

УДК 004.053

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.37.2.025](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.37.2.025)

## Поддержка управления функциональной безопасностью аппаратно-программных комплексов на основе системных архетипов

В.Е. Гвоздев, В.И. Васильев, М.Б. Гузаиров, О.Я. Бежаева✉

*Уфимский государственный авиационный технический университет,  
Уфа, Российская Федерация  
obezhaeva@gmail.com✉*

**Резюме.** В настоящей работе описывается подход, ориентированный на построение математических моделей, с разных сторон описывающих типовые ситуации, возникающие при реализации программных проектов. Основу подхода составляет рассмотрение проектов создания аппаратно-программных комплексов как разновидности субъектоцентрических систем. Это создает основу для адаптации подходов, методов и моделей, ориентированных на управление сложными субъектоцентрическими системами различной природы, в область обеспечения функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов. В литературе на декларативном уровне описаны типовые проблемные ситуации, возникающие при управлении сложными системами разной природы, и именуемые системными архетипами. С практической точки зрения ограниченностью системных архетипов является то, что они описывают ситуации лишь на качественном уровне. В них не представлены структура системы управления и параметрические зависимости прямых и перекрестных связей, имеющих место в системе управления. В настоящей работе рассмотрено несколько примеров построения структурных моделей, соответствующих разным системным архетипам. Для генерации и анализа альтернатив урегулирования ситуаций предложены методы преобразования архетипов к виду структурных и математических моделей. Областью применимости предлагаемого подхода являются средние, т. е. массово реализуемые, проекты.

**Ключевые слова:** управление проектом, проблемные ситуации, функциональная безопасность, аппаратно-программный комплекс, системный архетип, контурное описание.

**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».

**Для цитирования:** Гвоздев В.Е., Васильев В.И., Гузаиров М.Б., Бежаева О.Я. Поддержка управления функциональной безопасностью аппаратно-программных комплексов на основе системных архетипов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2022;10(2). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1181> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.025

## Support of functional safety management of software and hardware complexes based on system archetypes

V.E. Gvozdev, V.I. Vasilyev, M.B. Guzairov, O.Y. Bezhaeva✉

*Ufa State Aviation Technical University,  
Ufa, Russian Federation  
obezhaeva@gmail.com✉*

**Abstract.** This paper describes an approach focused on the construction of mathematical models that illustrate from different angles typical situations arising in the implementation of software projects. The

basis of the approach is the analysis of projects for creating hardware and software complexes as a kind of subject-centric systems. This lays the groundwork for scientific adaptation of well-known approaches, used for researching complex systems of a different nature, to the field of functional safety of hardware and software complexes. In the publications, typical problem situations that occur in managing complex systems of different nature are regarded at the declarative level and called system archetypes. From a practical point of view, the limitation of system archetypes is that they represent situations only at a qualitative level. They do not depict the structure of the control system and the parametric dependencies of direct and cross-links that take place in the control system. In this paper, several examples of constructing structural models corresponding to different system archetypes are considered. For the generation and analysis of alternatives for resolving situations, methods for converting archetypes to the form of structural and mathematical models are proposed. The range of applicability of the proposed approach includes projects of medium scale, i.e. mass-produced projects.

**Keywords:** project management, problem situation, functional safety, hardware and software complex, system archetype.

**Acknowledgments:** The reported study was funded by RFBR, project number [19-08-00177](#) “Methodical, theoretical and model bases of functional safety management of hardware and software complexes as a part of distributed complex technical systems.

**For citation:** Gvozdev V.E., Vasilyev V.I., Guzairov M.B., Bezhaeva O.Y. Support of functional safety management of software and hardware complexes based on system archetypes. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(2). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1181> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.025 (In Russ.).

## Введение

В литературных источниках неоднократно подчеркивалась роль дисциплины при управлении проектами создания аппаратно-программных комплексов (АПК) в качестве основы их безопасного функционирования как при отказах компонентов, так и в условиях агрессивного воздействия окружающей среды, например, [1-3]. Сложившаяся к настоящему времени практика реализации проектов основное внимание в области QA (Quality Assurance) уделяет вопросам дисциплины реализации проектов:

- обоснованию целей проекта;
- разработке устава проекта;
- обоснованному выбору модели жизненного цикла АПК;
- планированию проекта;
- обеспечению посредством испытаний различного вида контроля выполнения плана проекта и контроля качества логически завершенных этапов жизненного цикла продуктов проекта;
- обоснованию формирования требований распределения (на основе требований к потребительским свойствам конечного продукта проекта, требований к промежуточным результатам и т. д.).

Подробно эти и другие вопросы, связанные с управлением проектами, рассматриваются, например, в [1, 4, 5]. Вместе с тем, в литературе по управлению программными проектами большое внимание уделяется вопросам, связанным с урегулированием ситуаций, обусловленных субъектоцентрической природой проектов. Неизбежность возникновения ситуаций, требующих урегулирования, по нашему мнению, находит выражение в известной модели «конус неопределенности проекта». Неопределенность сред реализации проектов является одним из факторов совершения правообладателями организационных ошибок, имеющих наиболее тяжелые последствия с точки зрения безопасности субъектоцентрических систем [6], к числу которых относятся проекты создания АПК.

