

На правах рукописи



КУРУНОВА Роксана Рафаиловна

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СПЕЦИФИКАЦИЙ ТРЕБОВАНИЙ
ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НА СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ
КОНЦЕПЦИИ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ
НА ОСНОВЕ QFD-МЕТОДОЛОГИИ**

Специальность:

**05.13.11 – Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов
и компьютерных сетей**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа – 2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» на кафедре технической кибернетики

Научный руководитель: д-р техн. наук, проф.
ГВОЗДЕВ Владимир Ефимович

Официальные оппоненты: д-р техн. наук, проф.
ВОЛЬФЕНГАГЕН Вячеслав Эрнстович
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва

канд. техн. наук
ХУСАИНОВ Айдар Фаилович
Институт прикладной семиотики Академии наук Республики Татарстан, г. Казань

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук (ИПУСС РАН), г. Самара

Защита диссертации состоится 07 июня 2018 г. в 12⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.288.07 на базе ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» по адресу: 450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» и на сайте www.ugatu.su

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, доцент



И.Л. Виноградова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

При реализации программных средств одним из основных является вопрос обеспечения их функциональной полноты, функциональной корректности, модифицируемости (ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015). Эти показатели характеризуют качество разрабатываемых программных средств. В отчетах The Standish Group отмечается, что к числу критических факторов, приводящих к провалу программных проектов и несоответствия качества программных продуктов потребностям пользователей, является низкое качество требований к программным средствам, в особенности на ранних стадиях их жизненного цикла. В известной литературе неоднократно отмечалось, что низкое качество требований пользователей/заказчика является предпосылкой неудачных проектных решений. В литературных источниках подчеркивается, что к числу ключевых факторов, негативно влияющих на потребительские свойства программных средств, является недостаточная формализация процедур анализа свойств требований к программным средствам, в особенности на ранних стадиях жизненного цикла.

Рост требований к качеству программных средств с одной стороны и недостаточная формализация процедур анализа качества требований, в особенности на ранних стадиях жизненного цикла программных средств, с другой стороны, определили направление диссертационного исследования – развитие теоретических, методических основ и инструментальных средств оценки качества программных средств.

Степень разработанности темы исследования

Вопросам оценки качества программных средств посвящены следующие отечественные нормативные документы ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93, ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015, ГОСТ 28195-89, а также зарубежный стандарт Института инженеров электротехники и электроники IEEE Std 730-2014, и руководство Европейского космического агентства ESA PSS-05-11. Согласно этим стандартам, оценка качества программных средств производится на всех этапах их жизненного цикла. Требования к спецификациям требований зафиксированы в руководствах ESA PSS-05-02, ESA PSS-05-03, стандарте IEEE Std 830-1998. Однако упомянутые документы носят рамочный характер, в них не определены конкретные модели, методы и алгоритмы анализа свойств спецификаций требований к программным средствам. Важность разработки формальных моделей, методов и алгоритмов анализа спецификаций требований обсуждается в работах отечественных авторов Липаева В.В., Корнипаева И., Маглинца Ю.А. и др., а также таких зарубежных авторов как Куликов С.С., Б. Хэнск, Мацяшек Л.А., Милошевич Д., McConnell S., Hall E., Myers G., Sommerville I., Kotonya G., Leffingwel D., Widrig D. и др.

Одним из подходов к проектированию, обеспечивающим получение продукта, соответствующего ожиданиям заказчика, является подход преобразования голоса пользователя/заказчика в измеримые характеристики объектов в рамках QFD-методологии (Quality Function Deployment – Развертывание Функции Качества). Первой и важной составляющей QFD является модель «Дом качества» (House of Quality – HoQ). Особенностью модели «Дом качества» является то, что это инструмент, который позволяет в рамках единой модели выполнить комплексный анализ, как потребительских свойств объекта, так и характеристик, определяющих подходы к реализации программного средства.

На сегодняшний день разработаны различные подходы для оценивания качества программных средств на основе QFD – методологии SQFD (Software QFD). Теоретическое описание и практическое применение этой методологии в области информационных технологий и программного обеспечения приведено в работах отечественных авторов Пикулева Е.И., Марковой Н., Перемитиной Т.О., а также зарубежных авторов Андона Ф.И., King B., Sullivan L.P., Cohen L., Herzworm G., Mellis W., Ficalora J.P., Alrabghi L.O., Vahid F., Givargis T., Ohmori A., Mazur G.H., Liu X.F., Krogstie J., Kivihen T. и др.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования является качество спецификаций требований на стадии формирования концепции программных средств.

Предметом исследования являются модели, методы и алгоритмы анализа качества требований пользователей на стадии формирования концепции программных средств на основе системного сочетания QFD-методологии, методов структурного анализа, аппарата функций принадлежности, алгебраических методов анализа устойчивости систем.

Целью работы является разработка формальных методов оценки качества программных средств в части непротиворечивости и модифицируемости спецификаций требований на стадии формирования концепции программных средств.

Задачи исследования

1. Разработать метод, модель и алгоритм анализа программных средств в части непротиворечивости содержания спецификаций требований пользователей с учетом различающихся мнений заинтересованных лиц о взаимном влиянии требований (соответствует п. 1 паспорта специальности).

