

Обеспечения функциональной надежности информационных систем на предпроектной стадии (методологические основы)

О. Я. Бежаева, В. Е. Гвоздев

Уфимский университет науки и технологий

Представлен обзор исследований по решению актуальной научно-практической проблемы создания методологических основ обеспечения функциональной надежности информационных систем (ИС) на предпроектной стадии в виде комплекса принципов, подходов, методов, системных, структурных и математико-статистических моделей и реализованных на их основе инструментальных средств. Представлены результаты: • формирования методологии обеспечения функциональной надежности ИС на предпроектной стадии на основе принципов и подходов системного анализа; • разработки системных моделей предпроектной стадии на основе положений эвергетики; • разработка на основе системных архетипов комплекса структурных, контурных и динамических моделей проблемных ситуаций, связанных с обеспечением функциональной надежности ИС на предпроектной стадии; • разработки методов обеспечения функциональной надежности ИС на предпроектной стадии; • разработки математико-статистических моделей для определения базовых характеристик проекта ИС на основе исторических данных, а также оценка согласованности мнений неоднородных акторов на предпроектной стадии; • разработка методик и инструментальных средств обеспечения функциональной надежности ИС.

Информационная система; функциональная надежность; предпроектная стадия; эвергетика.

ВВЕДЕНИЕ

Базовым требованием к информационной инфраструктуре в условиях цифровой экономики является предоставление своевременной, полной и достоверной информации, необходимой для урегулирования ситуаций, возникающих в различных частях распределённой информационной системы. Согласно ГОСТ 33707-2016, информационная система (ИС) – система, организующая обработку информации о предметной области и ее хранение.

В современных условиях определяющим направлением построения ИС выступает концепция сетецентрического управления. Система сетецентрического управления представляет собой сочетание заблаговременно созданных и развернутых разветвленных автоматизированных электронных сетей сбора и обработки первичной информации, узлов хранения и анализа информации, а также контуров управления и принятия решений. Их интеграция формирует единое информационное и управленческое пространство. Ключевым свойством таких систем является интероперабельность, обеспечивающая возможность совместного функционирования и обмена данными между разнородными компонентами, подсистемами и участниками в рамках распределённой информационной среды. Особенностью формирования единого информационного пространства является переход от централизованного управления требованиями к функциональным характеристикам ИС к децентрализованному, что предполагает выработку заинтересованными сторонами консолидированных решений на предпроектной стадии.

Бежаева О. Я., Гвоздев В. Е. Обеспечения функциональной надежности информационных систем на предпроектной стадии (методологические основы) // СИИТ. 2026. Т. 8, № 4(28). С. 45-74. DOI: [10.54708/SIIT-2026-no4-p45](https://doi.org/10.54708/SIIT-2026-no4-p45). EDN: [OGEYTW](https://edn.ugatu.su/OGEYTW).

Bezhaeva O. Ya., Gvozdev V. E. "Ensuring the functional reliability of information systems at the pre-project stage (methodological foundations)" // SIIT. 2026. Vol. 8, no. 4(28), pp. 45-74. DOI: [10.54708/SIIT-2026-no4-p45](https://doi.org/10.54708/SIIT-2026-no4-p45). EDN: [OGEYTW](https://edn.ugatu.su/OGEYTW). (In Russian).

Ключевая роль единого информационного пространства в задачах сетецентрического управления обуславливают важность задачи обеспечения функциональной надежности локальных ИС, системная интеграция которых формирует единое информационное пространство.

Под функциональной надежностью ИС понимается свойство сохранять работоспособность в соответствии со своим целевым назначением при случайных дестабилизирующих воздействиях и отсутствии злоумышленного влияния на программную и аппаратную составляющую. В условиях постиндустриального общества, когда единое информационное пространство становится критическим фактором сетецентрического управления, содержание понятия «работоспособность» зависит от ситуации, для урегулирования которой субъектам, вовлеченным в урегулирование, необходима информационная поддержка, соответствующая их информационным потребностям.

Функциональная надежность является латентной характеристикой ИС и объективно характеризуется удовлетворенностью потребителей способностью системы в нужное время предоставлять сведения, соответствующие ситуации, которую нужно урегулировать. Дефекты выступают в качестве критического фактора, определяющего функциональную надежность. Источниками таких дефектов становятся ошибки, допускаемые субъектами на различных стадиях жизненного цикла ИС, причем дефекты предпроектной стадии в определении требований к свойствам ИС, являются причиной наиболее тяжелых, с точки зрения сетецентрического управления, последствий.

Современная практика показывает, что в области аппаратных компонентов накоплен значительный опыт обеспечения высоких характеристик надежности, при этом уровень надежности программных компонентов недостаточен. Субъектоцентрическая природа проекта разработки ИС предопределяет то, что организационные, методические и технологические ошибки, допускаемые субъектами проектирования, являются неизменной составляющей любого проекта. На это неоднократно указывалось в литературе и аналитических отчетах, в частности в исследованиях Standish Group. Недостаточная надежность программных компонентов, в том числе, обусловлена недостаточным уровнем развития теоретической и методической базы управления состоянием ИС, в особенности на предпроектной стадии.

Рост масштабов и сложности ИС существенно ограничивает применимость традиционных подходов к обеспечению функциональной надежности. В целом, к настоящему времени не сформированы теоретические основы построения систем обеспечения надежности на предпроектной стадии.

Понятие «функциональная надежность» и «функциональная безопасность» до настоящего времени трактуется различными исследователями неоднозначно. Согласно положениям стандарта МЭК 61508-2-2012, под функциональной безопасностью (functional safety) подразумевается корректное функционирование, как системы управления, так и управляемого оборудования. В. В. Липаев считает, что понятия и характеристики функциональной безопасности систем близки к понятиям надежности, определяет надежность и функциональную безопасность продукции, процессов производства и эксплуатации систем как работоспособное состояние и функционирование в соответствии с требованиями заказчика и документацией, при которых отсутствуют опасные отказы и недопустимый ущерб [Лип13]. Характеристики функциональной безопасности учитывают только те реализации опасных отказов, которые привели к крупному или катастрофическому ущербу в то время, как показатели надежности фиксируют все реализации опасных отказов. И. Б. Шубинский определяет функциональную надежность как готовность системы к выполнению предусмотренных задач [Шуб12]. J. C. Laprier определяет надежность (dependability) как способность предоставлять услуги, которым можно по праву доверять [Kan94].

Согласно ГОСТ 33707-2016 (ISO/IEC 2382:2015), надежность (программного средства): набор атрибутов, относящихся к способности программного обеспечения сохранять свой уровень качества функционирования при установленных условиях за установленный период времени.

В исследованиях А. Е. Платунова [Пла11], С. В. Быковского, Я. Г. Горбачева, А. О. Ключева, А. В. Пенского [Бык16] и других авторов подчеркивается, что современные технологии разработки нуждаются в усовершенствовании с целью создания эффективных механизмов защиты систем обработки данных и управления, как от злонамеренных воздействий, так и от непреднамеренных ошибок разработчиков на разных стадиях жизненного цикла.

Вопросы обеспечения функциональной надежности в условиях решения задач управления в реальном времени обсуждаются в работах А. Я. Мостового [Мос16], Н. П. Постникова [Пла13], Н. П. Кириллова [Кир12], Л. А. Муравьевой-Витковской [Мур12], Е. А. Lee [Lee12].

Результаты анализа научных публикаций указывают на принципиальные различия между подходами к управлению умышленно внесенными дефектами и дефектами, возникшими вследствие ошибок разработчиков. Важно отметить, что непреднамеренные дефекты способны вызывать значительно более серьезные негативные последствия по сравнению с результатами от злонамеренных действий.

Широкое распространение получили методы, ориентированные на выявление ошибок по результатам специально организованных испытаний и изучения исторических данных об опыте эксплуатации ИС. Указанные методы, главным образом, соотносятся с реактивным подходом. Основные цели исследований – выявить закономерности в проявлении дефектов и установить причины возникновения. Данные аспекты находят отражение в работах В. Аджиева [Адж98], J. C. Carver, V. Anu, R. Soni, S. Kaplan, S. Visnepolschi [Son13, Kap05, Hu17, Anu18, Thu15].

В работах Т. Fagerhaug, R. Duphily, B. Andersen [And06, Dup14] рассмотрены методы, которые можно обозначить понятием Root Cause Analysis. Данная группа методов представляет собой адаптацию методологии I-TRIZ в область управления функциональной надежностью.

Методы и модели анализа распространения ошибок (Error Propagation Analysis) представлены в работах А. Perini, А. Морозова, К. Janschek, Е. Lee [Mor17, Ste19, Mor11, Lee12]. Суть данной группы методов заключается в раннем обнаружении дефектов и отказов и парировании этих явлений.

Human Error Taxonomy (HET) – группа методов ориентированных на предотвращение дефектов, обусловленных ошибками субъективной природы. Представляют собой отдельную категорию исследований, представленных в работах F. Huang, S. A. Shappell, J. Reason [Hua17, Sha00, Rea90].

На сегодняшний день вопрос управления дефектами, возникающими из-за субъективных ошибок правообладателей и разработчиков на предпроектной стадии, остаётся малоизученным.

В рамках проактивного подхода к управлению сложными системами развиваются методы, ориентированные на сравнительный анализ альтернатив проектных решений по критериям функциональной надежности (Failure Mode and Effect Analysis, Fault Tree Analysis). Данные методы нашли отражение в работах Y. M. Zhu, Haapanen Pentti, I. Verzola [Zhu17, Pen02, Ver14] и других исследователей.

В исследованиях А. Н. Райкова, В. А. Виттиха, С. В. Смирнова [Рай09, Вит22, Вит12] отмечается, что одним из ключевых факторов, снижающих эффективность реализации проектов создания сложных систем, является недостаточное понимание ценностей и ориентиров потенциальных пользователей. Это связано, в частности, с трудностями формирования консолидированного мнения различных целевых групп пользователей и размытости целей функционирования сложных систем, к числу которых относятся ИС.

Проведённый анализ научных публикаций свидетельствует о преобладании исследований, ориентированных на реактивный подход к управлению состоянием сложных систем. Использование только реактивного подхода не позволяет обеспечить требуемый уровень функциональной надежности ИС. В целом, на сегодняшний день, повышение функциональной надежности ИС достигается преимущественно за счет развития технологий проектирования, тогда как теоретическим аспектам урегулирования проблемных ситуаций, возникающих в ходе реализации проектов ИС, уделяется недостаточное внимание.

Целью данной работы является создание методологических основ обеспечения функциональной надежности информационных систем на предпроектной стадии в виде комплекса принципов, подходов, методов, системных, структурных и математико-статистических моделей и реализованных на их основе инструментальных средств. Задачи исследования:

- Формирование методологии обеспечения функциональной надежности ИС на предпроектной стадии на основе принципов и подходов системного анализа.
- Разработка системных моделей предпроектной стадии на основе положений эвергетики.
- Разработка на основе системных архетипов комплекса структурных, контурных и динамических моделей проблемных ситуаций, связанных с обеспечением функциональной надежности ИС на предпроектной стадии.
- Разработка методов обеспечения функциональной надежности ИС на предпроектной стадии.
- Разработка математико-статистических моделей для определения базовых характеристик проекта ИС на основе исторических данных, а также оценка согласованности мнений неоднородных акторов на предпроектной стадии.
- Разработка на основе новых научных результатов методик и инструментальных средств обеспечения функциональной надежности ИС.

При проведении исследований использованы методы системного анализа, положения эвергетики, методы контурного и структурного моделирования, математико-статистические методы обработки данных, аппарат теории графов, технологии объектно-ориентированного моделирования и разработки программного обеспечения, отечественные и зарубежные стандарты и руководства, регламентирующие способы решения задач обеспечения функциональной надежности.

Принципы и подходы к обеспечению функциональной надежности ИС

Сформулированы принципы и подходы к обеспечению функциональной надежности ИС как разновидности сложных систем, рассмотрены критерии сложности. Представленные критерии, принципы и подходы являются компонентами методологии обеспечения функциональной надежности ИС (рис. 1).

Базовые компоненты методологии обеспечения функциональной надежности ИС на предпроектной стадии включают в себя:

- концептуальные основы обеспечения функциональной надежности, в основе которых интеграция нормативного обеспечения, общенаучных подходов и принципов;
- методические основы обеспечения функциональной надежности, включающие метод построения многомерных зависимостей, метод структурного моделирования последствий отказов, метод оценки состояния функциональной надежности на основе субъективных оценок пользователей;
- модельные основы обеспечения функциональной надежности в виде комплекса моделей, предполагающего последовательную разработку системных, структурных, контурных и динамических моделей;

- инструментальные основы обеспечения функциональной надежности, включающие методики и информационные сервисы, реализованные на основе разработанных методов и моделей.

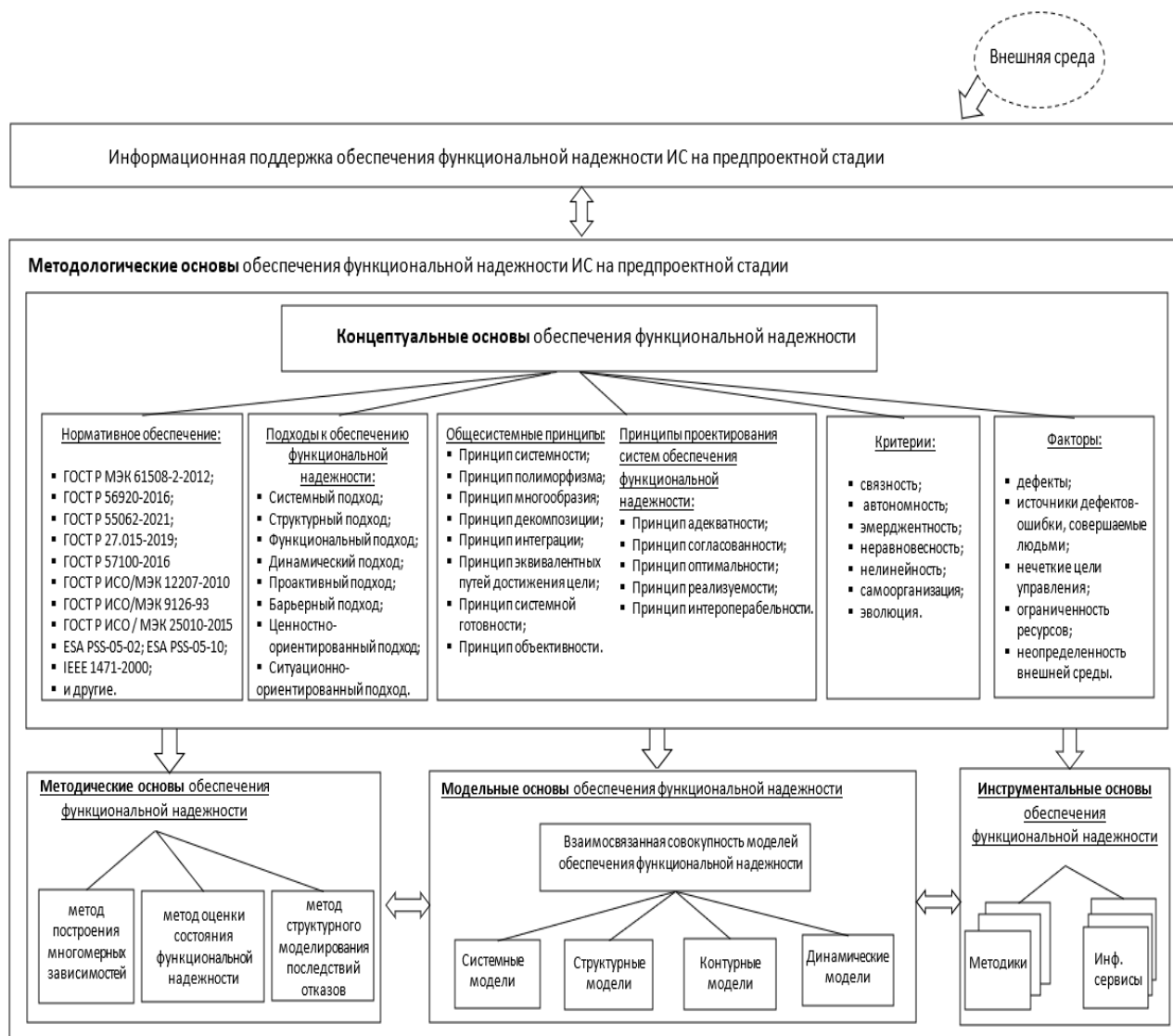


Рис. 1 Методология обеспечения функциональной надежности ИС на предпроектной стадии

Фокусом методологии является:

- с одной стороны, выделение общих свойств ИС со сложными системами, что служит основанием для научно-обоснованной адаптации известных в теории систем подходов управления надежностью в область обеспечения функциональной надежности ИС;
- с другой стороны, выявление специфических особенностей ИС, позволяющих выделить функциональную надежность ИС в качестве самостоятельного предмета исследований, что служит основанием разработки специальных подходов, методов и инструментов исследования.