Описанные в литературе рекомендации по урегулированию ситуаций носят качественный характер [7]; недостаточное развитие получили структурные и математические модели, посредством которых можно обеспечить информационную поддержку выбора обоснованного подхода к урегулированию ситуаций с учетом их природы. Основным направлением повышения качества АПК является развитие и совершенствование технологий проектирования. Гораздо меньшее внимание уделяется теоретическим основам урегулирования ситуаций, неизбежно возникающих при управлении проектами.

Цель исследований – адаптация существующих подходов к урегулированию проблемных ситуаций на основе системных архетипов, возникающих при управлении сложными системами, в область управления функциональной безопасностью АПК.

Задачи исследования:

1) Оценка совокупности взглядов (архитектурный подход [11]) на структуру системного архетипа.

2) Построение математических моделей, с разных сторон описывающих типовые проблемные ситуации, возникающие при управлении функциональной безопасностью АПК.

Концептуальную основу исследований составляет системное сочетание архитектурного подхода [11] и известных формальных моделей системных архетипов [7, 23].

### **Холонический подход к обеспечению функциональной безопасности**

Основаниями выбора холонического подхода в качестве основного при обеспечении функциональной безопасности являются следующие:

1) В силу того, что АПК являются артефактами, можно утверждать, что системообразующим фактором возникновения дефектов являются ошибки, совершаемые людьми.

2) Дефекты и АПК представляют неделимое целое: разные дефекты существуют в АПК на разных стадиях жизненного цикла, невозможно создание идеальных АПК без дефектов, что обусловлено неопределенностью как неотъемлемого свойства любого проекта

3) В настоящее время господствует редукционистский подход к обеспечению функциональной безопасности в рамках следующих точек зрения: развитие формальных моделей для создания АПК (возникновение дефектов), испытания (исследование свойств АПК с точки зрения критичности влияния дефектов на свойства АПК, важные для потребителя) и предупреждения появления и парирования негативных последствий от проявившихся дефектов (предотвращение потерь потребителей обусловленных проявлениями латентных дефектов). В рамках каждой из точек зрения формируются теория, модели и инструментальные средства предотвращения возникновения дефектов, установления факта наличия дефектов, локализации и устранения дефектов. При этом недостаточно учитывается то, что как источники дефектов (ошибки, совершаемые людьми), так и подходы к решению задач обеспечения функциональной безопасности определяются организацией системы управления проектом.

4) Реализация любого проекта сопровождается возникновением различных ситуаций. Фактором возникновения ситуаций является неопределенность внешней и внутренней сред жизненного цикла АПК. Подходы к урегулированию ситуаций, а также характер совершаемых ошибок определяется содержанием ситуаций, возникающих при управлении проектами.

## Концептуальная основа построения моделей ситуаций возникающих при реализации проектов

Концептуальную основу построения систем управления проектами создания АПК составляют следующие положения:

1) Ошибки в организации управления проектами представляют наибольшую опасность для результатов проекта. Это обосновывает необходимость развития теоретических основ управления проектами.

2) Программные проекты есть разновидность сложных субъектоцентрических систем. Это дает основание для адаптации моделей ситуаций, возникающих при управлении субъектоцентрическими системами, в область управления программными проектами.

3) Построение структурных и математических моделей ситуаций, соответствующих разным уровням абстракции рассмотрения проекта, создает основу для реализации проактивной стратегии обеспечения безопасности как проекта, так и результатов проекта.

Концептуальную основу построения моделей составляют следующие известные положения исследования сложных систем:

1) Поведение сложной системы определяется ее устройством [8]. Из этого следует возможность установления логической связи между поведением системы и ее устройством.

2) АПК являются разновидностью сложных динамических управляемых систем [9]. Из этого следует возможность рассмотрения АПК как многосвязного объекта управления.

3) Поведение системы определяется сложным взаимодействием усиливающих и ослабляющих контуров, возникающих в системах с обратными связями. Контурное представление (термин определен в [10]) поведения является формализацией закона обратных связей в рамках кибернетического подхода. Это делает целесообразным разработку моделей управляемых объектов на основе контурного представления.

4) В силу того, что проект является динамической системой, разным стадиям жизненного цикла АПК могут быть поставлены в соответствие различные ситуации.

Выделенные положения дают основание рассматривать в качестве неделимой системы (холона) следующую совокупность моделей:

- модель поведения сложной системы в разных ситуациях;
- структурную модель, характеризующую влияние факторов ситуации на симптомы ситуации. Влияние факторов выражается прямыми и перекрестными связями, вид и содержание которых определяется устройством проекта;
- математические модели, позволяющие получить количественные характеристики взаимосвязи факторов и симптомов ситуации.

### Сквозная схема построения моделей ситуаций

Укрупненная схема построения моделей, предназначенных для обеспечения информационной поддержки урегулирования ситуаций, возникающих при управлении проектами создания АПК, представлена на Рисунке 1.