2. Разработать метод и на его основе алгоритм анализа программных средств в части модифицируемости комплекса функциональных и нефункциональных характеристик качества представленных в виде требований пользователей и характеристик программных средств (соответствует п. 1 паспорта специальности).

3. Разработать метод и на его основе алгоритм анализа программных средств в части модифицируемости требований по критерию устойчивости спецификаций требований пользователей (соответствует п. 1 паспорта специальности).

4. Разработать на основе полученных теоретических результатов методику оценки качества спецификаций требований пользователей, позволяющей автоматизировать исследование свойств спецификаций требований. Продемонстрировать эффективность применения разработанной методики и прототипов программных средств на примере анализа качества требований к программному компоненту, входящего в состав аппаратно-программного комплекса критического назначения (соответствует п. 10 паспорта специальности).

Положения, выносимые на защиту

1. Метод, модель и разработанный на их основе алгоритм анализа непротиворечивости спецификаций требований, основанные на исследовании свойств простых путей в знаково-ориентированном нечетком графе, сформированным на базе системной модели «Дом качества», позволяющие свести процедуру оценки качества требований с точки зрения их непротиворечивости к выявлению взаимного влияния требований на основе определения знаков и расчета метрик, соответствующих простым путям.

2. Метод и разработанный на его основе алгоритм анализа модифицируемости требований, основанный на системном сочетании совокупности подмножеств и матрицы взаимосвязи (составляющие системной модели «Дом качества»), знаково-ориентированных графов, позволяющий свести анализ целесообразности внесения изменений в отдельное требование пользователей к расчету на основе Евклидовой метрики величины комплексного показателя качества.

3. Метод и разработанный на его основе алгоритм анализа модифицируемости требований, основанный на расчете собственных чисел матрицы смежности, формируемой на базе знаково-ориентированного графа, полученного на основе модели «Дом качества», и операций умножения вектора на матрицу смежности, что позволяет свести анализ последствий внесения изменений в отдельное требование к известному методу анализа потери устойчивости системы по возмущению.

4. Методика оценки качества спецификаций требований по комплексу показателей непротиворечивости и модифицируемости спецификаций требований пользователей к программному средству, разработанные на её основе прототипы программных средств. Результаты применения методики и программных средств для анализа спецификаций требований пользователей, предъявляемых к программному компоненту медиашлюза TDMoP.

Научная новизна результатов работы

1. Научная новизна метода анализа непротиворечивости требований к программному средству основана на с новым системном сочетании совокупности подмножеств и матриц (компоненты системной модели «Дом качества») и аппарата знаково-ориентированных нечетких графов, отличающегося от известных методов тем, что анализ требований сводится к исследованию не только прямых, но и транзитивных связей между требованиями пользователей и характеристиками программного средства, что позволяет формализовать процедуру выявления неявных противоречий в требованиях к программному средству.

Отмеченная новизна соответствует базовому свойству требований, определенному в руководстве ESA PSS-05-02 и стандарте IEEE Std 830-1998, – «непротиворечивость».

2. Научная новизна метода оценки модифицируемости спецификаций требований к программному средству по совокупности требований пользователей и характеристик программного средства основана на новом системном сочетании подмножеств и матрицы взаимосвязи (составляющие системной модели «Дом качества»), и модификации известного метода «идеальной точки», отличающегося от известных методов тем, что анализ целесообразности внесения изменений сводится к расчет комплексного показателя свойств программного средства на основе Евклидовой метрики, что позволяет формализовать процедуру анализа последствий внесения изменений в требования на стадии формирования концепции программных средств.

3. Научная новизна метода анализа модифицируемости спецификаций требований к программному средству по критерию устойчивости основана на системном сочетании подмножеств, элементам которых соответствуют требования, и матрицы смежности, определяющей наличие взаимного влияния между элементами этих подмножеств (составляющие системной модели «Дом качества»), а также алгебраических критериев устойчивости, отличающегося от известных методов тем что позволяет анализировать возможные последствия внесения изменений в отдельное требование на устойчивость системы спецификаций требований, что позволяет формализовать процедуру выявления возможной потери устойчивости требований из-за внесения изменений в отдельные требования на стадии формирования концепции программных средств.

Выделенные признаки научной новизны в п. 2 и 3 соответствуют базовому свойству требований, определенному в руководстве ESA PSS-05-02 и стандарте IEEE Std 830-1998, – «модифицируемость».

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в развитии теоретических, методических, алгоритмических основ оценки ка-

чества программных средств в части непротиворечивости и модифицируемости спецификаций требований на стадии формирования концепции за счет разработки на основе нового системного сочетания признанных подходов, формальных моделей, методов и алгоритмов анализа непротиворечивости и модифицируемости спецификаций требований.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке на основе полученных теоретических результатов инженерной методики оценки качества программных средств и реализации на ее основе прототипов программных средств, позволяющих автоматизировать процесс анализа качества спецификаций требований на стадии формирования концепции программных средств. Разработанная инженерная методика и прототипы программных средств применены на предприятии АО «НИИ «Солитон» при формировании спецификаций требований к программному компоненту медиашлюза TDMoP.