Концептуальная основа исследования опирается на следующую систему взглядов.

- Обеспечение функциональной надежности ИС в составе систем поддержки сетецентрического управления распределенными сложными системами относится к классу задач управления в условиях динамических нечетких целей управления.

- ИС представляют собой разновидность сложных субъектоцентрических систем. Это обстоятельство служит обоснованием для научно-обоснованной адаптации известных подходов к модельному описанию проблемных ситуаций, возникающих при управлении сложными системами разной природы в область обеспечения функциональной надежности ИС. Модельное описание проблемных ситуаций служит основанием для информационной поддержки принятия решений по их урегулированию.

- Критическим фактором функциональной надежности являются дефекты. Источниками дефектов являются ошибки, допускаемые субъектами, причастными к разработке и использованию ИС.

- Основу обеспечения функциональной надежности составляет комплексное использование сведений, получаемых из разных источников: структурный анализ архитектур систем обеспечения функциональной надежности и внутреннего устройства ИС, результаты обработки исторических данных (включая метрические характеристики), связанные с проявлением дефектов разной природы, экспертные оценки субъектов, причастных к разработке ИС.

- Функциональная надежность определяется количеством дефектов (проявившихся и латентных), возникших на разных стадиях жизненного цикла, начиная с осознания наличия проблемной ситуации, для урегулирования которой необходимо использование ИС. Моменты проявления латентных дефектов и моменты их возникновения распределены в пространстве и во времени.

Цикл обеспечения функциональной надежности (рис. 2), назначение данной модели – выделение базовых компонентов непрерывного процесса совершенствования обеспечения функциональной надежности ИС.



Рис. 2 Цикл обеспечения функциональной надежности

Содержание модели состоит в том, что по мере изменения роли, масштабов и сложности ИС, постоянно вырастают требования к функциональной надежности. Это требует постоянного развития теоретических основ, технологических и инструментальных средств обеспечения функциональной надежности. Данная модель построена по аналогии с циклом Деминга в науке об управлении качеством. Подробно рассмотрены свойства дефектов как предмета исследования.

Дефект – состояние ИС, которое не соответствует заявленным требованиям, спецификациям или ожиданиям пользователя (фактор, снижающий ценность информационных сервисов для потребителей).

Дефекты являются неотъемлемой составляющей субъектоцентрических систем, к числу которых относятся ИС. Дефекты – сложные (многосвязные) объекты управления. Эволюция дефектов на предпроектной стадии и в ходе реализации проектов (рис. 3) означает, что при переходе на последующую фазу жизненного цикла существовавшие ранее дефекты в системе управления проектом и в продукте трансформируются в дефекты иной формы как в системе управления, так и в продукте.

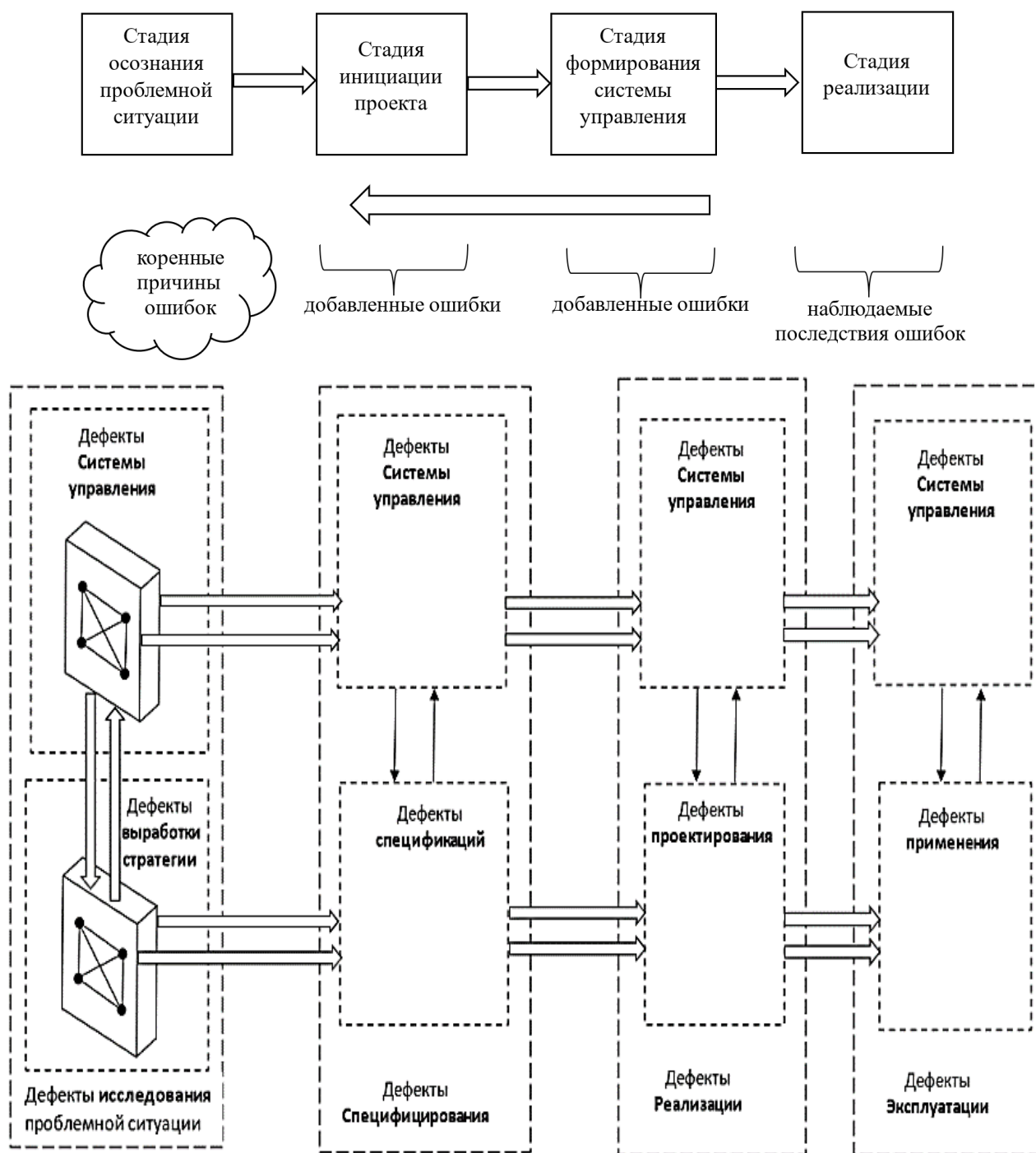


Рис. 3 Метаморфоза ошибок/дефектов

Разработана системная модель, соответствующая сквозному процессу обращения с дефектами на разных стадиях жизненного цикла. Рассматривается двухкомпонентный процесс обеспечения функциональной надежности (рис. 4, 5).

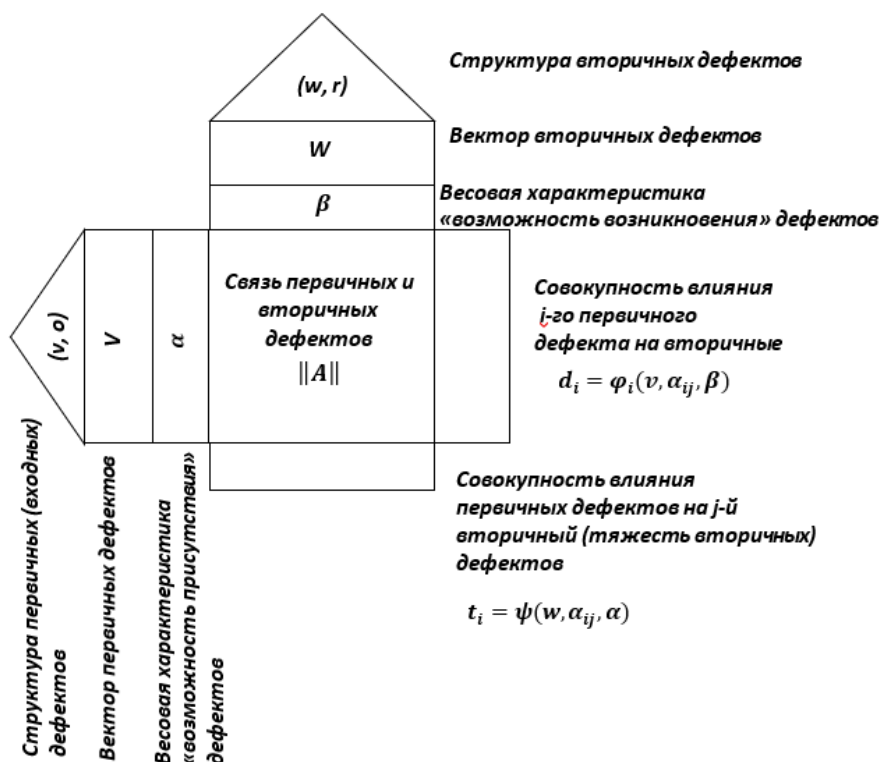


Рис. 4 Содержание НоQ <Дефекты>

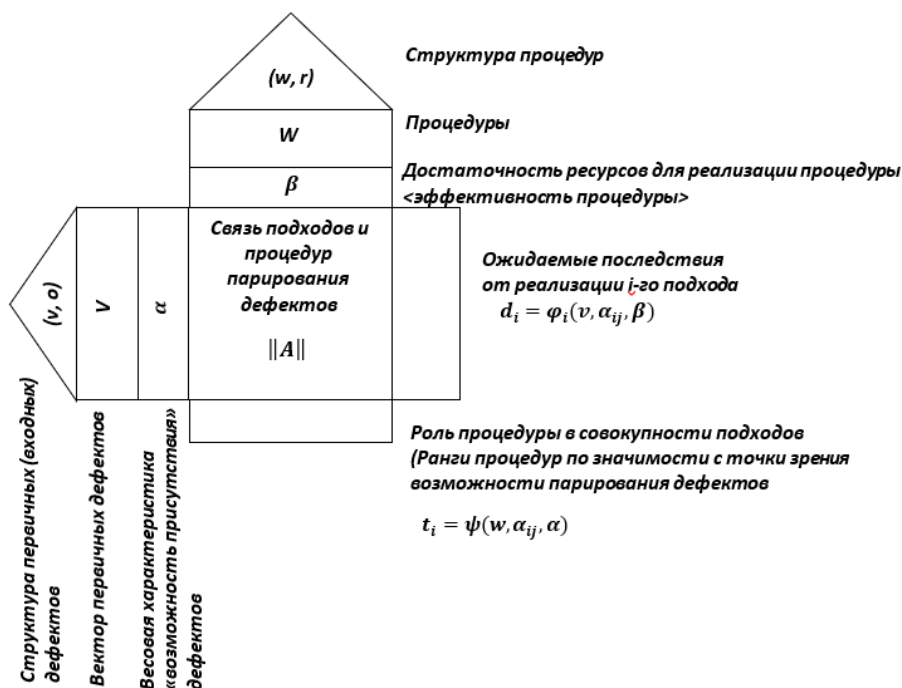


Рис. 5 Содержание НоQ <Парирование дефектов>

Первая компонента связана с анализом причин возникновения дефектов и видом дефектов (см. рис. 4). Вторая компонента связана с формированием подходов к предупреждению возникновения, выявления и устранения дефектов (см. рис. 5). Унифицированным способом представления обоих компонент является НоQ.

Моделью процесса взаимодействия двух компонент является модель, аналогичная V -модели жизненного цикла в сочетании с QFD (рис. 6).

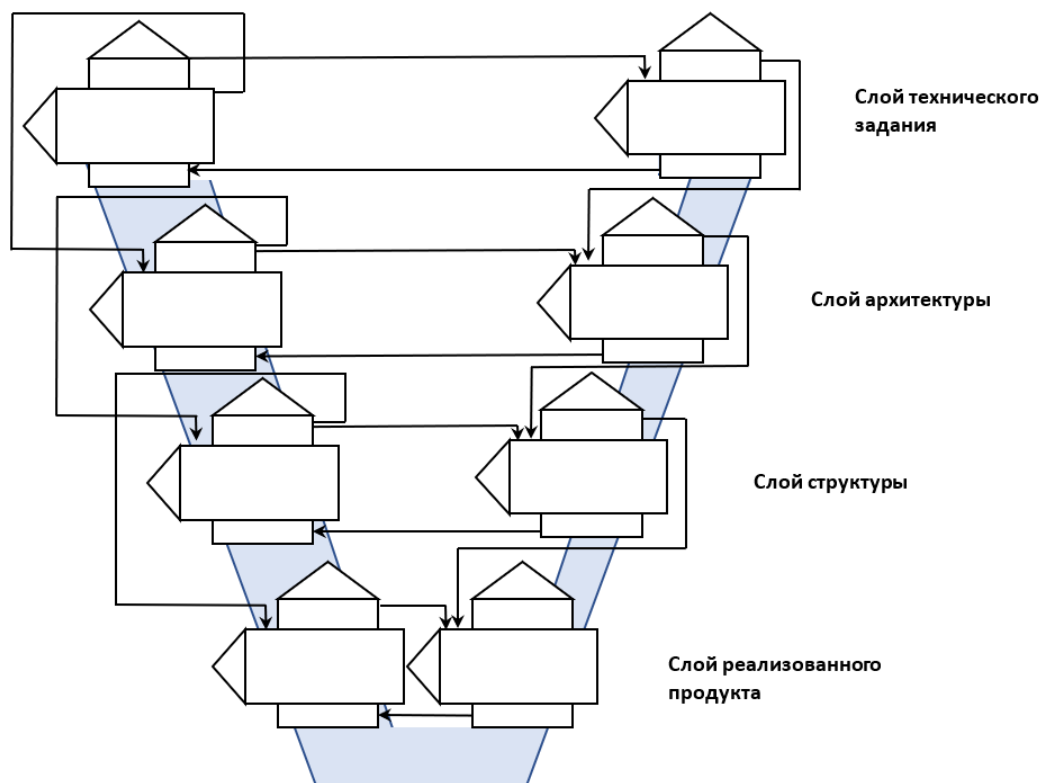


Рис. 6 Системная модель, соответствующая сквозному процессу обращения с дефектами

Формальная математическая модель: НоQ: $\|V^i\| \times \|A^i\| \rightarrow \|W^i\|$, где $\|V^i\|$ – вектор-столбец, соответствующий «крыльцу» НоQ; $\|A^i\|$ – матрица, соответствующая «комнате» НоQ; $\|W^i\|$ – вектор-столбец, соответствующий «крыше» НоQ. Предложенная системная модель, соответствующая сквозному процессу обращения с дефектами на разных стадиях жизненного цикла, объединяет в себе V -модель жизненного цикла и подход QFD. Модель обеспечивает единый формат описания преобразований дефектов при переходах на разные стадии жизненного цикла.