Первой задачей в урегулировании ситуации является определение ее содержания. В качестве подхода к решению этой задачи целесообразно использовать системные архетипы.

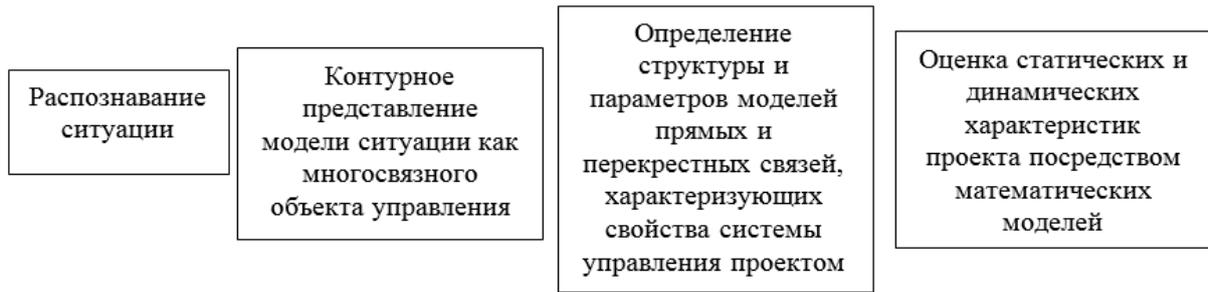


Рисунок 1 – Каскад моделей «Системный архетип» – «Математические модели»  
Figure 1 – Cascade of models “System archetype” – “Mathematical models”

Системные архетипы – мощный инструмент выявления основных причин и особенностей поведения сложных систем [7]. Системные архетипы представляют собою описание на качественном уровне типовых причин и ситуаций, которые наблюдаются при управлении сложными системами разной природы. В литературе описано ограниченное число системных архетипов (порядка десятка) [7, 23].

В литературе отмечается, что системные архетипы составляют основу решения двух классов задач: диагностических и прогностических. Решение диагностических задач имеет целью получение ответа на вопрос: что является причиной наблюдаемых проявлений ситуации. Основой решения диагностических задач является выбор из доступного множества системных архетипов того, который можно поставить в соответствие наблюдаемым симптомам ситуации. Это позволит на качественном уровне определить основные причины сложившейся ситуации.

Решение прогностических задач имеет целью получение ответа на вопрос: можно ли посредством параметрической настройки достичь желаемого поведения объекта в рамках существующей структуры системы управления либо придется вносить изменения в структуру. Полученный результат создает основу планирования системы мер по целенаправленному изменению структуры и параметров системы управления.

С практической точки зрения ограниченностью системных архетипов является то, что они описывают ситуации лишь на качественном уровне. В них не представлены структура системы управления и параметрические зависимости прямых и перекрестных связей, имеющих место в системе управления. Для генерации и анализа альтернатив урегулирования ситуаций следует разработать методы преобразования архетипов к виду структурных и математических моделей.

Следующим шагом после выделения проблемной ситуации, связанной с управлением свойствами АПК является построение структурной модели ситуации, соответствующей выделенному архетипу, в виде многосвязного объекта управления (следует заметить, что разным фазам жизненного цикла АПК могут ставиться в соответствие различные системные архетипы). В общем случае структурная модель имеет вид, представленный ниже на Рисунке 2.

Входными параметрами модели являются факторы ситуации.

Выходными – симптомы ситуации.

Структура и параметры прямых и перекрестных связей характеризуют влияние внешних факторов на симптомы и являются отображением структуры объекта.

Структуры сверток, характеризующих совокупное влияние прямых и перекрестных связей на симптомы ситуации, зависят от структуры архитектуры системы управления проектом (структура архитектуры понимается в смысле, определенном в [11]).

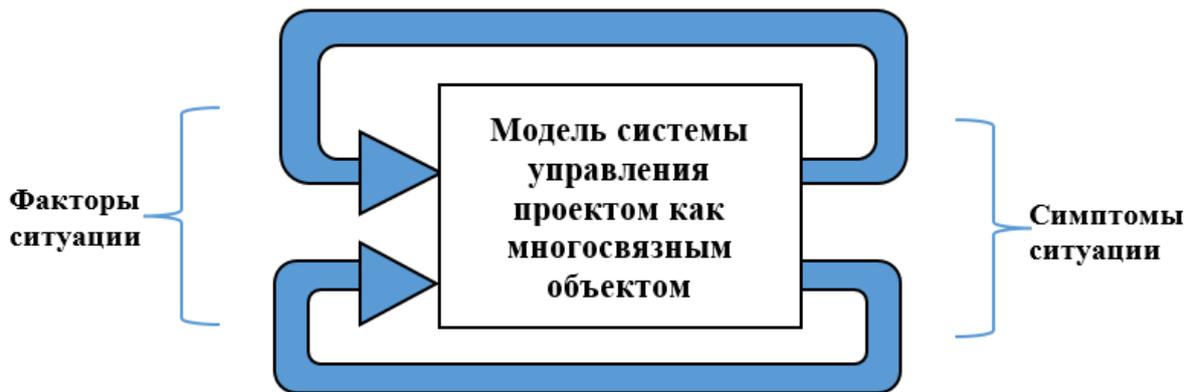


Рисунок 2 – Структурная модель ситуации в виде многосвязного объекта управления  
Figure 2 – The structural model of the situation in the form of a Multivariable Control Object

Вследствие того, что на разных этапах жизненного цикла АПК локальные цели, задачи и подходы к решению задач различаются, что вынуждает соответствующим образом изменять организацию системы управления, можно утверждать, что структура и параметры прямых и перекрестных связей также изменяются.