Методология и методы исследования

Методологическую и методическую основу исследований составляют методы системного анализа; методология Software Quality Function Deployment; аппарат знаково-ориентированных графов; аппарат нечетких графов; аппарат функции принадлежности; алгебраические методы анализа устойчивости.

Степень достоверности и апробации результатов

Достоверность подтверждена результатами теоретических исследований, в основе которых лежат общепризнанные теоретические положения и модели, а также апробацией полученных новых научных результатов при проектировании системы обработки данных медиашлюза TDMoP.

Теоретические и практические результаты, полученные автором, были представлены на 10 международных и всероссийских научно-технических конференциях: Всероссийская молодежная научная конференция «Мавлютовские чтения» (г. Уфа 2012, 2013, 2014); VIII Всероссийская зимняя школа-семинар аспирантов и молодых ученых (г. Уфа, 2014); Международная конференция «Интеллектуальные технологии обработки информации и управления» ITIPM (г. Уфа, 2014, 2015); Международная научная конференция «Информационные технологии и системы» ИТиС (Банное, 2015, 2016); Международная конференция «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений» ITIDS (г. Уфа, 2016); Всероссийская научно-техническая конференция «Перспективы развития и совершенствования СБУ РВСН – принципы и технологии» (г. Юбилейный, 2016).

Результаты получены в рамках плановых исследований, проводимых на кафедре технической кибернетики УГАТУ в рамках грантов РФФИ №№ 14-08-97036, 16-08-00442 А.

Результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс кафедры технической кибернетики ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» при проведении практических занятий и лабораторных работ для студентов направления 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника».

Публикации

Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в 13 работах, включая 3 статьи в научных изданиях, входящих в перечень ВАК; 4 публикаций выполнено без соавторов; имеется свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ.

Личный вклад соискателя

В публикациях, выполненных в соавторстве, лично автору принадлежат следующие результаты: [1], [8], [9] – обзор применения методологии QFD, построение и анализ «Дома качества»; [2], [6], [11] – проведение анализа применения модели «Дом качества» для анализа пользовательских требований, предъявляемых к программным средствам, проведение анализа влияний требований друг на друга; [3], [4], [12] – разработка алгоритма сравнительного анализа для проведения количественной оценки модифицируемости требований; [10] – проведение анализа возможности применения водопадной модели жизненного цикла программных средств при построении «Домов качества»; [13] – разработка алгоритма формирования единой точки зрения разных заинтересованных лиц на матрицу взаимных влияний в «Доме качества»; [7], [14] – разработка алгоритма качественной оценки модифицируемости требований на основе модели «Дом качества».

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы, списка сокращений и приложений. Основное содержание работы изложено на 167 страницах машинописного текста, включая 46 рисунков и 20 таблиц. Список литературы содержит 140 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении раскрывается актуальность темы диссертации, формулируется цель работы и задачи исследования, отмечается научная новизна и практическая значимость выносимых на защиту результатов.

Первая глава посвящена обзору существующих подходов оценки качества программных средств, описанию методологии QFD, особенностям применения QFD в области программного обеспечения (SQFD).

Приведены результаты анализа существующих стандартов и подходов оценки качества программных средств на разных стадиях их жизненного цикла.

Выявлено, что существующие российские и зарубежные стандарты не предлагают формальных подходов к оценке качества требований пользователей на стадии формирования концепции программных средств.

Приведены результаты анализа подходов к управлению требованиями, предъявляемых к программным средствам. Установлено, что существующие методы управления требованиями не позволяют в полной мере обеспечить функциональную безопасность и пригодность разрабатываемых на их основе программных средств.

Приведены результаты анализа опыта использования методологии QFD в задачах управления требованиями объектов различного назначения. Установлено, что методология QFD активно применяется для управления качеством программных средств. На основе методологии QFD в США и Европе были разработаны различные подходы и модели, позволяющие оценить качество создаваемого программного обеспечения: Zultner's Software Quality Deployment, Blitz QFD и др.

Проведен анализ известной модели «Дом качества», являющейся частью методологии QFD, как средства комплексного описания требований к аппаратно-программным комплексам. На основе проведенного анализа сделано следующее заключение.

«Дом качества» рассматривается с позиции системной модели (рисунок 1), включающей в себе совокупность других моделей. Её можно представить в виде подмножеств: $\{R, T, W, E, C, D, C_R, C_T, H, S\}$, где:

R – функциональные и нефункциональные пользовательские требования образуют множество мощностью n . $R = \{r_i\}$ где $i = \overline{1, n}$, n – общее количество требований, r_i – i -ое требование.

T – характеристики программного средства образуют множество мощностью m . $T = \{t_j\}$ где $j = \overline{1, m}$, m – общее количество характеристик программных средств, t_j – j -ая характеристика.

W – весовые характеристики важности требований для пользователя/заказчика образуют множество мощностью n . $W = \{w_i\}$, где $i = \overline{1, n}$, w_i – весовая характеристика i -го требования, которая в совокупности с r_i образует пару $(r_i; w_i)$.