Разработаны системные модели предпроектной стадии на основе положений эвергетики (рис. 7, 8). В трудах проф. В. А. Виттиха «эвергетика – ценностно-ориентированная наука об организации процессов управления в социотехнических системах и в человеческом обществе в целом». Согласно положениям эвергетики проблемная ситуация не является объектом управления, заданным априори, а формируется в сознании неоднородных акторов, причастных к необходимости ее совместного урегулирования.

Под проблемной ситуацией, понимается ситуация невозможности достичь какой-либо насущной цели с использованием наличных ресурсов и с учётом существующих ограничений (временных, материальных, организационных, интеллектуальных и др.). Модельное описание проблемных ситуаций создает основу решения прямых задач обеспечения функциональной надежности: исследование проблемных ситуаций, обусловленных наличием различных

дефектов в организации проектов и в продуктах, позволяет выработать консолидированное мнение неоднородных акторов.

Формирование стратегии представляет собой многоэтапный процесс, реализация которого ориентирована на решение следующих ключевых задач: осознание наличия проблемной ситуации и ее описание; представление проблемной ситуации в виде объекта управления; формирование неоднородными акторами консолидированного подхода к урегулированию проблемной ситуации.

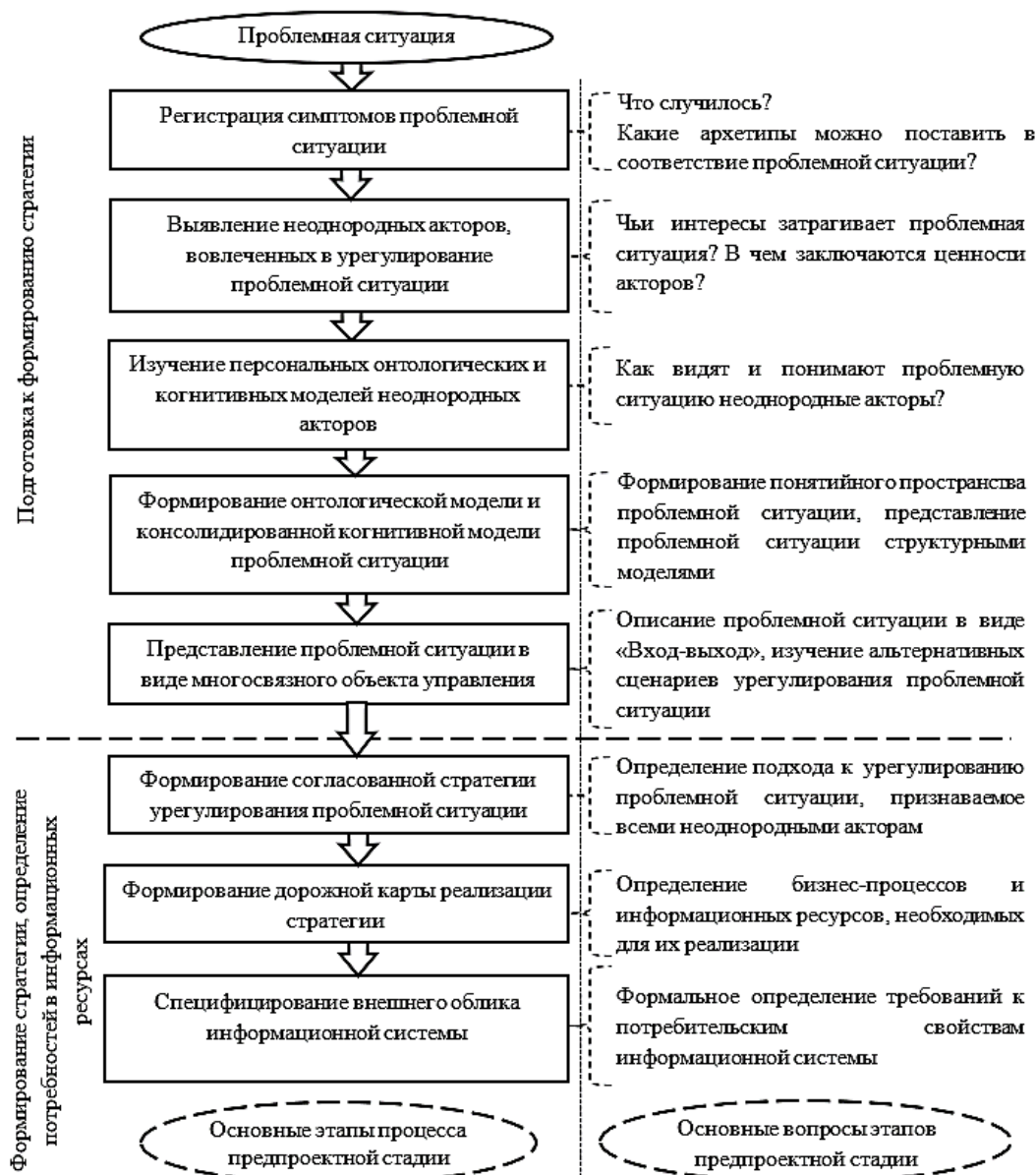


Рис. 7 Системная модель предпроектной стадии

К числу причин возникновения дефектов в спецификации внешнего облика помимо ошибок, обусловленных мыслительной деятельностью субъектов, можно отнести недостаток знаний об истинных причинах возникновения проблемной ситуации, ограниченность понятийного отображения проблемной ситуации, недостаточная потенциальность моделей, используемых для представления проблемной ситуации в виде многосвязного объекта управления. В совокупности выделенные причины формируют системную составляющую дефектов в спецификации внешнего облика ИС.

Рассмотрено содержание системных архетипов в задачах обеспечения функциональной надежности ИС. Описание проблемных ситуаций посредством системных архетипов способствуют её структуризации, создает предпосылки для её адекватного восприятия и как следствие выработки рациональных подходов к её урегулированию. Полученные при исследовании структурированных проблемных ситуаций результаты создают основу для построения в различной степени формализованных знаковых моделей. Поскольку дефекты начинают возникать на предпроектной стадии, важно распознать ситуационную проблему для чего и предложен аппарат системных архетипов.

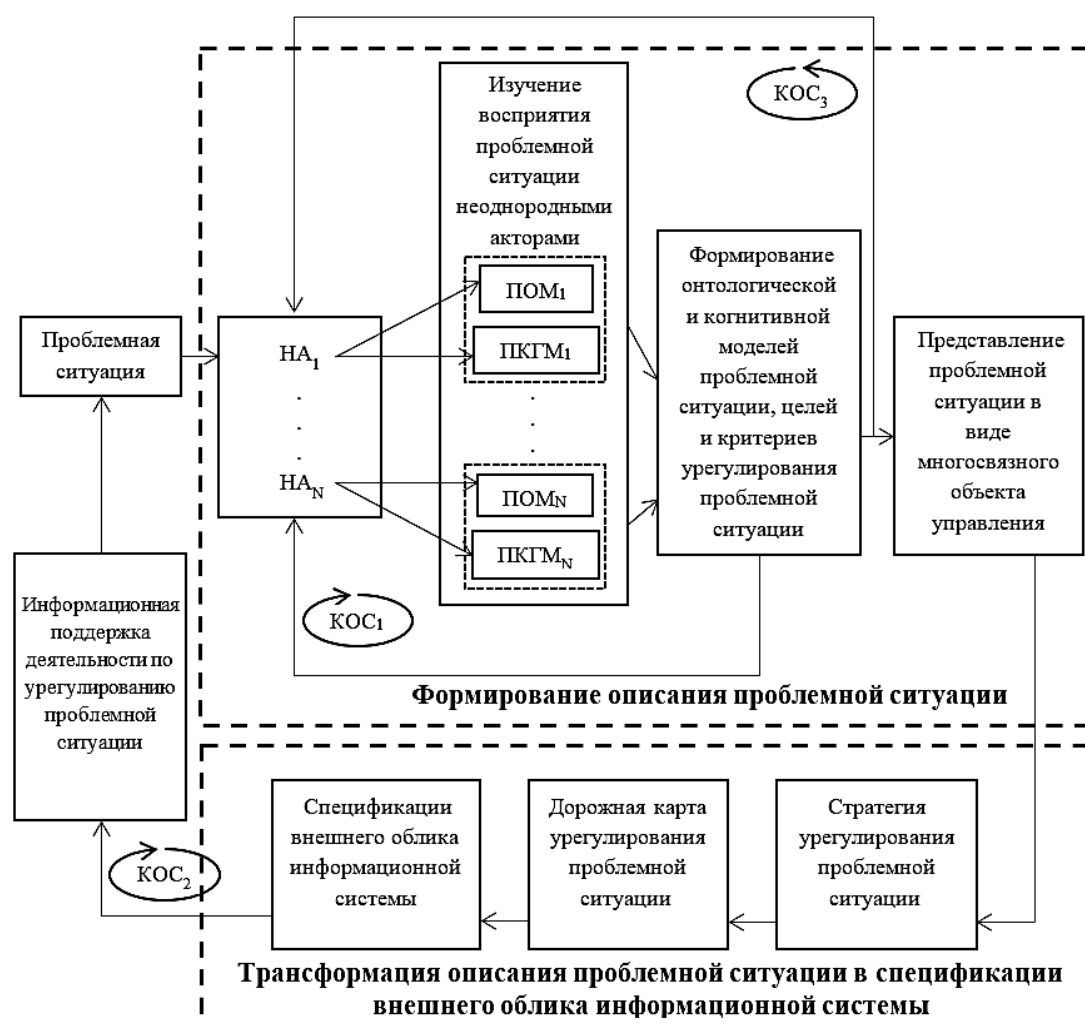


Рис. 8 Системная модель формирования понятийного пространства, стратегии и внешнего облика ИС

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ НАДЕЖНОСТЬ ИС

Для описания пространства проблемных ситуаций используется набор системных архетипов, описанный в литературе.

Разработана взаимосвязанная совокупность структурных моделей обеспечения функциональной надежности ИС. Наличие архетипа позволяет построить разные модели для разных стратегий борьбы с дефектами (с барьерами и без барьеров и др.).

Исследование свойств подсистем обращения с дефектами на основе системных архетипов предполагает реализацию следующих этапов:

- построение архитектуры подсистемы в соответствии с выбранной стратегией обращения с дефектами;
- построение на основе архитектуры знаково-ориентированной модели, исходя из того, что концепты и отношения между ними являются многосвязными объектами;
- исследование свойств полученной знаково-ориентированной модели на основе соотношения: $\vec{c}_{k+1} = \vec{c}_k * \|H\|$, где $\vec{c}_{k+1}$ – вектор состояния узлов знакоориентированного графа на $(k + 1)$ -й итерации ($k = 0, 1, 2, \dots$); $\|H\|$ – матрица, характеризующая отношения между узлами знаково-ориентированного графа.

Рассматривались различные стратегии предотвращения дефектов. Пример реализации одной из стратегий показан на рис. 9.

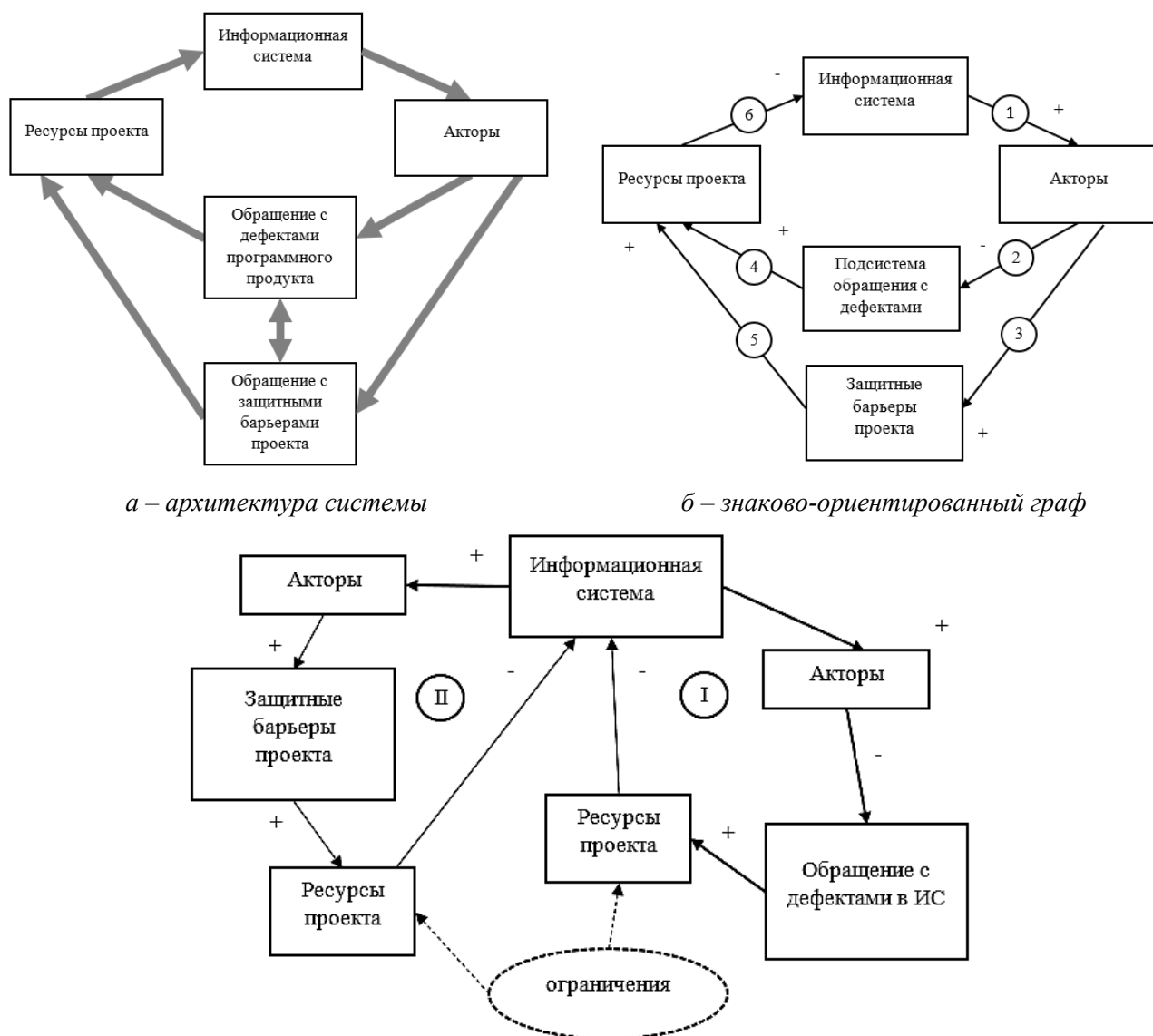


Рис. 9 Взаимосвязанная совокупность структурных моделей

Идея функционирования такой системы следующая: защитные барьеры не уменьшают количества латентных дефектов, но способствуют сохранению ресурсов за счет того, что препятствуют преобразованию дефектов в негативные последствия.