В силу субъектоцентрической природы системы управления проектами, основанием построения формульных описаний прямых и перекрестных связей являются экспертные оценки субъектов, ранее привлекавшихся к реализации аналогичных проектов, а также исторические данные о параметрах ранее реализованных проектов. При построении формальных описаний прямых и перекрестных связей преобладают эмпирические и полуматематические модели. Особенности формирования обратных связей формируют эмерджентные свойства многосвязного объекта.

### Примеры построения структурных моделей, соответствующих разным системным архетипам

Рассмотрим два примера описания типичных для средних проектов ситуаций посредством системных архетипов, а также контурного представления системных архетипов. Количественная характеристика понятия «средний программный проект» приведена в [12].

#### **Пример 1. Архетип «Случайные противники»**

В работе [6] подчеркивается, что дефекты организационного характера имеют для результатов проекта наиболее губительные последствия. Особенностью проектов, связанных с созданием АПК, является жесткое ограничение на безопасность изделия и время представления результата. В этих условиях критически важное значение приобретает обоснованное назначение бюджета проекта.

Удовлетворенность потребителя результатами проекта, а исполнителя – организацией и ходом реализации проекта являются равнозначными факторами, определяющими успех проекта. Удовлетворенность потребителя является интегральной характеристикой соответствия потребительских свойств информационных систем представлениям о ценностях потребителей. Удовлетворенность же исполнителя является интегральной характеристикой соответствия внутреннего устройства проекта (организационного, финансового, технологического на всех стадиях его жизненного цикла) ожидаемому на ранней стадии проекта.

Одной из наиболее известных концептуальных моделей проекта, соответствующих начальной фазе жизненного цикла, является «треугольник проекта». Эта модель определяет факторы, составляющие основу построения систем управления

проектами. Модель 2015 г. [13] фактически акцентирует внимание на соответствие результатов проекта представлениям о ценностях (интересах) субъектов, причастных к реализации проекта, т. е. на интересах потребителей (источники запросов) и исполнителей

Следует учитывать, что во взаимоотношениях субъектов (потребителей результатов проектов и исполнителей проектов) ситуация достаточно противоречивая. С точки зрения ресурсного обеспечения (интегрально выражаемого бюджетом проекта) потребители стремятся сократить величину бюджета; исполнители же – увеличить.

С другой стороны, исполнители осознают неизбежность наличия ограничений на предлагаемую потребителем величину бюджета. Отвлечение бюджета на создание АПК приводит к сокращению инвестиций в другие направления деятельности организации. Кроме того ограничения на бюджет проекта обусловлены конкуренцией среди разработчиков АПК.

С третьей стороны новые возможности, предоставляемые системами сетецентрического управления, стимулируют рост ценностей, получаемых потребителями, что, в свою очередь, стимулирует рост заинтересованности в развитии информационных систем. Увеличение масштабов и сложности динамических объектов управления вынуждает потребителей постоянно вкладывать ресурсы в модернизацию и развитие информационных систем.

С четвертой стороны, возрастающая сложность запросов со стороны потребителей способствуют развитию теоретической, методической и инструментальной базы создания информационных и киберфизических систем.

Описанной ситуации может быть поставлен в соответствие архетип «Случайные противники». Предлагаемый системный архетип представлен на Рисунке 3.