E – оценки качества реализации требований с точки зрения пользователей/заказчика в разрабатываемом

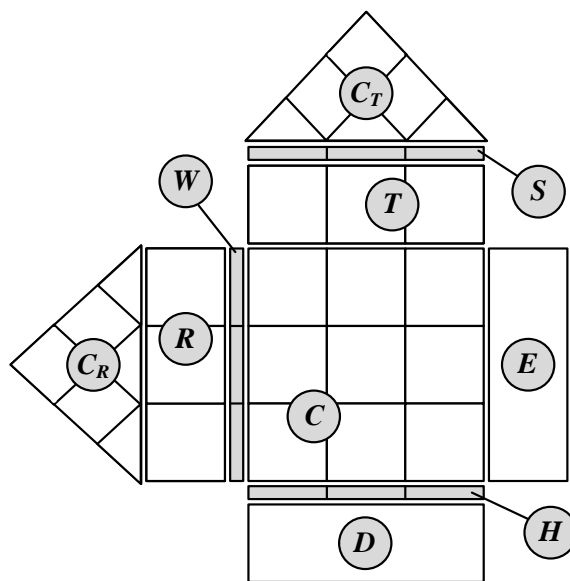


Рисунок 1 – Модель Дома качества

объекте относительно наилучшего и наихудшего вариантов реализации такого же требования в существующих объектах аналогичного назначения образуют матрицу размером $n \times 3$. Столбцами матрицы являются наилучшая, наихудшая и оценка реализации в исследуемом программном средстве, а строками – r_i .

C – прямоугольная матрица взаимного влияния пользовательских требований и характеристик программного средства $C = [c_{i,j}]$ размером $n \times m$.

D – оценки характеристик программного средства по сравнению с характеристиками существующих программных средств аналогичного назначения образуют матрицу $3 \times m$. Столбцами матрицы являются t_j , а строками – наилучшая, наихудшая и оценка характеристики в исследуемом программном средстве.

C_R – матрица взаимного влияния пользовательских требований – симметричная матрица, в «Доме качества» представлена треугольной матрицей, содержащей значения показателей связи требований к потребительским свойствам, которые расположены выше главной диагонали.

C_T – матрица взаимного влияния характеристик программного средства – симметричная матрица, в «Доме качества» представлена треугольной матрицей, содержащей значения показателей связи характеристик, которые расположены выше главной диагонали.

H – весовые показатели сложности инженерной реализации характеристик программного средства. Образуют множество мощностью m . $H = \{h_j\}$, где $j = \overline{1, m}$, h_j – весовой показатель j -ой характеристики, который в совокупности с t_j образует пару $(t_j; h_j)$.

S – показатели направления улучшения характеристик программного средства образуют множество мощностью m . $S = \{s_j\}$, где $j = \overline{1, m}$, s_j – показатель направления улучшения j -ой характеристики, который в совокупности с t_j образует пару $(t_j; s_j)$.

Показано рассмотрение модели «Дом качества» с позиций системной модели, что делает возможным сопоставление между собой альтернативных вариантов в виде спецификаций требований, а также обоснованно определять подходы к разработке программных средств.

Обосновывается положение о том, что модель «Дом качества» может быть использована в качестве основы для разработки формальных методов, моделей и алгоритмов анализа таких атрибутов качества как непротиворечивость, модифицируемость требований, предъявляемых к программным средствам на ранних стадиях жизненного цикла.

Сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Вторая глава посвящена разработке метода, модели и алгоритма анализа непротиворечивости требований к программным средствам, разработке моделей анализа непротиворечивости требований. Основу метода составляет си-

стемное сочетание модели «Дом качества», аппарата знаково-ориентированных и нечетких графов, аппарата функции принадлежности.

Описывается метод формирования компонентов матрицы взаимосвязи S , с учетом разных мнений заинтересованных лиц относительно взаимосвязи требований пользователей и характеристик программного средства. Основу метода составляет расчет метрической характеристики на основе оценок экспертов, выраженных в форме лингвистических термов, и значений функций принадлежности, определяющих степень уверенности экспертов в своих оценках. Схема расчета характеристики Z иллюстрируется на рисунке 2. Расчет метрической характеристики Z осуществляется на основе формулы 1:

$$Z = \frac{\sum_{j=1}^b (\mu_j \times \tau_j)}{\sum_{j=1}^b \mu_j}, \quad (1)$$

где τ_j – опорное значение функции принадлежности; μ_j – степень уверенности j -го эксперта; b – количество экспертов, участвующих в формировании матрицы взаимосвязи.

Использование функции принадлежности лингвистических термов позволяет определить силу связи между требованиями с учетом субъективных мнений экспертов.

Основу построения формальных методов исследования непротиворечивости спецификаций требований составляет положение о том, что компонентам R , T , S

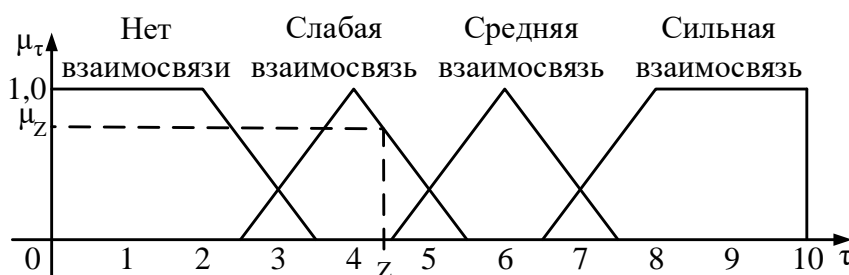


Рисунок 2 – Схема расчета метрической характеристики на основе функции принадлежности лингвистических термов

«Дома качества» можно поставить в соответствие знаково-ориентированный граф (O, U) , где O – множество вершин $R \cup T$, U – множество дуг. Вершинами графа будут являться требования R и характеристики T исследуемого программного средства. Дугами будут являться отношения между вершинами, принадлежащими к множествам R и T . Каждой дуге ставится в соответствие знак, характеризующий направления влияния требований друг на друга.