Предложена формальная модель ошибок предпроектной стадии (рис. 10), выполнена ее верификация. Выявлены ключевые факторы возникновения ошибок.

Показано, что существует предел возможностей по предупреждению возникновения ошибок и устранения дефектов (архетип «Пределы роста»), обусловленный как неопределенностью проблемной ситуации, так и компетентностью разработчиков.

Предложенная модель позволяет сделать следующие заключения:

- необходим баланс в распределении усилий по борьбе с ошибками разной природы, невозможно обеспечить высокое качество спецификаций только лишь за счет борьбы с ошибками, не совершенствуя при этом организацию системы исследования проблемной ситуации;
- дефекты, с одной стороны, являются фактором, снижающим ценность ИС, с другой стороны, являются фактором совершенствования системы изучения проблемной ситуации за счет получения новых знаний.

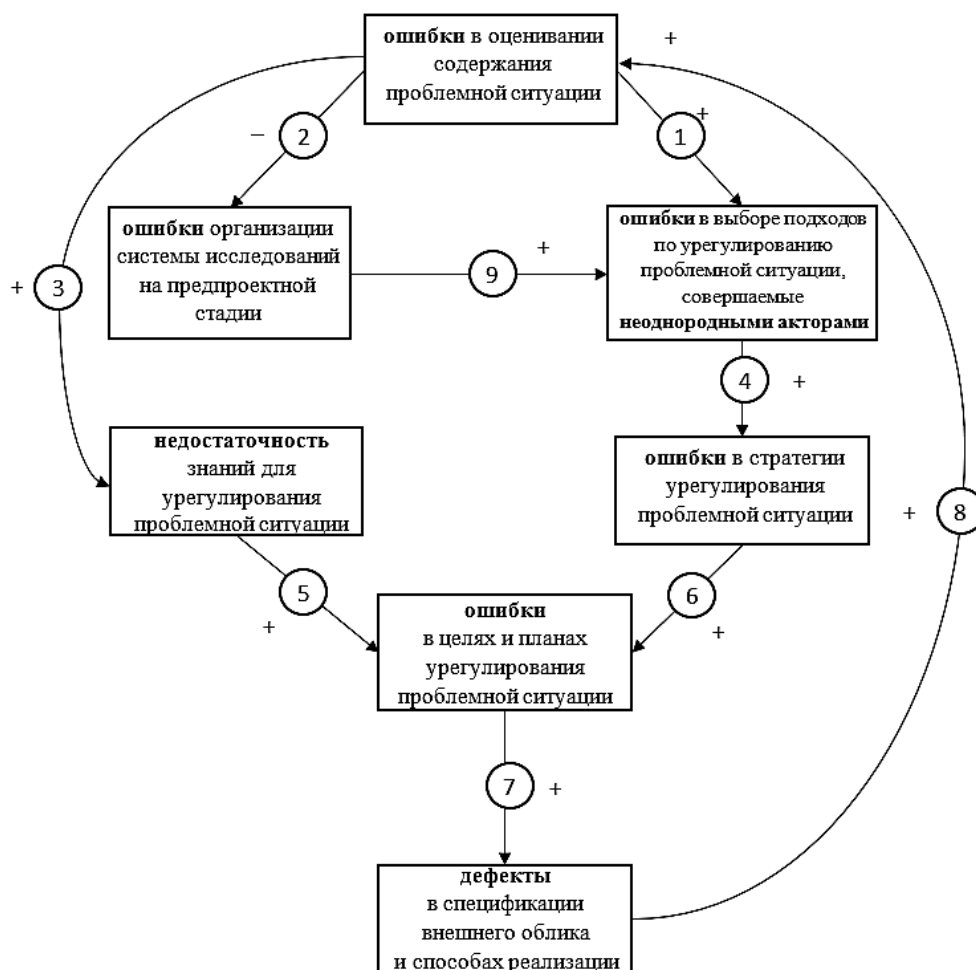


Рис. 10 Формальная модель ошибок предпроектной стадии

Разработана модель формирования структуры интегрального показателя, характеризующего совокупное влияние факторов, как способствующих, так и препятствующих повышению функциональной надежности в рамках ресурсного подхода и системного архетипа «Пределы роста» (рис. 11).

Здесь $D_k^{(i)}$, $(i = \overline{1; N})$ – факторы, препятствующие устранению дефектов; $\Phi_k^{(j)}$, $(j = \overline{1; M})$ – факторы, способствующие устранению дефектов; k – признак фазы жизненного цикла ИС; R_k, D_k – интегральные характеристики, соответствующие факторам, препятствующим и способствующим устранению дефектов. Линия, разделяющая круг, соответствует интегральному показателю γ_k .

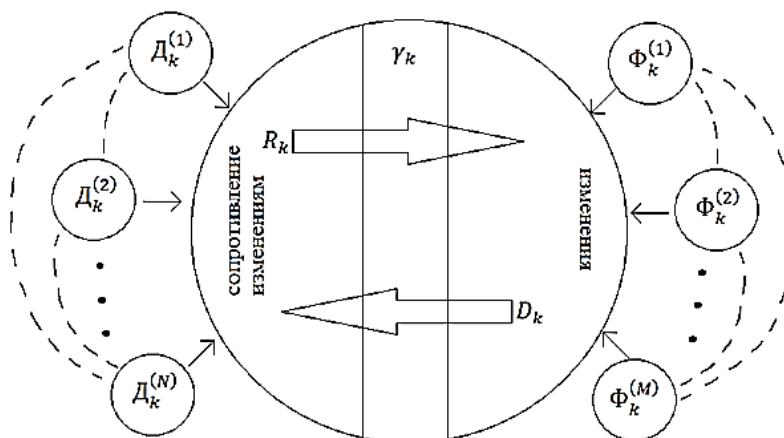


Рис. 11 Системный архетип «Пределы роста»

В рамках ресурсного подхода предложен способ представления в едином виде (законе распределения временных затрат на реализацию/парирование действия) различных факторов, влияющих на состояние объекта управления. Сочетание системных архетипов, ресурсного подхода и модели НоQ, позволяет повысить степень формализации исследований, ориентированных на оценку влияния качества управления проектом на функциональную надежность ИС.

Системной модели можно поставить в соответствие структурную модель «Дом качества» (House of Quality – HoQ) (рис. 12).

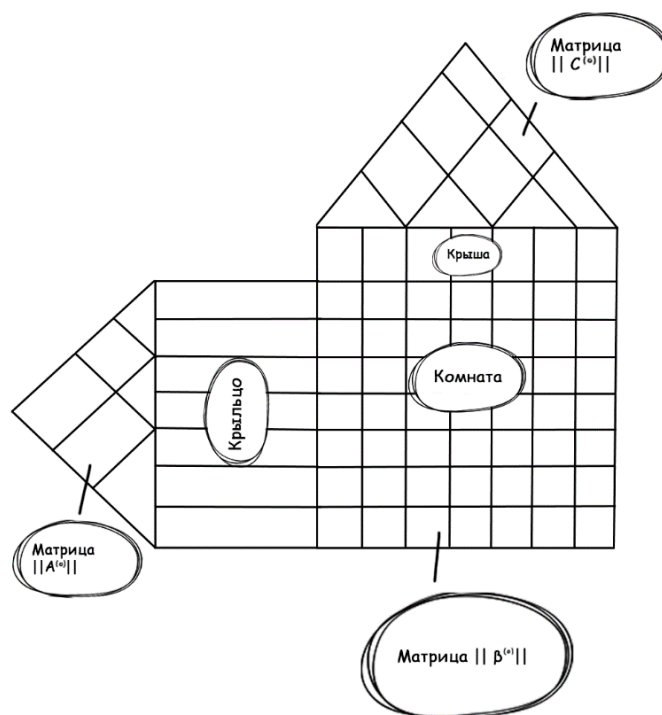


Рис. 12 Структурная модель «Дом качества»

Здесь «Крыльцо» – 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; «Крыша» – компоненты вектора $\|\gamma_k\|_1^L$ (соответствующего

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

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

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

Интегральный показатель функциональной надежности, формируемый в результате действия как развивающих, так и препятствующих развитию факторов представляется в виде

$$\gamma_k = \exp R_k - D_k.$$

Разработаны контурные модели проблемных ситуаций, связанных с обеспечением функциональной надежности ИС. В соответствии с контурным представлением, поведение системы определяется сложным взаимодействием усиливающих и ослабляющих контуров, возникающих в системах с обратными связями. Представление проблемных ситуаций, связанных с обеспечением функциональной надежности, в виде контурных моделей позволяет перейти от качественного описания ситуаций к математическим моделям, позволяющим получить количественные оценки отдельных ситуаций. Контурная модель, соответствующая архетипу «Пределы роста» (рис. 13), показана на рис. 14.



Рис. 13 Системный архетип «Пределы роста»

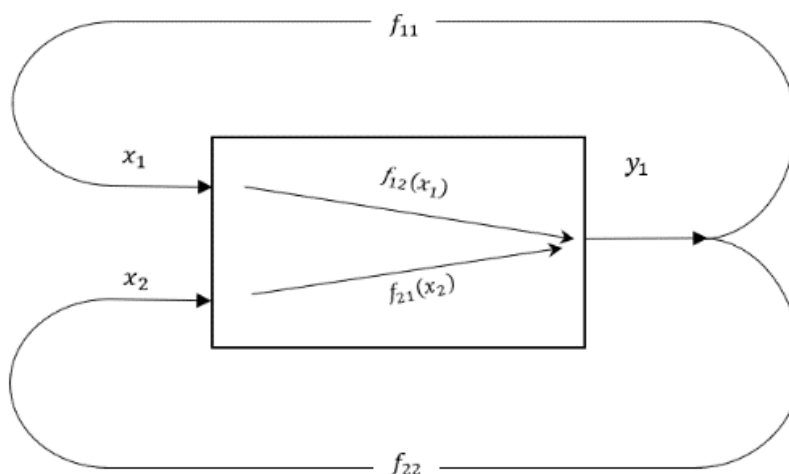


Рис. 14 Контурная модель

Входными параметрами модели являются: x_1 – факторы, стимулирующие повышение надежности ИС; x_2 – факторы, препятствующие повышению надежности ИС. Выходным

параметром является y_l – оценка уровня надежности, т. е. эмерджентные свойства, возникающие в результате сложных взаимодействий стимулирующих и препятствующих факторов.

Содержание этого архетипа применительно к задачам обеспечения функциональной надежности, сводится к тому, что, с одной стороны, имеет место стремление развивать и совершенствовать потребительские свойства ИС, 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 ИС), возникает противодействие расходованию ресурсов на решение задач обеспечения надежности (стабилизирующий цикл, условия, препятствующие улучшению).

Предложены динамические модели проблемных ситуаций, связанных с обеспечением функциональной надежности, проведены исследования влияния соотношения показателей состояния ИС $h_k^{(t)}$ и организации проекта γ_k (фрагмент результатов показан рис. 15).

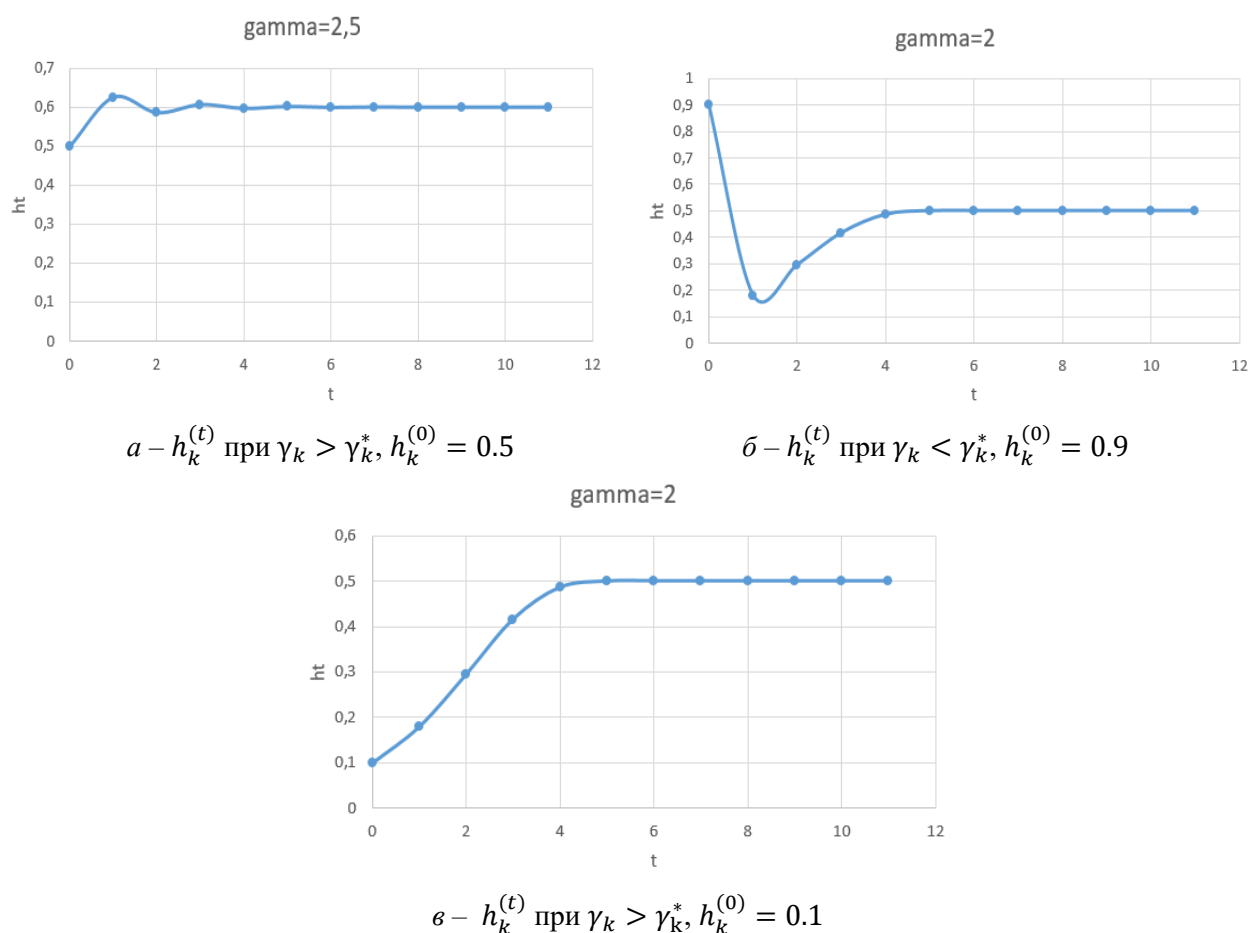


Рис. 15 Фрагмент результатов исследования влияния соотношения показателей состояния ИС $h_k^{(t)}$ и организации проекта γ_k

Содержательно $0 < h_k^{(t)} < 1$ соответствует тому, что для пользователя представляют интерес лишь системы, содержащие работоспособные функции.

Наличие взаимосвязанной совокупности моделей позволяет оценить последствия различных организационных решений, иными словами, создают основу для предупреждения возникновения латентных дефектов организационной природы, влекущих за собой наиболее тяжелые негативные последствия.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ИС НА ПРЕДПРОЕКТНОЙ СТАДИИ

Разработан комплекс методов обеспечения функциональной надежности, включающий: метод построения многомерных зависимостей; метод оценки состояния функциональной надежности информационных сервисов с учетом субъективных оценок пользователей; метод структурного моделирования последствий отказов.

Предложен *метод построения многомерных зависимостей*. Основу метода составляет преобразование исходных данных, изначально представляемых в разной форме, к виду закона распределения непрерывной случайной величины.