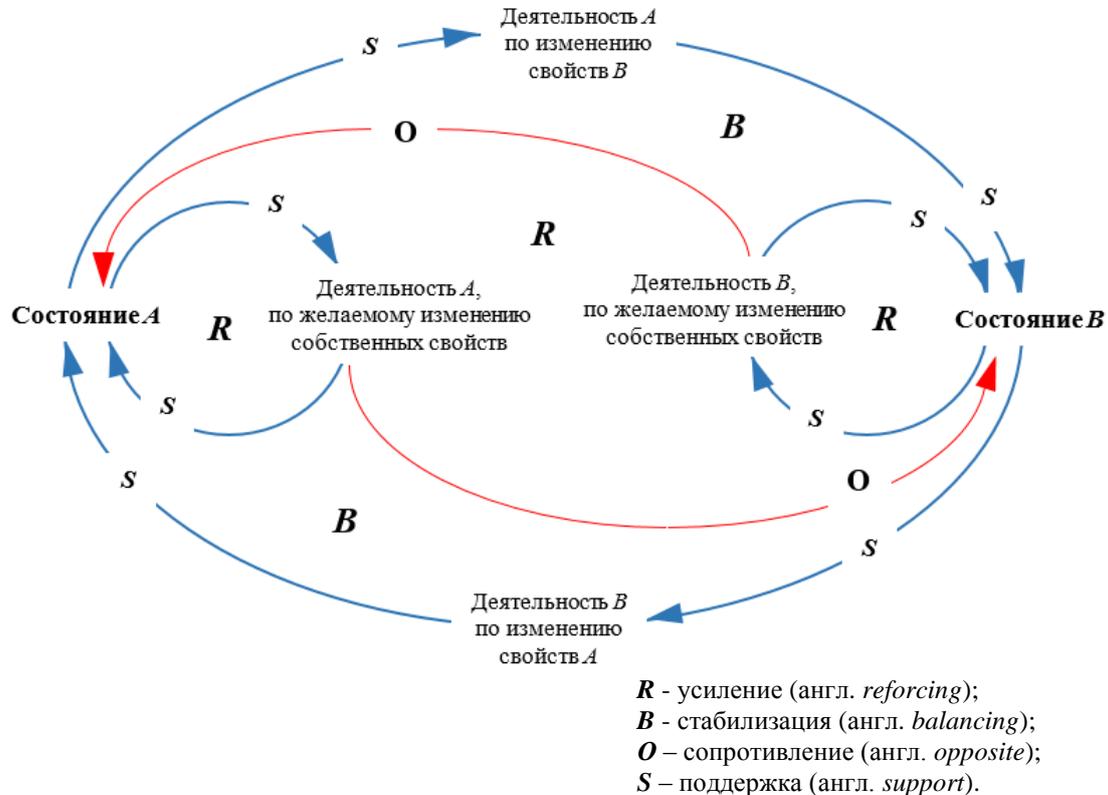


Рисунок 3 – Пример 1 – Архетип «Случайные противники»  
 Figure 3 – Example 1 – “Random Opponents” archetype

Этому архетипу может быть поставлено в соответствие контурное описание, представленное на Рисунке 4, основу которого составляет точка зрения на систему управления проектом как на многосвязную систему.

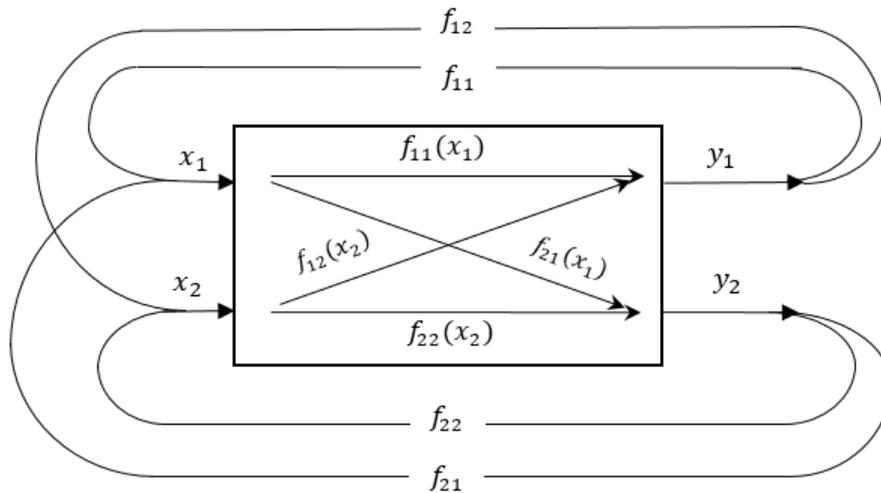


Рисунок 4 – Контурное описание архетипа «Случайные противники»  
 Figure 4 – Contour description of the “Random Opponents” archetype

В работах [14, 15] на примере задачи определения бюджета проекта рассмотрен подход к описанию проекта как многосвязного объекта управления. Формирование прямых и перекрестных связей проекта  $f_{ij}$  (косвенных характеристик системы управления проектом) осуществляется по критерию удовлетворенности потребителей и исполнителей на основе архивных данных о ранее реализованных проектах и субъективных оценок экспертов.

Входами проекта являются:

$x_1$  – бюджет проекта;

$x_2$  – длительность реализации проекта.

Выходами проекта являются:

$y_1$  – характеристика удовлетворенности пользователей / заказчиков;

$y_2$  – характеристика удовлетворенности разработчиков.

Обосновывается утверждение о том, что характеристики  $y_j$  ( $j = 1, 2$ ) и параметры  $x_i$  ( $i = 1, 2$ ) могут быть связаны функциональными зависимостями  $y_j = \Phi_j(x_1, x_2)$ . В упомянутой выше работе [14] обосновано представление  $\Phi_1(x_1, x_2)$  в виде аддитивной функции:

$$\Phi_1(x_1, x_2) = \gamma_1 f_{11}(x_1) + \gamma_2 f_{21}(x_2), \quad (1)$$

а  $\Phi_2(x_1, x_2)$  – в виде мультипликативной функции:

$$\Phi_2(x_1, x_2) = f_{12}(x_1) * f_{22}(x_2), \quad (2)$$

где  $f_{ij}(x_i)$ , ( $i, j = 1, 2$ ) – строгие функциональные зависимости. При  $i=j$  они характеризуют прямые связи между входами и выходами объекта; при  $i \neq j$  – перекрестные;

$\gamma_1, \gamma_2$  – коэффициенты, характеризующие значимость параметров  $x_1$  и  $x_2$ ;

$f_{ij}$  – действия, связанные с мониторингом свойств промежуточных результатов проекта и изменением среды реализации проекта ( $i, j = 1, 2$ ).