Представление модели «Дом качества» в виде графа делает возможным реализовать алгоритм анализа взаимного влияния требований друг на друга. Алгоритм установления транзитивного влияния требований друг на друга, посредством выявления простых путей, представлен на рисунке 3, где: o_x – вершины знаково-ориентированного графа $Grph = (O, U)$, $g = n + m$ – мощность множества O , $x = \overline{1, g}$; Ω – простой путь из вершины графа k в вершину l ; $sign(u_{kl})$ – знак дуги u_{kl} , соединяющей k -ю и l -ю вершины ($u_{kl} = (o_k, o_l)$);

$U(\Omega)$ – дуги простого пути Ω ; $inf(\Omega)$ – сила непрямого влияния требований друг на друга через путь Ω ; z_{kl} – вес дуги u_{kl} , принимающий значения в соответствии с лингвистической шкалой «сильно > средне > слабо», в пути Ω ; $sum_{(i,j)}$ – суммарное влияние i –го требования на j –е требование.

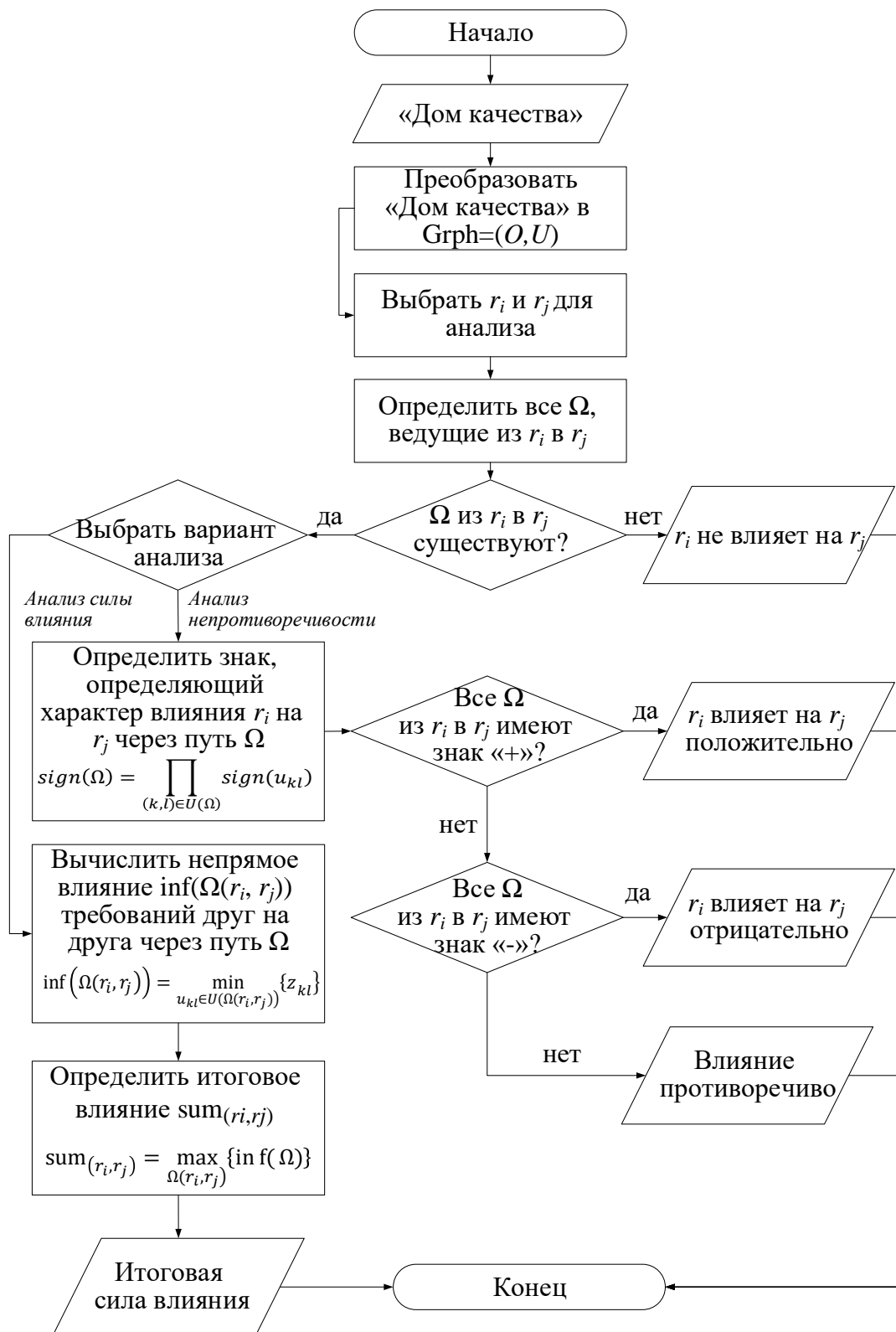


Рисунок 3 – Алгоритм выявления транзитивного взаимного влияния требований друг на друга

Различие в знаках простых путей могут оказаться причиной противоречий в системе требований к программному средству. Наличие неявных противоречий между требованиями соответствует наличию конфликта между требованиями, обусловленных транзитивным влиянием, и установление этого обстоятельства является ранним индикатором несоответствия свойств требований одному из положений стандарта IEEE Std 830-1998 – «непротиворечивость требований».

