология проектирования.* 2019;9(3):361-368.
17. Пугачев В.С. *Теория вероятностей и математическая статистика.* М.: Физматлит; 2002. 496 с.
18. Гаскаров Д.В., Голинкевич Т.А., Мозгалеvский А.В. *Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры.* М.: Советское радио; 1974. 223 с.

## REFERENCES

1. Lipaev V.V. *Functional safety of software.* М.: Sinteg; 2004. 348 p. (In Russ)
2. Lipaev V.V. *Reliability and functional safety of real-time software complexes.* М.: Institute for System Programming RAS; 2013. 207 p. (In Russ)
3. GOST R MEK 61508-3—2012. *Functional safety of electrical, electronic, programmable electronic safety-related systems. Software requirements.*
4. ESA PSS 05-11. *Guide to software quality assurance.*
5. Senge P.M. *Fifth discipline.* М.: Olimp-Business; 2003. 408 p. (In Russ)
6. Meadows D.H. *Thinking in Systems: A Primer.* Chelsea Green Publishing; 2008. 240 p.
7. Raikov A.N. *Convergent management and decision support.* М.: Publishing house IKAR; 2009. 244 p. (In Russ)
8. Reason J., Hollnagel E., Paries J. Revisiting the “Swiss Cheese” Model of Accidents, *European Organization for the Safety of Air Navigation.* 2006;13/06:25.
9. Avramchuk E.F., Vavilov A.A. *Technology of system modeling.* М.: Mashinostroenie; 1988. 520p. (In Russ)

10. Milosevic D.Z. *A set of tools for project management*. M: DMK-Press; 2008. 736 p. (In Russ)
11. DeMarco T. *The human factor: successful projects and teams*. Publishing house: Symbol-Plus; 2014. 288 p.
12. Gvozdev V.E., Guzairov M.B., Ilyasov B.G., Kolodenkova A.E. *Statistical research of territorial systems*. M: Mashinostroenie; 2008. 187 p. (In Russ)
13. Pelaez C.E, Bowles J.B. Using fuzzy cognitive maps as a system model for failure modes and effects analysis. *Information Sciences*. 1996;88(1):177-199.
14. Gvozdev V.E., Bezhaeva O.Y., Blinova D.V., Akhmetova D.R. The Model of the Innovative Project as the Multivariable Control Object. *Advances in Intelligent Systems Research*. 2020;174:278-282. (In Russ)
15. Gvozdev V.E., Bezhaeva O.Y., Akhmetova D.R., Safinova G.R. Formation of project management model parameters based on linearization of functional dependencies. *Design Ontology*. 2020;10(4):527-539. (In Russ)
16. Gvozdev V.E., Munasipov R.A., Bezhaeva O.Y., Akhmetova D. Construction of a model of a multivariable object based on sharing of measured data and expert estimates. *Design Ontology*, 2019;9(3):361-368. (In Russ)
17. Pugachev V.S. *Probability Theory and Mathematical Statistics*. M.: Fizmallit; 2002. 496 p. (In Russ)
18. Gaskarov D.V., Golinkevich T.A., Mozgalevsky A.V. *Forecasting the technical condition and reliability of electronic equipment*. M.: Sovetskoe radio; 1974. 223 p. (In Russ)

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Гвоздев Владимир Ефимович**, доктор технических наук, профессор Уфимского государственного авиационного технического университета, Уфа, Российская Федерация.  
email: [wega55@mail.ru](mailto:wega55@mail.ru)

**Vladimir Efimovich Gvozdev**, Doctor of Technical Science, Professor of Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation.

**Гузаиров Мурат Бакеевич**, доктор технических наук, профессор Уфимского государственного авиационного технического университета, Уфа, Российская Федерация.  
email: [mbguzairov@gmail.com](mailto:mbguzairov@gmail.com)

**Murat Bakeevich Guzairov**, Doctor of Technical Science, Professor of Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation.

**Бежаева Оксана Яковлевна**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета, Уфа, Российская Федерация.  
email: [obezhaeva@gmail.com](mailto:obezhaeva@gmail.com)  
ORCID: [0000-0002-3373-7266](https://orcid.org/0000-0002-3373-7266)

**Oksana Yakovlevna Bezhaeva**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Technical Cybernetics, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 08.02.2021; одобрена после рецензирования 20.09.2021; принята к публикации 23.09.2021.

The article was submitted 08.02.2021; approved after reviewing 20.09.2021; accepted for publication 23.09.2021.