Это делает возможным построение на основе попарного исследования законов распределения случайных величин совокупности одномерных непараметрических регрессионных зависимостей. Полученные регрессионные зависимости служат основой формирования таблицы совместно наблюдаемых значений независимой и зависимой случайных величин, что позволяет строить многомерные регрессионные зависимости известными методами.

При решении практических задач приходится сталкиваться с ситуацией, когда формирование таблиц совместно наблюдаемых значений встречает ряд трудностей. В таких условиях недостаток измерительных данных приходится компенсировать экспертными оценками разного вида: в виде ожидаемых значений; в виде интервала возможных значений, в виде совокупности ожидаемых значений и интервала возможных значений случайной величины. Фрагмент полученных результатов в виде многомерных зависимостей показан на рис. 16.

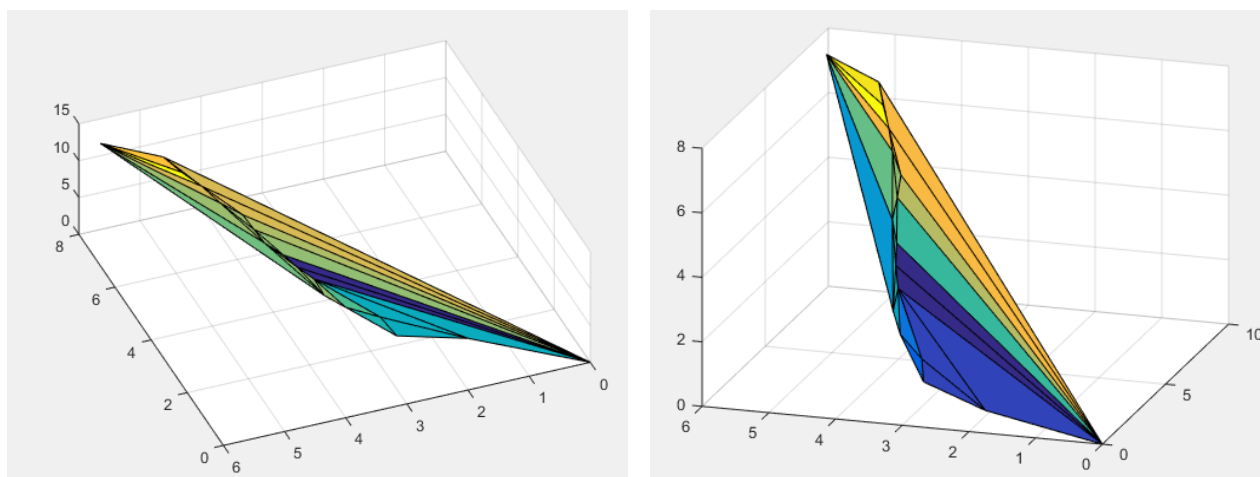


Рис. 16 Построенные многомерные функциональные зависимости

Предложенный метод позволяет построить многомерные регрессионные зависимости в случае, когда исходные данные, соответствующие разным компонентам векторов независимой и зависимой переменных, представляются в виде результатов измерений, либо в виде разных по форме экспертных оценок.

Разработан *метод оценки функциональной надежности информационных сервисов* с учетом субъективных оценок пользователей.

Одним из базовых положений управления функциональной надежностью ИС является постоянное отслеживание соответствия потребительских свойств целям и ценностям пользователей, что, в частности, предполагает постоянное отслеживание степени удовлетворенности пользователей надежностью ИС.

При реализации сетецентрического управления и создании единого информационного и управленческого пространства целесообразно рассматривать не функции, а сервисы. Основная идея подхода, состоящего в обеспечении функциональной надежности информационных сервисов, заключается в учете восприятия свойств сервисов пользователями для того, чтобы

определить, как эти сервисы улучшить. Особенность такого подхода заключается в учете субъективной составляющей при оценивании надежности одних и тех же сервисов разными пользователями.

Под профилем понимается полное множество альтернатив (например, множество альтернативных категорий пользователей, функций и т. п.), для каждой из которых существует вероятность появления (рис. 17). Содержание профилей сводится к стремлению взглянуть на ИС глазами пользователей.

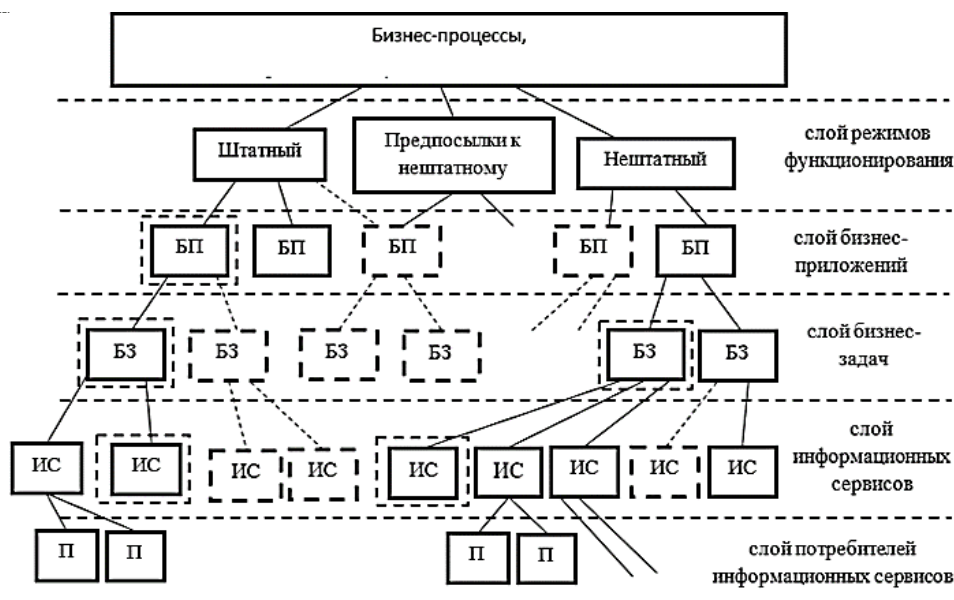


Рис. 17 Профиль информационных сервисов

Одной из важнейших характеристик, которую необходимо учитывать при распределении ресурсов, в частности временных, на разработку новых информационных сервисов и улучшение уже существующих, является степень покрытия бизнес-задач информационными сервисами. Степень покрытия (СП) бизнес – задач информационными сервисами (ИС):

$$СП_i^{(БЗ)} = \frac{ИС_i^{(P)}}{ИС_i^{(P)} + ИС_i^{(ПП)}},$$

где $ИС_i^{(P)}$ – число реализованных ИС; $ИС_i^{(ПП)}$ – число предполагаемых к реализации ИС.

Для оценивания характеристик надежности на основе субъективных оценок пользователей предлагается использовать подход, основанный на функции принадлежности лингвистической шкалы (рис. 18).

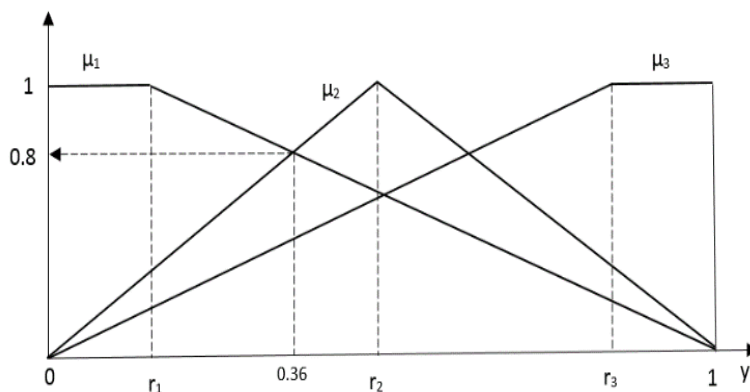


Рис. 18 Функция принадлежности

Совокупная оценка надежности:

$$D^{(m)} = \frac{\sum_{k=1}^{N_m} \mu_k^{(l)} * r_l^{(k)}}{\sum_{k=1}^{N_m} \mu_k^{(l)}},$$

где N_m – количество пользователей, принадлежащих m -й целевой группе; $\mu_k^{(l)}$ – степень уверенности k -го пользователя в даваемой оценке.

Лингвистическая шкала в терминах, которой пользователи, принадлежащие к одной и той же m -й целевой группе, оценивают свою удовлетворенность потребительскими свойствами продукта имеет вид: {«низкая»; «средняя»; «высокая»}. Каждому значению шкалы соответствует своя нечеткая функция принадлежности μ , определенная на оси вероятности безотказной работы информационного сервиса. Каждый потребитель выражает свою точку зрения о надежности информационного сервиса и своей степени уверенности в этом. Для выбора функции принадлежности предлагается подход, основанный на принципе объективности (принцип максимизации энтропии). Предлагается использовать функцию принадлежности треугольного вида с одинаковыми границами, совпадающими с границами оси $y \in [0; 1]$.

Таким образом, предлагаемый подход позволяет получить количественные оценки надежности информационных сервисов на основе экспертных оценок пользователей. Практической направленностью предлагаемого метода является определение приоритетных направлений повышения функциональной надежности.

Предложен метод структурного моделирования последствий отказов функциональных компонент ИС. Совместное использование схем сопряжения агрегатов и таблиц истинности создает основу для построения структурных моделей, обеспечивающих моделирование отказов в рамках как нисходящего (дерево неисправностей FTA, модели причинно-следственных связей Fishbone), так и восходящего подходов к исследованию функциональной надежности (дерево событий ETA). Подход позволяет провести оценку возможных последствий отказов в ИС по различным критериям функциональной надежности для различных схем построения ИС на предпроектной стадии.

На рис. 19 показан пример построения схемы сопряжения, каждый из этапов представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих функциональных компонентов.

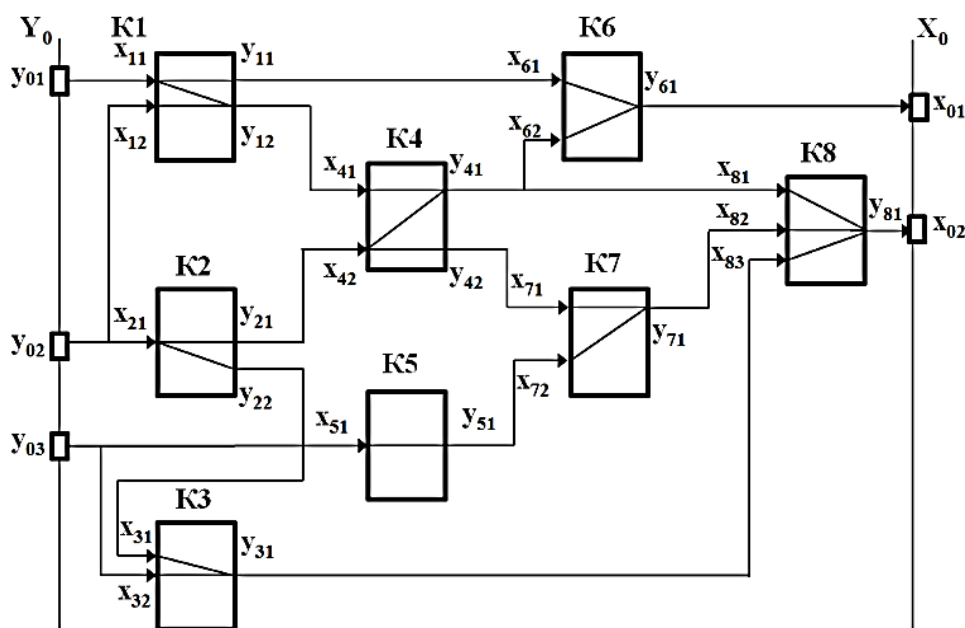


Рис. 19 Схема сопряжения

Здесь x_{km} – входные контакты компонентов и внешней среды; y_{km} – выходные контакты компонентов и внешней среды; k – признак компонента (для внешней среды $k = 0$); m – признак входа/выхода компонента.

В свою очередь, каждому из компонентов ставится в соответствие таблица истинности (примеры таблиц истинности, соответствующих компонентам К1 и К8, представленных на рис. 19, представлены на рис. 20). В таблицах «0» соответствует ошибке, «1» корректному состоянию.

К1	inputs		outputs		К8	inputs			outputs
	x ₁₁	x ₁₂	y ₁₁	y ₁₂		x ₈₁	x ₈₂	x ₈₃	y ₈₁
	0	0	0	0		0	0	0	0
	0	1	0	0		0	0	1	0
	1	0	1	0		0	1	0	0
	1	1	1	1		0	1	1	0
						1	0	0	0
						1	0	1	0
						1	1	0	0
						1	1	1	1

Рис. 20 Таблица истинности

С целью разноаспектного анализа функциональной надежности ИС на предпроектной стадии предложена схема анализа событий в рамках Anticipatory Failure Determination (AFD) в виде систематической процедуры для выявления уязвимых мест в ИС (т. е. выявление мест, в которых целесообразно устанавливать «барьеры»).

МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЕКТА ИС

Разработка математико-статистических моделей для определения базовых характеристик проекта ИС как многосвязного объекта выполняется на основе исторических данных о реализованных проектах. Основу построения статической модели проекта (рис. 21) составляет рассмотрение его как многосвязного объекта управления.

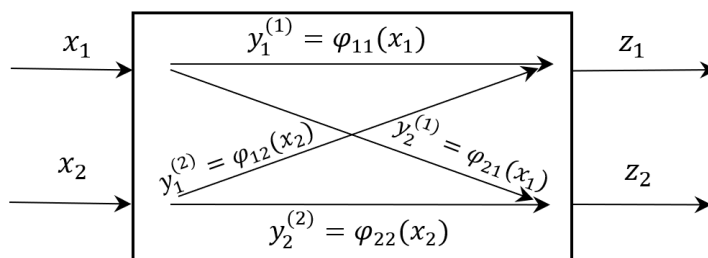


Рис. 21 Модель проекта как многосвязного объекта управления

Входные параметры: x_1 – бюджет проекта; x_2 – длительность реализации проекта. Выходные параметры: z_1 – характеристика удовлетворенности пользователей/заказчиков; z_2 – характеристика удовлетворенности разработчиков. Характеристики z_j ($j = 1, 2$) и параметры x_i ($i = 1, 2$) связаны функциональными зависимостями $z_j = \Phi_j(x_1, x_2)$. Эмпирические функциональные зависимости $y_j^{(i)} = \varphi_{ij}(x_i)$, ($i, j = 1, 2$), соответствуют прямым и перекрестным связям многосвязного объекта, являются строгими, строятся на основе измерительных данных и экспертных оценок относительно потребительских свойств созданных продуктов и хода ранее реализованных проектов. Совместное влияние входных характеристик x_i на выходные

определяется на основе функциональных зависимостей, характеризующих прямые и перекрестные связи:

$$y_j^{(i)} = \varphi_{ij}(x_i) : A^{(j)} : \{y_j^{(i)} = \varphi_{ij}(x_i)\} \rightarrow z_j = \Phi_j(x_1, x_2), i, j = 1, 2,$$

где $A^{(j)}$ – оператор свертки, соответствующий j -му выходному параметру модели.

Область допустимых значений для характеристики удовлетворенности y_j – интервал $y_j \in [0, 1], j = 1, 2$. Нижняя граница интервала соответствует варианту, когда субъекты (потребитель/исполнитель) абсолютно не удовлетворены результатами /ходом проекта. Верхняя граница интервала соответствует их абсолютной удовлетворенности.

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.

Формально описать такую ситуацию можно посредством системного архетипа «Случайные противники» (рис. 22). Этому архетипу может быть поставлено в соответствие контурное описание (рис. 23), основу которого составляет точка зрения на систему управления проектом как на многосвязную систему. Далее математическими методами определяются 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.