Предложенный алгоритм позволяет выявить неявные противоречия между требованиями, предъявляемым к потребительским свойствам объекта, особенно на ранних стадиях проектирования, когда при описании свойств объекта преобладают «мягкие» измерения в виде экспертных оценок.

Приводится совокупность системных моделей, разрабатываемых в рамках QFD-методологии, соответствующих V-модели жизненного цикла программного средства. Предложенные модели позволяют учесть последствия изменений, вносимых в требования, соответствующих разным стадиям жизненного цикла (свойство трассируемости или отслеживаемости согласно IEEE Std 830-1998).

Разработанная модель, основанная на системном сочетании V-модели и QFD-методологии позволяет рассматривать альтернативные варианты формирования требований к программным системам на разных стадиях жизненного цикла с учетом транзитивных связей и выбирать наиболее приемлемый вариант для последующей реализации.

В третьей главе предлагаются подходы к анализу модифицируемости требований. Основанием для внесения изменений является стремление к улучшению свойств разрабатываемого программного средства относительно свойств программных средств аналогичного назначения. Основу анализа целесообразности составляет комплексное исследование предполагаемых внешних и внутренних свойств программного средства до и после внесения изменений в требования.

Одной из составляющих анализа целесообразности модифицируемости требований составляет формирование «эталонного объекта». Понятие «эталонного объекта» является одним из вариантов реализации известного метода «идеальной точки». Эталонным будет считаться такой виртуальный объект, у которого все требования пользователей и характеристики соответствуют наилучшим из сопоставляемых программных средств того же назначения, что и исследуемое программное средство. Схема сопоставления исследуемого программного средства с «эталонным» состоит в следующем:

Шаг 1. Рассчитывается метрическая характеристика степени различия реализованных пользовательских требований в эталонном и разрабатываемом программном средстве (ΔE), а также метрическая характеристика степени различия их характеристик (ΔD).

Шаг 2. Рассчитывается комплексный показатель потребительских свойств программного средства (ΔQ), который характеризует количественную оценку модифицируемости требований. Основу такого расчета составляет наличие в структуре модели «Дом качества» матриц E и D .

Шаг 3. Метрические характеристики, характеризующие различие i -го требования, либо j -ой характеристики по сравнению с эталонным, а также комплексный показатель, характеризующий различие свойств программного средства по сравнению с эталонным, рассчитываются при помощи заранее выбранной метрики (рисунок 4).

Алгоритм анализа модифицируемости требований на основе расчета комплексного показателя качества состоит в следующем:

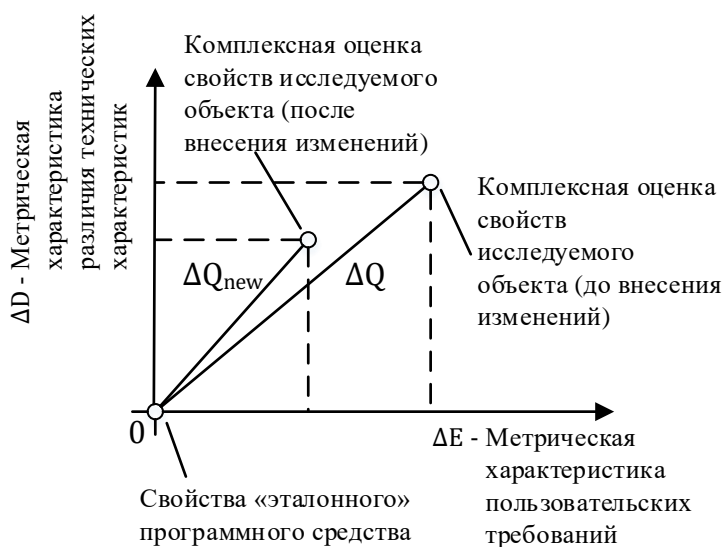


Рисунок 4 – Комплексная оценка различия свойств разрабатываемого и эталонного программных средств

Шаг 1. Выявляется пользовательское требование, реализацию которого желательно улучшить.

Шаг 2. После изменения требования, рассчитываются изменения значений по осям реализованных требований пользователей и характеристик программного средства.

Шаг 3. Если удаленность свойств исследуемого программного средства от свойств эталонного программного средства (начала координат) увеличивается, то изменение

требования является нежелательным. Если удаленность уменьшается, то изменение этого требования целесообразно.

Ограничением предлагаемого метода является то, что одновременно изменение вносится только в одно требование. Одновременное внесение изменений в несколько требований не допускается.