В рамках сверток (1) и (2) определены границы, в которых может изменяться бюджет проекта при наличии ограничений на длительность реализации проекта, а также

на уровень удовлетворенности исполнителей проекта и потребителей результатов проекта.

Предлагаемое решение, основу которого составляет один из системных архетипов, фактически реализует идею «барьерного мышления» (англ. – *barrier thinking*) предложенного в работах J. Reason.

**Пример 2. Архетип «Пределы роста»**

Графическая модель, соответствующая архетипу «пределы роста», представлена на Рисунке 5.



Рисунок 5 – Системный архетип «Пределы роста»  
Figure 5 – “Limits to Success” system archetype

Этому архетипу может быть поставлено в соответствие контурное описание, представленное на Рисунке 6.

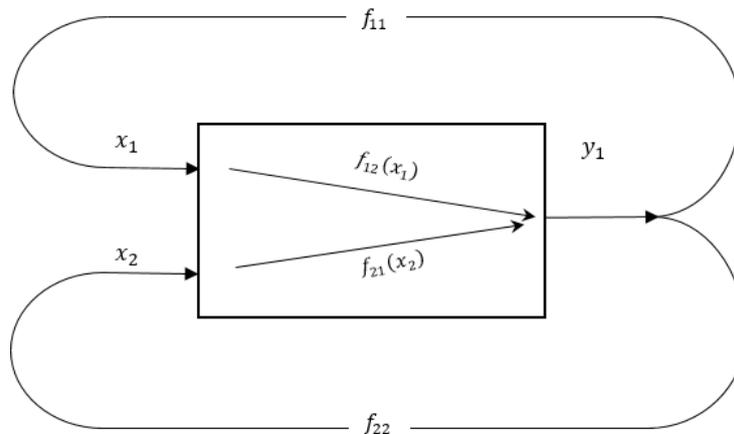


Рисунок 6 – Системный архетип «Пределы роста»  
Figure 6 – Contour description of “Limits to Success” archetype

Входными параметрами проекта являются  $x_1$  – факторы, стимулирующие повышение безопасности АПК и  $x_2$  – факторы, препятствующие повышению безопасности АПК. Выходным параметром является  $y_1$  – оценка уровня безопасности, т.е. эмерджентные свойства продуктов, возникающие в результате сложных взаимодействий стимулирующих и препятствующих факторов.

На рисунке обозначено:  $f_{ij}$  – связи, определяющие «полезные» и «вредные» с точки зрения безопасности АПК действия, определяемые организацией системы управления проектом ( $i, j=1,2$ );

$F_{ij}$  – действия, связанные с мониторингом свойств промежуточных результатов проекта и изменением среды реализации проекта.

Содержание этого архетипа применительно к задачам обеспечения 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 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 [16] со ссылкой на работу В. И. Арнольда приведена математическая модель (именуемая «логистической»), соответствующая системному архетипу «пределы роста». Модель имеет вид:

$$h_k^{(t+1)} = h_k^{(t)} \gamma_k (1 - h_k^{(t)}). \quad (3)$$

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

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

Под функциональной безопасностью, согласно GOST R MEK 61508 – 2012 понимается отсутствие неприемлемого риска, обусловленного несоответствием функциональных возможностей АПК потребностям пользователей.

В настоящей работе предполагается, что функциональная безопасность характеризуется долей функциональных компонент 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 [17].

Очевидно, что  $0 < h_k^{(t)} < 1$ . Это содержательно 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.

Зависимость (3) создает основу для исследования влияния соотношения показателей состояния АПК  $h_k^{(t)}$  и организации проекта  $\gamma_k$ .

В [18] представлены результаты, характеризующие изменение  $h_k^{(t)}$  в зависимости от значения  $\gamma_k$ , и разных  $h_k^{(0)}$ . Характер во времени  $h_k^{(t)}$  позволяет вынести заключение о том, какая из обратных связей (развивающая / стабилизирующая) превалирует в разные периоды времени, а также о том, насколько точность системы измерений соответствует решению задачи стабилизации.

В той же работе представлен подход к формированию интегрального показателя  $\gamma_k$  на основе совокупности факторов, как способствующих повышению функциональной безопасности, так и препятствующих этому (что соответствует расширению архетипа «предел роста» к виду «Притягательные принципы» (англ. – *Attractiveness Principle*) [7]). Основу формализации составляют установление посредством известной модели «Дом

качества» (*House of Quality*) [19, 20] соответствия между факторами, способствующими / препятствующими повышению функциональной безопасности и компонентами векторов, соответствующих развивающему и стабилизирующему контурам.