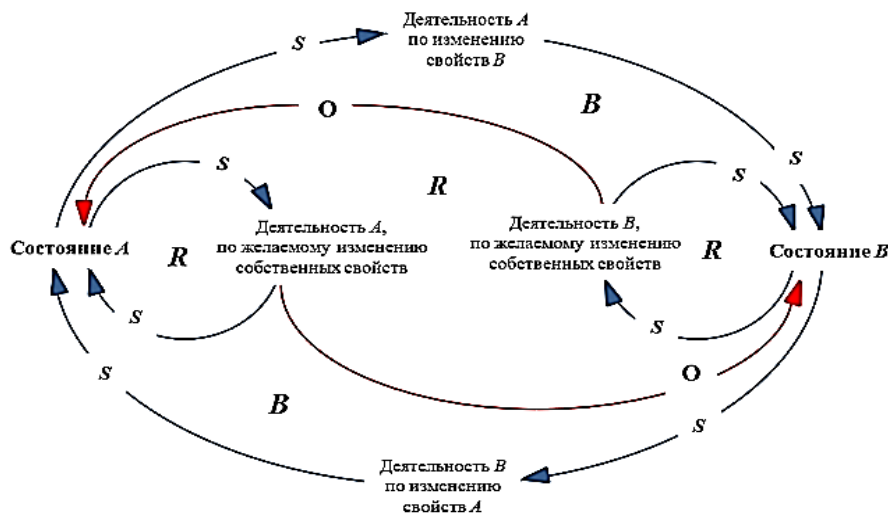


Рис. 22 Архетип «Случайные противники»

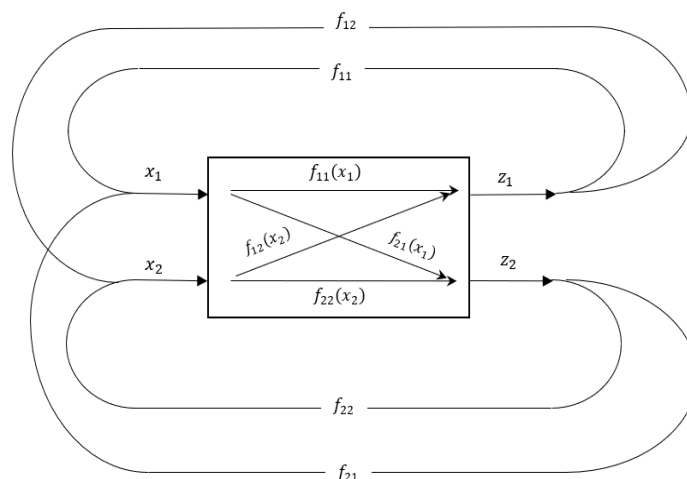


Рис. 23 Контурное описание архетипа «Случайные противники»

Результаты демонстрационных вычислительных экспериментов (фрагмент результатов представлен на рис. 24) показывают возможность прогнозировать характер проявления проблемных ситуаций в зависимости от организации проекта.

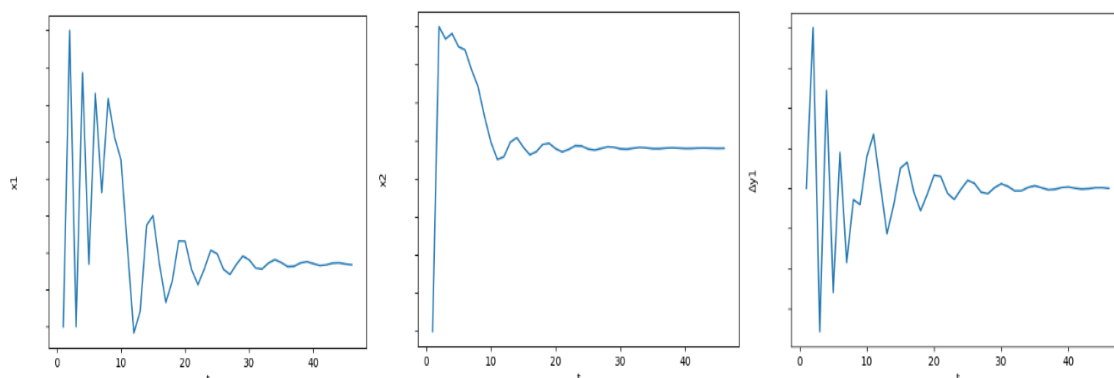


Рис. 24 Пример результатов моделирования динамики изменения выходных параметров

Разработана формальная схема оценки согласованности мнений неоднородных акторов. В качестве инструмента оценки согласованности мнений неоднородных акторов на предпроектной стадии используются системные архетипы, модель «Дом качества» (HoQ) (рис. 25), а также коэффициенты корреляции: ранговые, парциальные и множественные. Изменение значений коэффициентов корреляции показано на рис. 26.

			-0.44
		0.17	0.37
	Актор 1	Актор 2	Актор 3
Архетип 1 «Задержка действий»	5	3	3
Архетип 2 «Пределы роста»	8	1	6
Архетип 3 «Подмена проблемы»	4	2	5
Архетип 4 «Размывание целей»	10	6	1
Архетип 5 «Эскалация»	3	7	9
Архетип 6 «Успех к успеху»	7	10	10
Архетип 7 «Трагедия общих ресурсов»	1	5	7
Архетип 8 «Симптоматические решения»	9	8	2
Архетип 9 «Рост и недоинвестирование»	2	4	4
Архетип 10 «Случайные противники»	6	9	8

а – «Дом качества» до начала обсуждений проблемной ситуации

			0.88
		0.91	0.88
	Актор 1	Актор 2	Актор 3
Архетип 1 «Задержка действий»	4	1	2
Архетип 2 «Пределы роста»	3	4	1
Архетип 3 «Подмена проблемы»	1	3	3
Архетип 4 «Размывание целей»	2	2	4
Архетип 5 «Эскалация»	6	5	7
Архетип 6 «Успех к успеху»	7	7	5
Архетип 7 «Трагедия общих ресурсов»	5	6	6
Архетип 8 «Симптоматические решения»	8	9	9
Архетип 9 «Рост и недоинвестирование»	10	10	10
Архетип 10 «Случайные противники»	9	8	8

б – «Дом качества» после второго дискурса

Рис. 25 Вид HoQ на разных этапах дискурсов

Коэффициенты корреляции являются индикаторами степени схожести точек зрения неоднородных акторов на факторы проблемной ситуации. Множественные коэффициенты корреляции рассматриваются как характеристики степени согласованности мнений отдельного актора с мнениями других акторов. Парциальные коэффициенты корреляции рассматриваются как степень согласованности мнений между парами акторов.

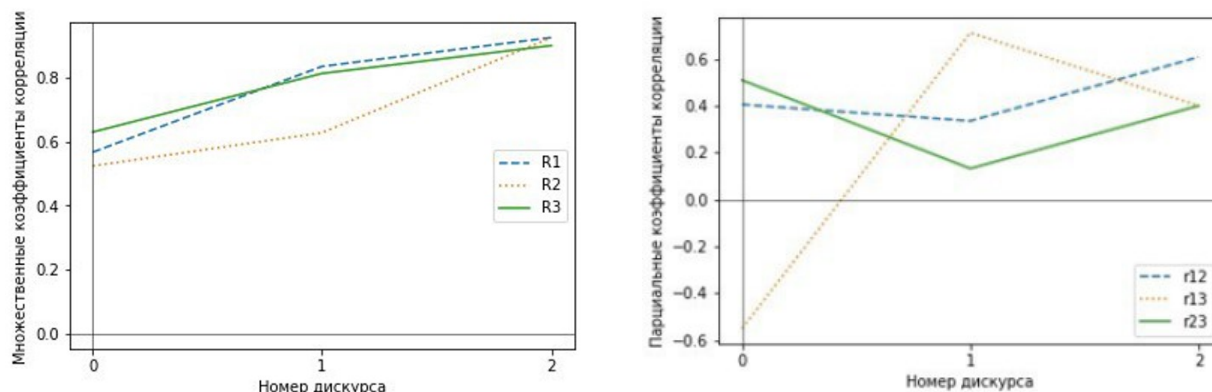


Рис. 26 Изменение значений коэффициентов корреляции

Предлагаемый подход к оценке степени совпадения точек зрения неоднородных акторов на основе их понимания значимости проблемной ситуации позволяет определить знак тенденции и скорость сходимости (в случае положительной тенденции), что делает возможным оценить качество организации дискурсов, а также временные затраты на достижение приемлемого совпадения взглядов неоднородных акторов.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ИС

На основе предложенных принципов и подходов к обеспечению функциональной надежности выявлены факторы функциональной надежности локальных ИС при формировании единого информационного пространства компании. Проведен кластерный анализ поступивших запросов в службу поддержки с целью выполнения анализа ошибок, с которыми встречаются пользователи. На основе выделенных кластеров запросов, построена диаграмма Исикавы, построены деревья отказов (FTA), способствующие разноаспектному комплексному изучению факторов, выявляя первопричины и формируя представление о проблемной ситуации. Благодаря сочетанию технологий RCA и FTA достигается системный эффект, что способствует повышению функциональной надежности ИС. Полученные результаты легли в основу типовых инструкций по сопровождению локальных ИС. Результаты расчётов коэффициента готовности показали, что проведенные мероприятия позволили сократить количество отказов более чем в три раза, среднее время восстановления уменьшилось на 60 %, а коэффициент готовности возрос с 89 % до 98,4 %, что подтверждает высокую эффективность принятых мер.

На основе полученных теоретических результатов предложена методика формальной оценки возможности реализации проекта, позволяющая на предпроектной стадии оценить предполагаемую удовлетворенность заказчика результатами проекта, а исполнителей – ходом проекта в зависимости от бюджета и ограничений на длительность проекта с учетом опыта, полученного от ранее реализованных проектов. Основу методики составляет нахождение таких параметров проекта (бюджета и длительности реализации), при которых уровень удовлетворенности заказчика и исполнителя не ниже некоторых заданных значений.

В соответствии с методикой формальной оценки, реализация проекта возможна лишь в условиях сбалансированности параметров проекта заказчика и исполнителя (что выражается значениями α и β) и сопоставимости персонального опыта как заказчика, так и исполнителя,

накопленного ими при реализации прежних проектов (что выражается посредством функциональных зависимостей). Применение методики формальной оценки возможности реализации проекта позволяет получить экономический эффект за счет сокращения сроков предпроектной стадии (на 14%) и повышения обоснованности параметров проекта.

Разработана методика и прототип программного обеспечения для анализа моделей проектируемых функциональных компонент ИС по критериям функциональной надежности. В основе методики полученные теоретические результаты, основу которых составляет метод структурного моделирования последствий отказов на основе схем сопряжения. Функционал прототипа направлен на обеспечение анализа отказов, начиная с визуализации взаимосвязей между компонентами ИС и заканчивая исследованием причин возникновения отказов. С целью описания логики работы программы разработаны объектно-ориентированные модели. В качестве CASE-средства проектирования UML-диаграмм использовалось инструментальное средство draw.io, программа реализована на языке Python.

Применение методики и прототипа программы для анализа моделей проектируемых функциональных компонент ИС по критериям функциональной надежности, позволяет построить простую и наглядную модель структуры ИС и избавиться от трудоемкого и затратного по времени процесса ручного построения структурных моделей отказов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования разработаны теоретические, методологические и модельные основы обеспечения функциональной надежности ИС на предпроектной стадии. Сделаны следующие выводы и получены результаты:

1. Разработана методология обеспечения функциональной надежности ИС на предпроектной стадии, основанная на интеграции системного, архитектурного, динамического и других общенаучных подходов и принципов. Предложенная методология отличается тем, что она объединяет в себе реактивный и проактивный подходы к обеспечению функциональной надежности ИС на предпроектной стадии. В рамках системного подхода разработаны концептуальные основы обеспечения функциональной надежности, отличающиеся от известных подходов, тем, что с единых позиций позволяют рассмотреть стратегии, реализующие реактивный и проактивный подходы. Впервые сформулированы принципы и подходы к обеспечению функциональной надежности ИС как разновидности сложных систем. В совокупности это позволило сформировать методологическую основу для исследования структуры проблемных ситуаций, связанных с обеспечением функциональной надежности ИС на предпроектной стадии. Представленные результаты опубликованы в [Беж22, Gvo14, Gvo156, Gvo16, Гуз13].

2. На основе положений эвергетики и системной интеграции *V*-модели жизненного цикла и подхода QFD (функции развертывания качества), реализованного в виде модели «Дом качества» – НоQ, разработаны новые системные модели предпроектной стадии. Разработанный комплекс системных моделей предпроектной стадии отличается тем, что является основой для выработки консолидированного мнения неоднородных акторов относительно внешнего облика ИС, а также позволяет в единой форме представить преобразования дефектов при переходах на разные стадии жизненного цикла. Комплексное использование системных моделей позволяет повысить прозрачность содержания ожидаемых результатов проекта для заинтересованных сторон. Представленные результаты опубликованы в [Гво206, Беж22, Кри17].

3. Разработаны структурные модели процессов обеспечения функциональной надежности ИС, основанные на системном сочетании архитектурного подхода и анализе структурных свойств, отличаются тем, что пространство проблемных ситуаций, связанных с обеспечением функциональной надежности, формируется на основе системных архетипов.

Разработана формальная модель ошибок предпроектной стадии и выполнена ее верификация. Предложенной модели поставлен в соответствие архетип «Пределы роста», из чего следует, что существует предел возможностей по предупреждению дефектов. Предлагаемый подход отличается тем, что источники ошибок и дефектов выявляются на предпроектной стадии,

в отличие от известных подходов, которые ориентируются на то, что проект начинается с разработки и реализации технического задания.

Разработаны контурные и динамические модели проблемных ситуаций, связанных с обеспечением функциональной надежности ИС на основе системных архетипов, отличаются тем, что системные архетипы представляются совокупностью контурных моделей, весовые характеристики которых определяются математико-статистическими методами, это позволяет перейти от качественного описания ситуаций к математическим моделям, позволяющим получить количественные оценки отдельных ситуаций.

В рамках ресурсного подхода предложена модель формирования интегрального показателя, характеризующего совокупное влияние факторов, как способствующих, так и препятствующих повышению функциональной надежности, отличается тем, что представляет собой системное сочетание модели «Дом качества» и системных архетипов. Это позволяет повысить степень формализации исследований, ориентированных на оценку влияния качества управления проектом на функциональную надежность ИС.

Представленные результаты опубликованы в [Гво206, Гво216, Гво22, Гво23а, Gvo21].

4. Разработаны методы обеспечения функциональной надежности ИС на предпроектной стадии, включающие:

- метод построения многомерных регрессионных зависимостей отличающийся от известных тем, что исходные данные, соответствующие разным компонентам векторов независимой и зависимой переменных, представляются либо в виде результатов измерений, либо в виде разных по форме экспертных оценок. Основу метода составляет преобразование исходных данных, изначально представляемых в разной форме, к виду закона распределения непрерывной случайной величины.

- метод оценки функциональной надежности информационных сервисов с учетом субъективных оценок пользователей, основанный на концепции профилей. Основу метода составляет преобразование различных по форме исходных данных к единому виду. Данный подход отличается от существующих тем, что позволяет получать метрические оценки надежности информационных сервисов на основе совокупного использования как измерительных данных, так и субъективных оценок пользователей. Это делает возможным обоснованное определение направления повышения функциональной надежности.