Первым этапом анализа модифицируемости требований по критерию устойчивости является построение матрицы смежности графа (O, U) . Ей соответствует двудольный граф, связывающий вершины из подмножества R с вершинами из подмножества T . Матрица смежности состоит из нескольких матриц: C_R, C, C_T (2) и отображает наличие всех связей между вершинами графа.

$$A = \begin{bmatrix} C_R & C \\ C & C_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1g} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{g1} & \dots & a_{gg} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Исследование внесения изменений в существующие требования или характеристики программного средства основывается на анализе устойчивости по возмущению матрицы вида A . Аппарат анализа, основанный на исследовании свойств матрицы, содержащей элементы вида «1», «-1», «0», описан в работе Дж. Касти «Большие системы». В упомянутой работе показано что, система устойчива по возмущению для случая, когда для системы представленной матрицей вида A (2) каждое из собственных чисел матрицы $|\lambda| \leq 1$. Если система требований и характеристик программного средства не является устойчивой, применяется метод анализа влияний, основанный на операции умножения вектора на матрицу смежности, позволяющий определить, как изменение одного требования влияет на систему в целом. Рассматривается алгоритм оценки воздействия на свойства программного средства в целом посредством воздействия на отдельное требование или характеристику. Алгоритм основан на том, что вершинам знаково-ориентированного графа ставится в соответствие вектор состояния $[o_1, o_2, \dots, o_g]$, где изменяемому элементу в случае улучшения соответствует значение «1», а остальным элементам – «0». Параметры состояния соответствуют предъявляемым требованиям к исследуемому объекту, а связи между вершинами (a_{lk}) – матрицей смежности A . Новый вектор состояния требований рассчитывается путем умножения предыдущего вектора состояния на матрицу смежности A (3):

$$[o_1, o_2, \dots, o_g]_{\beta} = [o_1, o_2, \dots, o_g]_{\beta-1} \times \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1g} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{g1} & \dots & a_{gg} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где β – итерация.

Условия прекращения умножения:

1. Пока не будет достигнуто устойчивое состояние, т.е. пока не будет выполняться условие (4):

$$[o_1, o_2, \dots, o_g]_{\beta} = [o_1, o_2, \dots, o_g]_{\beta-1}; \quad (4)$$

2. Пока не возникнет устойчивый колебательный процесс (5), т.е. новый вектор через несколько шагов становится идентичным одному из предыдущих векторов:

$$[o_1, o_2, \dots, o_g]_{\beta} = [o_1, o_2, \dots, o_g]_{\beta-\delta}, \quad (5)$$

где $\delta \in [1; \beta]$;

3. Достигнуто определенное (заданное) число итераций β .

Анализ вектора состояния позволяет провести анализ модифицируемости спецификации требований в рамках лингвистических оценок «лучше» (число «1» в векторе состояния), «хуже» (число «-1»), «нейтрально» («0»).

Четвертая глава посвящена разработке инженерной методики, основу которой составили полученные в ходе проводившихся исследований теорети-

ческие результаты. Приводится описание инженерной методики оценивания качества требований к программным средствам на ранних стадиях их жизненного цикла с точки зрения функциональной полноты, корректности, модифицируемости. Методика позволяет учитывать различные мнения заинтересованных лиц на потребительские свойства и характеристики программных средств. Разработанная инженерная методика позволила определить наличие неявных связей между требованиями на ранних этапах жизненного цикла, а также провести оценку изменяемости требований.

Приведены результаты использования инженерной методики при анализе требований, предъявляемых к программному компоненту программно-аппаратного комплекса медиашлюза TDMoP, разработанному на предприятии АО «НИИ «Солитон»; приводятся результаты анализа эффективности внедрения инженерной методики.

Для анализа эффективности разработанной инженерной методики применялись методы сетевого планирования с возможностью расчета критического пути. Приведены сетевые графики, отображающие последовательность работ и их длительность в рамках создания программного компонента медиашлюза на основе ранее применявшихся подходов и с применением разработанной инженерной методики. Длительность работ без использования методики определялась на основе экспертных оценок. Длина каждой из работ после внедрения разработанной методики определялась экспериментально. Анализ эффективности показал, что применение разработанной методики позволило сократить время до 30%, затрачиваемое на такие задачи как разработка, согласование и утверждение требований за счет формирования согласованных спецификаций требований, так как применение инженерной методики предполагает активное участие в обсуждении технического задания заинтересованных сторон с ранних стадий жизненного цикла объектов, т.е. вовлеченность представителей заказчика в обсуждение свойств разрабатываемого объекта, что позволяет уменьшить время, затрачиваемое на доработку по замечаниям.

В заключении изложены основные результаты работы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработаны метод, модель и на их основе алгоритм анализа непротиворечивости требований, основанный на новом системном сочетании аппарата знаково-ориентированных нечетких графов, формируемых на основе системной модели «Дом качества», отличающийся тем, что анализ непротиворечивости требований сводится к формальному анализу как прямых, так и транзитивных связей между требованиями, и позволяет повысить обоснованность решений при анализе спецификаций требований пользователей, что делает возможным ускорить процесс согласования требований.