Методическую основу формирования матриц в составе «дома качества» составляет формальная процедура оценивания непараметрических функциональных зависимостей на основе решения обратной задачи оценивания законов распределения случайных величин как функции случайного аргумента [21] с последующей аппроксимацией непараметрической модели линейной зависимостью. Основу расчета элементов матрицы в составе «Дома качества» составляет рассмотрение времени как универсальной характеристики факторов, стимулирующих и препятствующих повышению безопасности, а также компонент векторов, являющихся результатом действия факторов  $x_1$  и  $x_2$ .

### Заключение

Один из основных принципов управления сложными системами – принцип комплексности. Его реализация предполагает изучение управляемой системы с разных точек зрения. При этом каждой точке зрения может быть поставлена в соответствие своя ситуация, свой системный архетип. Если в качестве основной цели управления положить гармоничную реализацию основных, вспомогательных и обеспечивающих процессов в составе проекта [5], (т. е. рассматривать проект как целостное образование [10]), то проекту создания АПК следует ставить в соответствие динамическую сеть, каждому из узлов которой следует ставить в соответствие динамические ситуации (т. е. динамические архетипы).

Ограничениями настоящей работы является, во-первых, акцентирование внимания на построении цепочки моделей, позволяющих перейти от качественного описания ситуаций к математическим моделям, позволяющим получить количественные оценки (статические и динамические) отдельных ситуаций. Вопросы, связанные с исследованием одновременного присутствия в проекте различных архетипов (соответствующих разным точкам зрения на проект) не затрагивались. Во-вторых, фокусом исследований являлись внешние контуры, соответствовавшие усиливающим и уравнивающим обратным связям, характерным для разных ситуаций. Внутренние контуры обратных связей, соответствующие процессам проектов, остались вне зоны внимания. В-третьих, не затрагивался вопрос динамики системных архетипов, т. е. изменения ситуаций во времени. В-четвертых, не затронута проблема исследования систем системных архетипов (в [22] отмечается, например, что архетип «*Growth and Underinvestment*» представляет собой комбинацию «*Limits to Success*» и «*Drifting Goals*»).

Областью применимости предлагаемого подхода являются средние, т. е. массово реализуемые, проекты (по классификации, приведенной в [12]). Средним проектам можно ставить в соответствие типовые ситуации, для описания которых использовать известные системные архетипы. Вопрос о том, достаточно ли известных системных архетипов для описания ситуаций, связанных с реализацией уникальных проектов, остается открытым.

Общими системообразующими факторами для всех системных архетипов, на наш взгляд, являются неопределенность среды реализации проекта и различия ментальных моделей участников проекта. Для малых проектов (примером которых могут служить, например, курсовые проекты студентов), характерны малая неопределенность среды реализации и малое число участников проекта. Поэтому возникающие в ходе реализации проекта ситуации урегулируются не интуитивном уровне.

Отдельного рассмотрения требует также вопрос формирования сверток для составления на основе описаний прямых и перекрестных связей выходных характеристик проектов как многосвязных управляемых объектов.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ESA PSS 05-11. *Guide to software quality assurance*.
2. Макконнелл С. *Сколько стоит программный проект*. СПб: Питер; 2007. 297 с.
3. Беркун С. *Искусство управления IT-проектами*. СПб: Питер; 2010. 432 с.
4. Милошевич Д. *Набор инструментов для управления проектами*. М.: ДМК Пресс; 2008. 729 с.
5. *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*. 5 edition. ANSI/PMI 99-01-2004. Publisher: Project Management Institute; 2012. 585 с.
6. 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.
7. Braun W. *The System Archetypes by William Braun*. 2002. 25 p.
8. Meadows D.H. *Thinking in Systems: A Primer*. Chelsea Green Publishing; 2008. 240 p.
9. Information Processing 1965: *Proceedings of IFIP Congress 65, Organized by the International Federation for Information Processing*, New York City, May 24-29, 1965. 304 p.
10. О'Коннор Дж. *Искусство системного мышления: Необходимые знания о системах и творческом подходе к решению проблем*. М.: Альпина Паблишер; 2013. 254 с.
11. 1471-2000 – IEEE Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems. 2000. Available by: <https://standards.ieee.org/standard/1471-2000.html>. DOI:10.1109/IEEESTD.2000.91944
12. ESA-PSS-05-02. *Guide to the user requirements definition phase, PSS-05-02*.
13. CHAOS Report. *The Standish Group International, Inc.*, 2015. Available by: [https://www.standishgroup.com/sample\\_research\\_files/CHAOSReport2015-Final.pdf](https://www.standishgroup.com/sample_research_files/CHAOSReport2015-Final.pdf).
14. Гвоздев В.Е., Бежаева О.Я., Ахметова Д.Р., Сафинова Г.Р. Оценка бюджета проекта по критериям удовлетворённости акторов. *Онтология проектирования*. 2021;11(3):382–392. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-382-392
15. Гвоздев В.Е., Бежаева О.Я., Ахметова Д.Р., Сафинова Г.Р. Формирование параметров модели управления проектом на основе линейаризации функциональных зависимостей. *Онтология проектирования*. 2020;10(4):527–539. DOI:10.18287/2223-9537-2020-10-4-527-539.
16. Райков А.Н. *Конвергентное управление и поддержка решений*. М.: ИКАР; 2009. 245 с.
17. Липаев В.В. *Надежность и функциональная безопасность комплексов программ реального времени*. М: Институт системного программирования РАН; 2013. 207 с.
18. Гвоздев В.Е., Гузаиров М.Б., Бежаева О.Я. Анализ влияния качества управления проектом на состояние функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов на основе системного архетипа «предел роста». *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(3).
19. Bossert J.L. *Quality Function Deployment: A Practitioner's Approach*. ASQC Quality Press; 1991. 127 p.
20. Herzwurm G., Schockert S., Zimmermann P. *Usage of Quality Function Deployment in Europe: State of the art and selected case studies*. University of Stuttgart; 2007. 21 p.
21. 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.