- метод структурного моделирования последствий отказов функциональных компонент ИС, отличающийся от известных методов совместным использованием аппарата схем сопряжения и таблиц истинности. Это создает основу для построения структурных моделей, обеспечивающих моделирование отказов в рамках как нисходящего, так и восходящего подходов к исследованию. Метод позволяет провести оценку возможных последствий отказов по различным критериям функциональной надежности для разных схем построения ИС на предпроектной стадии.

Представленные результаты опубликованы в [Гво19, Гво20а, Гво20в, Гво15а, Gvo19, Gvo20а, Gvo23].

5. Предложена статическая модель проекта как многосвязного объекта управления основанная на том, что состояние проекта характеризуется совокупностью прямых и перекрестных связей между входными и выходными параметрами, отличается тем, что характеристики прямых и перекрестных связей определяются на основе исторических данных о ранее реализованных проектах, представленных в виде числовых характеристик, и субъективных оценок лиц, причастных к реализации прежних проектов. Предложенная формальная модель дает возможность повысить обоснованность принятия стратегических решений по организации проекта основными заинтересованными сторонами.

Предложен подход к оцениванию согласованности точек зрения неоднородных акторов на основе их субъективного восприятия значимости проблемных ситуаций, отличается тем, что для основы формализации описания видений неоднородных акторов объединяет в себе системные архетипы и модель «Дом качества» – НоQ. В качестве индикаторов изменения

степени согласованности точек зрения выступают парциальное и множественный коэффициенты корреляции. Предложенная схема формирования метрических характеристик степени согласованности мнений неоднородных акторов создает основу для мониторинга хода выработки консолидированного мнения неоднородными акторами о внешнем облике ИС, что сокращает длительность предпроектной стадии.

Представленные результаты опубликованы в [Гво20г, Чер21, Гво25а, Gvo20b, Gvo20c].

6. На основе предложенных принципов и подходов к обеспечению функциональной надежности выявлены факторы функциональной надежности ИС при формировании единого информационного пространства компании.

В рамках барьерного подхода к предотвращению организационных дефектов предложена методика формальной оценки возможности реализации проекта, отличается тем, что позволяет на предпроектной стадии оценить предполагаемую удовлетворенность заказчика результатами проекта, а исполнителей – ходом проекта в зависимости от бюджета и ограничений на длительность проекта с учетом опыта, полученного от ранее реализованных проектов. Это позволяет получить экономический эффект за счет сокращения сроков предпроектной стадии и повышения обоснованности параметров проекта.

На основе предложенного метода структурного моделирования последствий отказов на основе аппарата схем сопряжения и таблиц истинности разработана методика и программное обеспечение, отличается тем, что позволяет строить структурные модели в рамках как нисходящего (дерево неисправностей ФТА, модели причинно-следственных связей Fishbone), так и восходящего подходов к исследованию функциональной надежности (дерево событий ЕТА) и избавиться от трудоемкого и затратного по времени процесса ручного построения структурных моделей отказов.

Представленные результаты опубликованы в [Гво21а].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- | | | |
|----------|--|--|
| [And06] | Andersen B., Fagerhaug T. Root Cause Analysis. Quality Press, 2006. | Andersen B., Fagerhaug T. Root Cause Analysis. Quality Press, 2006. |
| [Anu18] | Anu V. K. Using Human Error Models to Improve the Quality of Software Requirements. North Dakota State University of Agriculture and Applied Science: Fargo, 2018. | Anu V. K. Using Human Error Models to Improve the Quality of Software Requirements. North Dakota State University of Agriculture and Applied Science: Fargo, 2018. |
| [Dup14] | Duphily R. Root Cause Investigation Best Practices Guide. Aerospace Report No. TOR-2014-02202, May 30, 2014. | Duphily R. Root Cause Investigation Best Practices Guide. Aerospace Report No. TOR-2014-02202, May 30, 2014. |
| [Gvo14] | Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya. Information support of user's requirements specification construction control // Вестник УГАТУ. 2014. Vol. 18, No. 5(66). P. 57–61. SZKZKB . | Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya. Information support of user's requirements specification construction control // Vestnik UGATU. 2014. V. 18, 5(66). P. 57–61. SZKZKB . (In Russian). |
| [Gvo19] | Gvozdev V. E., Chernyakhovskaya L. R., Bezhaeva O. Ya, Nasyrova R. A. Reliability analysis of information systems based on the concept of service profiles // Proc. 2019 XXI Int. Conf. CSCMP (Samara, Russia, September 2019). IEEE, 2019. P. 1-6. UTJNXZ . | Gvozdev V. E., Chernyakhovskaya L. R., Bezhaeva O. Ya, Nasyrova R. A. Reliability analysis of information systems based on the concept of service profiles // Proc. 2019 XXI Int. Conf. CSCMP (Samara, Russia, September 2019). IEEE, 2019. P. 1-6. UTJNXZ . |
| [Gvo20a] | Gvozdev V. E., Guzairov M. B., Bezhaeva O. Ya., et al. Ensuring the functional safety of the distributed dynamic systems components in the conditions of uncertainty of the environment use // Proc. Int. Conf. Electrotechnical Complexes and Systems, ICOECS. IEEE, 2020. P. 232-237. LHMMWQ . | Gvozdev V. E., Guzairov M. B., Bezhaeva O. Ya., et al. Ensuring the functional safety of the distributed dynamic systems components in the conditions of uncertainty of the environment use // Proc. Int. Conf. Electrotechnical Complexes and Systems, ICOECS. IEEE, 2020. P. 232-237. LHMMWQ . |
| [Gvo20b] | Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya., et al. The model of the innovative project as the multivariable control object // Advances in Intelligent Systems Research. 2020. Vol. 174. P. 278-282. 10.2991/aisr.k.201029.053 . | Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya., et al. The model of the innovative project as the multivariable control object // Advances in Intelligent Systems Research. 2020. Vol. 174. P. 278-282. 10.2991/aisr.k.201029.053 . |

- [Gvo20c] Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya., et al. Formation of balanced system of program project characteristics // *Advances in Intelligent Systems Research*. 2020. Vol. 174. P. 302-306. [10.2991/aisr.k.201029.057](#).
- [Gvo21] Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya. The studies of strategies for ensuring the functional safety of hardware and software complexes based on system archetypes and architecture models // *Proc. Int. Conf. Electrotechnical Complexes and Systems, ICOECS. IEEE*, 2021. P. 171-175. [EXUOFV](#).
- [Gvo23] Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya., Galimov R. R. Construction of signal transmission structures in information systems based on conjunction schemes // *Proc. 2023 Int. Ural Conf. Electrical Power Engineering, UralCon. IEEE*, 2023. P. 1-5. [10.1109/UralCon59258.2023.10291040](#).
- [Hu17] Hu W., Carver J., Anu V., et al. (2017). Defect prevention in requirements using human error information: an empirical study // *LNCS*. 10153. 61-76. [10.1007/978-3-319-54045-0_5](#).
- [Hua17] Huang F., Liu B. Software defect prevention based on human error theories // *Chinese Journal of Aeronautics*. 2017. No. 30. P. 1054-1070. [10.1016/j.cja.2017.03.005](#).
- [Kan94] Kanoun K., Laprie J. C. Software reliability trend analyses from theoretical to practical considerations // *IEEE Trans. Software Eng.* 1994. Vol. 20, No. 9. P. 740-747. [10.1109/32.317434](#).
- [Kap05] Kaplan S., Visnepolschi S., Zlotin B., Zusman A. *New Tools for Failure and Risk Analysis*. Ideation Int. Inc., 2005.
- [Lee12] Lee E. A., Anderson T. *Fault Tolerance, Principles and Practice*. Springer Sci. Bus. Media, 2012. 320 p.
- [Mor11] Morozov A., Janschek K. Dual graph error propagation model for mechatronic system analysis // *IFAC Proc.* 2011. Vol. 44, 9893-9898. [10.3182/20110828-6-IT-1002.03371](#).
- [Mor17] Morandini M., Penserini L., et al. Engineering requirements for adaptive systems // *Requirements Engineering*. 2017. No. 22(1). P. 77-103. [LQLBWY](#).
- [Pen02] Pentti H., Atte H. *Failure Mode and Effects Analysis of Software-Based Automation Systems*. STUK-YTO-TR190, 2002.
- [Rea90] Reason J. *Human Error*. Cambridge University Press, 1990. [10.1017/CBO9781139062367](#).
- [Sha00] Shappell S. A., Weigmann D. A. *The Human Factors Analysis and Classification System – HFACS*. Final Report. U. S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2000.
- [Son13] Soni R., Preet A. Cognitive approach to root cause analysis for improving quality of life: a case study for IT Industry // *Int. J. Informative and Futuristic Research*, 2013. No. 1.
- [Ste19] Steurer M., Morozov A., et al. Model-based dependability analysis of fault-tolerant inertial navigation system: a practical experience report // *IFAC-PapersOnLine*. 2019. [10.1016/j.ifacol.2019.11.275](#).
- [Thu15] Thurnes C., Zeihsel F., Visnepolschi S., Hallfell F. Using TRIZ to invent failures – concept and application to go belong traditional FMEA // *Procedia Engineering*. 2015. P. 426-450. [10.1016/j.proeng.2015.12.439](#).
- [Ver14] Verzola I., Lagny A. E., Biswas J. A Predictive approach to failure estimation and identification for space systems operations // *Proc. 13th Int. Conf. Space Operations (Pasadena, California, 2014)*. [10.2514/6.2014-1722](#).
- [Zhu17] Zhu Y. M. *Failure-Modes-Based Software Reading*. 2017. [10.1007/978-3-319-65103-3](#).
- [Адж98] Аджиев В. Мифы о безопасности ПО: уроки знаменитых катастроф // *Открытые системы. СУБД*. 1998, № 6.
- Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya., et al. Formation of balanced system of program project characteristics // *Advances in Intelligent Systems Research*. 2020. Vol. 174. P. 302-306. [10.2991/aisr.k.201029.057](#).
- Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya. The studies of strategies for ensuring the functional safety of hardware and software complexes based on system archetypes and architecture models // *Proc. Int. Conf. Electrotechnical Complexes and Systems, ICOECS. IEEE*, 2021. P. 171-175. [EXUOFV](#).
- Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya., Galimov R. R. Construction of signal transmission structures in information systems based on conjunction schemes // *Proc. 2023 Int. Ural Conf. Electrical Power Engineering, UralCon. IEEE*, 2023. P. 1-5. [10.1109/UralCon59258.2023.10291040](#).
- Hu W., Carver J., Anu V., et al. (2017). Defect prevention in requirements using human error information: an empirical study // *LNCS*. 10153. 61-76. [10.1007/978-3-319-54045-0_5](#).
- Huang F., Liu B. Software defect prevention based on human error theories // *Chinese Journal of Aeronautics*. 2017. No. 30. P. 1054-1070. [10.1016/j.cja.2017.03.005](#).
- Kanoun K., Laprie J. C. Software reliability trend analyses from theoretical to practical considerations // *IEEE Trans. Software Eng.* 1994. Vol. 20, No. 9. P. 740-747. [10.1109/32.317434](#).
- Kaplan S., Visnepolschi S., Zlotin B., Zusman A. *New Tools for Failure and Risk Analysis*. Ideation Int. Inc., 2005.
- Lee E. A., Anderson T. *Fault Tolerance, Principles and Practice*. Springer Sci. Bus. Media, 2012. 320 p.
- Morozov A., Janschek K. Dual graph error propagation model for mechatronic system analysis // *IFAC Proc.* 2011. Vol. 44, 9893-9898. [10.3182/20110828-6-IT-1002.03371](#).
- Morandini M., Penserini L., et al. Engineering requirements for adaptive systems // *Requirements Engineering*. 2017. No. 22(1). P. 77-103. [LQLBWY](#).
- Pentti H., Atte H. *Failure Mode and Effects Analysis of Software-Based Automation Systems*. STUK-YTO-TR190, 2002.
- Reason J. *Human Error*. Cambridge University Press, 1990. [10.1017/CBO9781139062367](#).
- Shappell S. A., Weigmann D. A. *The Human Factors Analysis and Classification System – HFACS*. Final Report. U. S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2000.
- Soni R., Preet A. Cognitive approach to root cause analysis for improving quality of life: a case study for IT Industry // *Int. J. Informative and Futuristic Research*, 2013. No. 1.
- Steurer M., Morozov A., et al. Model-based dependability analysis of fault-tolerant inertial navigation system: a practical experience report // *IFAC-PapersOnLine*. 2019. [10.1016/j.ifacol.2019.11.275](#).
- Thurnes C., Zeihsel F., Visnepolschi S., Hallfell F. Using TRIZ to invent failures – concept and application to go belong traditional FMEA // *Procedia Engineering*. 2015. P. 426-450. [10.1016/j.proeng.2015.12.439](#).
- Verzola I., Lagny A. E., Biswas J. A Predictive approach to failure estimation and identification for space systems operations // *Proc. 13th Int. Conf. Space Operations (Pasadena, California, 2014)*. [10.2514/6.2014-1722](#).
- Zhu Y. M. *Failure-Modes-Based Software Reading*. 2017. [10.1007/978-3-319-65103-3](#).
- Adzhiev V. Myths about software security: lessons from famous disasters // *Open systems*. 1998. No. 6. (In Russian).