22. Daniel H. Kim, Virginia Anderson. *Systems Archetype Basics*, Pegasus Communications, inc. Waltham, Massachusetts; 2011. 188 p.
23. Сенге П.М. *Пятая дисциплина*. М.: Олимп-Бизнес; 2003. 408 с.

## REFERENCES

1. ESA PSS 05-11. *Guide to software quality assurance*.
2. McConnell S. How much does a software project cost? Peter Publisher; 2007. 297 p. (In Russ.)
3. Berkun S. *The Art of IT projects management*. Peter Publisher; 2010, 432 p. (In Russ.)
4. Miloshevic D. *A set of tools for project management*. М.: DMK Press; 2008. 729 p. (In Russ.)
5. *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*. 5 edition. ANSI/PMI 99-01-2004. Publisher: Project Management Institute; 2012. 585с.
6. 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.
7. Braun W. *The System Archetypes by Wiiliam Braun*. 2002. 25 p.
8. Meadows D. H. *Thinking in Systems: A Primer*. Chelsea Green Publishing; 2008. 240 p.
9. Information Processing 1965: *Proceedings of IFIP Congress 65, Organized by the International Federation for Information Processing*, New York City, May 24-29, 1965. 304 p.
10. O'Connor J. *The art of systems thinking: Essential knowledge about systems and creative problem solving*. Moscow: Alpina Publisher; 2013. 254 p. (In Russ.)
11. 1471-2000 – IEEE Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems. 2000. Available by: <https://standards.ieee.org/standard/1471-2000.html>. DOI:10.1109/IEEESTD.2000.91944
12. ESA-PSS-05-02. *Guide to the user requirements definition phase, PSS-05-02*.
13. CHAOS Report. *The Standish Group International, Inc.*, 2015. Available by: [https://www.standishgroup.com/sample\\_research\\_files/CHAOSReport2015-Final.pdf](https://www.standishgroup.com/sample_research_files/CHAOSReport2015-Final.pdf).
14. Gvozdev V.E., Bezhaeva O.Y., Akhmetova D.R., Safinova G.R. Estimation of the project budget according to the criterion of satisfaction of actors. *Ontologiya proyektirovaniya = Design Ontology*. 2021;11(3):382–392. (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. *Ontologiya proyektirovaniya = Design Ontology*. 2020;10(4):527–539. (In Russ.)
16. Raikov A.N. *Convergent management and decision support*. М.: Publishing house IKAR; 2009. 244 p. (In Russ.)
17. Lipaev V.V. *Reliability and functional safety of real-time software complexes*. М.: Institute for System Programming RAS; 2013. 207 p. (In Russ.)
18. 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». *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, optimization and information technology*. 2021;9(3). DOI: 10.26102/2310-6018/2021.34 (In Russ.)
19. Bossert J.L. *Quality Function Deployment: A Practitioner's Approach*. ASQC Quality Press, 1991. 127 p.
20. Herzwurm G., Schockert S., Zimmermann P. *Usage of Quality Function Deployment in Europe: State of the art and selected case studies*. University of Stuttgart, 2007. 21 p.

21. 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. *Ontologiya proyektirovaniya = Design Ontology*, 2019;9(3):361–368. (In Russ.)
22. Daniel H. Kim, Virginia Anderson. *Systems Archetype Basics*, Pegasus Communications, inc. Waltham, Massachusetts; 2011. 188 p.
23. Senge P.M. *Fifth discipline*. М.: Olimp-Business; 2003. 408 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.  
*e-mail*: [wega55@mail.ru](mailto:wega55@mail.ru)

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

**Васильев Владимир Иванович**, доктор технических наук, профессор Уфимского государственного авиационного технического университета, Уфа, Российская Федерация.  
*e-mail*: [vasilyev.vi@ugatu.su](mailto:vasilyev.vi@ugatu.su)

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

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

**Murat Bakeevich Guzairov**, Doctor of Technical Sciences, 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.  
*e-mail*: [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 04.05.2022; одобрена после рецензирования 24.06.2022; принята к публикации 28.06.2022.*

*The article was submitted 04.05.2022; approved after reviewing 24.06.2022; accepted for publication 28.06.2022.*