- [Без21] Бежаева О. Я. Системные архетипы как методическая основа обеспечения функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов // Int. J. Open Inform. Technologies. 2021. Т. 9, № 4. С. 34-40. [VABUSL](#).
- [Без22] Бежаева О. Я. Принципы и подходы к обеспечению функциональной безопасности компонентов вычислительно-коммуникационных систем // Int. J. Open Inform. Technologies 2022. Т. 10, № 3. С. 23-29. [DDYZRO](#).
- [Бык16] Быковский С. В., Горбачев Я. Г. и др. Сопряженное проектирование встраиваемых систем (Hardware/Software Co-Design): учеб. пособие. СПб.: НИУ ИТМО, 2016. 108 с.
- [Вит12] Виттих В. А., Игнатиев М. В., Смирнов С. В. Онтологии в междисциплинарных теориях // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 5. С. 69–70. [OYDIQI](#).
- [Вит22] Виттих В. А. Избранные труды по эвергетике (по материалам статей и докладов) / сост. С. Ю. Боровик, Т. В. Моисеева, С. В. Смирнов. Самара: Новая техника, 2022. 420 с.
- [Гво15а] Гвоздев В. Е., Бежаева О. Я. Субхангулова А. С. Оценка линейных взаимосвязей параметров технических объектов при отсутствии корреляционной таблицы эмпирических данных // Вестник УГАТУ. 2015. Т.19, № 4 (70). С. 106-117. [WAHOCT](#).
- [Гво15б] Гвоздев В. Е., Бежаева О. Я., Курунова Р. Р. Выявление противоречий в требованиях к программному продукту на основе исследования не прямых связей между ними // Программная инженерия. 2015. № 7. С. 11-20. [UBKUZD](#).
- [Гво16] Гвоздев В. Е., Ильясов Б. Г., Бежаева О. Я., Курунова Р. Р. Сравнительный анализ проектных решений по комплексу потребительских свойств и технических характеристик объектов // Информационные технологии. 2016. Т. 22, № 10. С. 764-770. [UMMJDW](#).
- [Гво19] 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. Т. 9, № 3 (33). С. 361-368. [WNXJCM](#).
- [Гво20а] Гвоздев В. Е., Гузайров М. Б., Бежаева О. Я. и др. Информационная поддержка проактивного управления функциональной безопасностью компонентов киберфизических систем // МОИТ. 2020. Т. 8, № 2 (29). [WZQQDR](#).
- [Гво20б] Гвоздев В. Е., Бежаева О. Я., Насырова Р. А. Модели возникновения ошибок на предпроектной стадии разработки компонент информационно-вычислительных систем // Онтология проектирования. 2020. Т. 10, № 1. С. 73-86. [KDYEO](#).
- [Гво20в] Гвоздев В. Е., Гузайров М. Б. и др. Обеспечение функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов в условиях неопределенности среды использования // МОИТ. 2020. Т. 8, № 3 (30). [LHMMWQ](#).
- [Гво20г] Гвоздев В. Е., Бежаева О. Я. и др. Формирование параметров модели управления проектом на основе линеаризации функциональных зависимостей // Онтология проектирования. 2020. Т. 10, № 4. С. 527-539. [JEWXNB](#).
- [Гво21а] Гвоздев В. Е., Бежаева О. Я. и др. Оценка бюджета проекта по критериям удовлетворенности акторов // Онтология проектирования. 2021. Т. 11, № 3. С. 382-392. [UIPIOL](#).
- [Гво21б] 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" // МОИТ. 2021. Т. 9, № 3. [SGKKHY](#).
- Bezhaeva O. Ya. System archetypes as a methodological basis for ensuring functional safety of hardware and software complexes // Int. J. Open Inform. Technologies. 2021. Vol. 9, No. 4. P. 34-40. [VABUSL](#). (In Russian).
- Bezhaeva O. Ya. Principles and approaches to ensuring functional security of components of computing and communication systems // Int. J. Open Inform. Technologies 2022. Vol. 10, No. 3. P. 23-29. [DDYZRO](#). (In Russian).
- Bykovsky S. V., Gorbachev Ya. G., et al. Conjugate design of embedded systems (Hardware/Software Co-Design): textbook. St. Petersburg: ITMO, 2016. (In Russian).
- Vittikh V. A., Ignatiev M. V., Smirnov S. V. Ontologies in interdisciplinary theories // Mechatronics, Automation, Control. 2012. No. 5. P. 69–70. [OYDIQI](#). (In Russian).
- Vittikh V. A. Selected works on evergetics (based on articles and reports) / compiled by S. Yu. Borovik, T. V. Moiseeva, S. V. Smirnov. Samara: Novaya Tekhnika, 2022. (In Russian).
- Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya. Subkhangulova A. S. Evaluation of linear relationships between parameters of technical objects in the absence of a correlation table of empirical data // Vestnik UGATU. 2015. Vol. 19, No. 4 (70). P. 106-117. [WAHOCT](#). (In Russian).
- Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya., Kurunova R. R. Identification of contradictions in requirements for a software product based on the study of indirect connections between them // Software Engineering. 2015. No. 7, pp. 11-20. [UBKUZD](#). (In Russian).
- Gvozdev V. E., Ilyasov B. G., Bezhaeva O. Ya., Kurunova R. R. Comparative analysis of design solutions for a set of consumer properties and technical characteristics of objects // Information technologies. 2016. Vol. 22, No. 10. P. 764-770. [UMMJDW](#). (In Russian).
- Gvozdev V. E., Munasypov R. A., Bezhaeva O. Ya., Akhmetova D. R. Construction of a model of a multi-connected object based on the joint use of data and expert assessments // Ontology of design. 2019. Vol. 9, No. 3 (33). P. 361-368. [WNXJCM](#). (In Russian).
- Gvozdev V. E., Guzairov M. B., Bezhaeva O. Ya. et al. Information support for proactive management of functional safety of components of cyber-physical systems // MOIT. 2020. Vol. 8, No. 2 (29). [WZQQDR](#). (In Russian).
- Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya., Nasyrova R. A. Models of error occurrence at the pre-project stage of development of components of information and computing systems // Ontology of Designing. 2020. Vol. 10, No. 1. P. 73-86. [KDYEO](#). (In Russian).
- Gvozdev V. E., Guzairov M. B., et al. Ensuring functional safety of hardware and software complexes in conditions of uncertainty of the use environment // MOIT. 2020. Vol. 8, No. 3 (30). [LHMMWQ](#). (In Russian).
- Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya. et al. Formation of parameters of the project management model based on the linearization of functional dependencies // Design Ontology. 2020. Vol. 10, No. 4. P. 527-539. [JEWXNB](#). (In Russian).
- Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya. et al. Project budget assessment based on actor satisfaction criteria // Ontology of design. 2021. Vol. 11, No. 3. P. 382-392. [UIPIOL](#). (In Russian).
- Gvozdev V. E., Guzairov M. B., Bezhaeva O. Ya. Analysis of the impact of project management quality on the state of functional safety of hardware and software complexes based on the "limit to growth" system archetype // MOIT. 2021. Vol. 9, No. 3. [SGKKHY](#). (In Russian).

- [Гво22] Гвоздев В. Е., Гузайров М. Б. и др. Поддержка управления функциональной безопасностью аппаратно-программных комплексов на основе системных архетипов // МОИТ. 2022. Т. 10, № 2. [JAORXO](#).
- [Гво23а] Гвоздев В. Е., Бежаева О. Я., Сафина Г. Р. Многоаспектное моделирование ситуаций в задачах обеспечения функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов // Онтология проектирования. 2023. Т. 13, № 1 (47). С. 125-138. [MOAZXT](#).
- [Гво23б] Гвоздев В. Е., Давлиева А. С. Оценка функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов на основе математико-статистических методов // СИИТ. 2023. Т. 5, № 2(11). С. 33-40. [VLLUZZ](#).
- [Гво25а] Гвоздев В. Е., Бежаева О. Я. и др. Оценка согласованности мнений неоднородных акторов на предпроектной стадии // Онтология проектирования. 2025. Т. 15, № 1 (55). С. 130-141. [QFCSWM](#).
- [Гво25б] Гвоздев В. Е., Гузайров М. Б. и др. Обобщенная характеристика структурной надежности сети // СИИТ. 2025. Т. 7, № 1(20). С. 49-58. [DSGTRS](#).
- [Гво26] Гвоздев В. Е., Галимов Р. Р. и др. Логические схемы расчета надежности локальных систем передачи данных // СИИТ. 2026. Т. 8, № 2(26). С. 102-110. [ZaidVL](#).
- [Гуз13] Гузайров М. Б., Гвоздев В. Е. и др. Элементы системной инженерии: методологические основы разработки программных систем на основе V-модели жизненного цикла. М.: Машиностроение, 2013. 180 с. [YGIBVJ](#).
- [Кир12] Кириллов Н. П. Концептуальная модель объекта ситуационного управления функциональным состоянием технических систем // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. Т. 4. С. 61-75. [PYYQAZ](#).
- [Кри17] Криони Н. К., Гвоздев В. Е. и др. Элементы системной инженерии. Технологии формирования требований к аппаратно-программным комплексам на основе экспертно-статистических методов. М.: Машиностроение, 2017. 295 с.
- [Лип13] Липаев В. В. Надежность и функциональная безопасность комплексов программ реального времени. М.: Ин-т программирования РАН, 2013. 207 с. [QYOVIb](#).
- [Мос16] Мостовой А. Я. Управление сложными техническими системами: конструирование программного обеспечения спутников ДЗЗ. М.: Техносфера, 2016. 352 с.
- [Мур12] Муравьева-Витковская Л. А. Моделирование интеллектуальных систем. СПб.: НИУ ИТМО, 2012. 145 с.
- [Пла11] Платунов А. Е., Постников Н. П. Высокоуровневое проектирование встраиваемых систем (ч. 1): учеб. пособие. СПб.: НИУ ИТМО, 2011. 121 с.
- [Пла13] Платунов А. Е., Постников Н. П. Высокоуровневое проектирование встраиваемых систем (ч. 2): учеб. пособие. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. 172 с. [ZUYLVD](#).
- [Рай09] Райков А. Н. Конвергентное управление и поддержка решений. Москва: Икар, 2009. 245 с. [QTMPPR](#).
- [Чер21] Черняховская Л. Р., Васильев В. И. и др. Методы и модели поддержки принятия решений при управлении инновационными проектами в производственно-экономических системах. М.: АЕ, 2021. 230 с. [AFPEJW](#).
- [Шуб12] Шубинский И. Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. М.: Журнал Надежность, 2012. 296 с. [QMXPUD](#).
- Gvozdev V. E., Guzairov M. B., et al. Support for functional safety management of hardware and software complexes based on system archetypes // MOIT. 2022. Vol. 10, No. 2. [JAORXO](#). (In Russian).
- Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya., Safina G. R. Multi-aspect modeling of situations in problems of ensuring the functional safety of hardware and software complexes // Ontology of Designing. 2023. Vol. 13, No. 1 (47), pp. 125-138. [MOAZXT](#). (In Russian).
- Gvozdev V. E., Davlieva A. S. Assessment of the functional safety of hardware and software systems based on mathematical and statistical methods // SIIT. 2023. Vol. 5, No. 2(11). P. 33-40. [VLLUZZ](#). (In Russian).
- Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya., et al. Evaluation of the consistency of opinions of heterogeneous actors at the pre-project stage // Ontology of Design. 2025. Vol. 15, No. 1 (55). P. 130-141. [QFCSWM](#). (In Russian).
- Gvozdev V. E., Guzairov M. B., et al. Generalized characteristics of the structural reliability of the network // SIIT. 2025. Vol. 7, No. 1(20). P. 49-58. [DSGTRS](#). (In Russian).
- Gvozdev V. E., Galimov R. R., et al. "Logical schemes for calculating the reliability of local data transmission systems" // SIIT. 2026. V. 8, 2(26), pp. 102-110. [ZaidVL](#). (In Russian).
- Guzairov M. B., Gvozdev V. E. et al. Elements of systems engineering: methodological foundations for developing software systems based on the V-model of the life cycle. Moscow: Mashinostroenie, 2013. [YGIBVJ](#). (In Russian).
- Kirillov N. P. Conceptual model of the object of situational control of the functional state of technical systems // Artificial Intelligence and Decision Making. 2012. Vol. 4. P. 61-75. [PYYQAZ](#). (In Russian).
- Krioni N. K., Gvozdev V. E., et al. Elements of systems engineering. Technologies for forming requirements for hardware and software systems based on expert statistical methods. Moscow: Mashinostroenie, 2017. (In Russian).
- Lipaev V. V. Reliability and functional safety of real-time program complexes. Moscow: Institute of Programming, Russian Academy of Sciences, 2013. [QYOVIb](#). (In Russian).
- Mostovoy A. Ya. Management of complex technical systems: design of software for remote sensing satellites. Moscow: Tekhnosfera, 2016. (In Russian).
- Muravyova-Vitkovskaya L. A. Modeling of intelligent systems. St. Petersburg: ITMO, 2012. (In Russian).
- Platunov A. E., Postnikov N. P. High-level design of embedded systems (part 1): textbook. St. Petersburg: National Research University ITMO, 2011. (In Russian).
- Platunov A. E., Postnikov N. P. High-level design of embedded systems (part 2): textbook. St. Petersburg: National Research University ITMO, 2013. [ZUYLVD](#). (In Russian).
- Raikov A. N. Convergent control and decision support. Moscow: Ikar, 2009. [QTMPPR](#). (In Russian).
- Chernyakhovskaya L. R., Vasiliev V. I., et al. Methods and models of decision support in managing innovation projects in production and economic systems. Moscow: AE, 2021. [AFPEJW](#). (In Russian).
- Shubinsky I. B. Functional reliability of information systems. Methods of analysis. M.: Journal of Reliability, 2012. [QMXPUD](#). (In Russian).

ОБ АВТОРАХ | ABOUT THE AUTHORS

БЕЖАЕВА Оксана Яковлевна

Уфимский университет науки и технологий, Россия.

obezhaeva@gmail.com ORCID: 0000-0002-3373-7266.

Зав. каф. технической кибернетики. Дипл. экономист по спец-ти информационные системы в экономике (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т). Д-р техн. наук (там же). Труды в обл. сист. анализа, управления и обработки информации.

ГВОЗДЕВ Владимир Ефимович

Уфимский университет науки и технологий, Россия.

vega55@mail.ru ORCID: 0009-0004-8557-3445.

Проф. каф. технической кибернетики. Дипл. инж. электрон-ной техники (Уфимск. авиац. ин-т). Д-р техн. наук по упр. в техн. системах (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т), профессор. Иссл. в обл. мат. статистики, информ. систем, экологич. мониторинга, сетевых систем.

BEZHAEVA Oksana Yakovlevna

Ufa University of Science and Technology, Russia.

obezhaeva@gmail.com ORCID: 0000-0002-3373-7266.

Head of the Dept of Technical Cybernetics. Certified systems engineer (Ufa State Aviation Technical University). Dr of Tech. Sci. (ibid.). Works in the field of systems analysis, control, and information processing.

GVOZDEV Vladimir Efimovich

Ufa University of Science and Technology, Russia.

vega55@mail.ru ORCID: 0009-0004-8557-3445.

Prof., Dept. of Technical Cybernetics. Dipl. of electronic engineer (Ufa Aviat. Institute). Dr. of Tech. Sci. in technical systems control (Ufa State Aviat. Technical University), professor. Research in mathematical statistics, information systems, environmental monitoring, network systems.

МЕТАДАННЫЕ | METADATA

Заглавие: Обеспечения функциональной надежности информационных систем на предпроектной стадии (методологические основы)

Авторы: Бежаева О. Я., Гвоздев В. Е.

Аннотация: Представлен обзор исследований по решению актуальной научно-практической проблемы создания методологических основ обеспечения функциональной надежности информационных систем (ИС) на предпроектной стадии в виде комплекса принципов, подходов, методов, системных, структурных и математико-статистических моделей и реализованных на их основе инструментальных средств. Представлены результаты: • формирования методологии обеспечения функциональной надежности ИС на предпроектной стадии на основе принципов и подходов системного анализа; • разработки системных моделей предпроектной стадии на основе положений эвергетики; • разработка на основе системных архетипов комплекса структурных, контурных и динамических моделей проблемных ситуаций, связанных с обеспечением функциональной надежности ИС на предпроектной стадии; • разработки методов обеспечения функциональной надежности ИС на предпроектной стадии; • разработки математико-статистических моделей для определения базовых характеристик проекта ИС на основе исторических данных, а также оценка согласованности мнений неоднородных акторов на предпроектной стадии; • разработка методик и инструментальных средств обеспечения функциональной надежности ИС..

Ключевые слова: Информационная система; функциональная надежность; предпроектная стадия; эвергетика.

Язык: Русский.

Статья поступила в редакцию 16 июня 2026 г.

Title: Ensuring the functional reliability of information systems at the pre-project stage (methodological foundations).

Authors: Bezhaeva O. Ya., Gvozdev V. E.

Abstract: The article presents a review of research into the solution of a pressing scientific and practical problem of creating a methodological basis for ensuring the functional reliability of information systems (IS) at the pre-project stage in the form of a set of principles, approaches, methods, system, structural and mathematical-statistical models and tools implemented on their basis. The article presents the results of: • formation of a methodology for ensuring the functional reliability of IS at the pre-project stage based on the principles and approaches of system analysis; • development of system models of the pre-project stage based on the provisions of evergetics; • development of a set of structural, contour and dynamic models of problem situations related to ensuring the functional reliability of IS at the pre-project stage based on system archetypes; • development of methods for ensuring the functional reliability of IS at the pre-project stage; • development of mathematical-statistical models to determine the basic characteristics of an IS project based on historical data, as well as an assessment of the consistency of opinions of heterogeneous actors at the pre-project stage; • development of methods and tools to ensure the functional reliability of information systems.

Key words: Information system; functional reliability; pre-project stage; evergetics.

Language: Russian.

The article was received by the editors on 16 June 2026.