2. Разработан метод и на его основе алгоритм анализа качества программных средств в части оценки целесообразности модификации требований, основанный на новом системном сочетании подмножеств и матрицы взаимосвязи (компоненты системной модели «Дом качества»), а также модификации известного метода «идеальной точки». Разработанный метод отличается от известных подходов к оценке целесообразности модификации требований тем, что позволяет анализировать последствия внесения изменений в отдельное требование с целью улучшения свойств программного средства по сравнению с программными средствами аналогичного назначения и повысить обоснованность решений при анализе спецификаций требований пользователей.

3. Разработан метод и на его основе алгоритм анализа качества программных средств в части анализа последствий модификации требований, основанный на системном сочетании подмножеств и матрицы смежности (компоненты системной модели «Дом качества»), а также использовании известных алгебраических методов и критериев анализа устойчивости систем. Разработанный метод отличается от известных подходов к анализу модифицируемости требований тем, что позволяет свести задачу исследования последствий модификации одного из требований к исследованию устойчивости системы требований на стадии формирования концепции программного средства и повысить обоснованность решений при анализе спецификаций требований пользователей.

4. Разработана инженерная методика и прототипы программного обеспечения для оценивания качества спецификаций требований, предъявляемых к программному средству, с точки зрения непротиворечивости и модифицируемости. Разработанная инженерная методика позволяет повысить обоснованность оценки качества требований пользователей, а разработанные прототипы программного средства позволяют автоматизировать процедуру оценки качества требований с точки зрения их непротиворечивости и модифицируемости.

Выполнена апробация инженерной методики и прототипов программных средств на примере анализа качества спецификаций требований, предъявляемых к медиашлюзу TDMoP, разработанному на предприятии АО «НИИ «Солитон». Разработанная методика позволила сократить на 30% сроки формирования согласованных требований к свойствам программного средства с учетом различных мнений заинтересованных лиц на стадии системного проектирования.

Перспективы дальнейшей разработки темы

В работе были разработаны методы анализа свойств требований на основе модели «Дом качества», представляющего собой первую компоненту модели ASI, соответствующей начальной стадии жизненного цикла программного средства. В дальнейшем предполагается развить эти методы для анализа

свойств взаимосвязанных требований, соответствующих последующим стадиям жизненного цикла программного средства и связанных с ним фаз программного проекта на основе V-модели.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК

1. Курунова, Р.Р. Информационная поддержка принятия решений при проектировании аппаратуры связи на основе «Дома качества» / В.Е. Гвоздев, Р.Р. Курунова, А.Ю. Хасанов // Вестник УГАТУ. – 2015. Т. 19. – №1 (67). – С.138-146.

2. Курунова, Р.Р. Выявление противоречий в требованиях к программному продукту на основе исследования непрямых связей между ними / В.Е. Гвоздев, О.Я. Бежаева, Р.Р. Курунова // Программная инженерия. – 2015. – №7. – С. 11-20.

3. Курунова, Р.Р. Сравнительный анализ проектных решений по комплексу потребительских свойств и технических характеристик объектов / Б.Г. Ильясов, В.Е. Гвоздев, О.Я. Бежаева, Р.Р. Курунова // Информационные технологии. – 2016. – Т.22. – №10. – С. 764-770.

В других рецензируемых изданиях

4. Курунова, Р.Р. Формальные процедуры анализа требований к объектам критического назначения на ранних стадиях проектирования / В.Е. Гвоздев, М.А. Абдрафиков, Р.Р. Курунова // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Перспективы развития и совершенствования СБУ РВСН – принципы и технологии». – Королев: 4 ЦНИИ Минобороны России, 2016. – №129.

Объекты интеллектуальной собственности

5. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ №2017610993 Программа формирования значений матрицы взаимосвязи крыльца и крыши «Дома качества» на основе несовпадающих оценок экспертов / Р.Р. Курунова. Зарег. 19.01.2017г. – М.: Роспатент, 2017.

Монография

6. Криони, Н.К. Элементы системной инженерии. Технологии формирования требований к аппаратно-программным комплексам на основе экспертно-статистических методов: монография / [Н.К. Криони и др.]. – Москва: «Издательство «Инновационное машиностроение», 2017. – глава 6, Курунова Р.Р. Поддержка управления проектированием требований на основе структурного и математико-статистического моделирования.

В трудах международных и всероссийских конференций

7. Курунова Р.Р. Методы оценки качества требований к программным средствам на ранних стадиях жизненного цикла на основе QFD-методологии / Р.Р. Курунова // Труды IV международной конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений». – Уфа: УГАТУ, 2016. – Т. 3. – С. 111-114.

8. Курунова, Р.Р. Формализация требований к изделиям радиоэлектронной промышленности при помощи QFD-методологии / Р.Р. Курунова // Сб. науч. трудов VIII Всероссийской зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы в науке и технике». – Уфа: УГАТУ. – 2014. – Т. 1. – С. 196-199.

9. Курунова, Р.Р. Использование «Домов качества» при разработке и производстве радиоэлектронных изделий / Р.Р. Курунова // Сб. трудов IX Всероссийской молодежной научной конференции «Мавлютовские чтения». – Уфа: УГАТУ. – 2014. – Т. 3. – С. 283-284.

10. Курунова, Р.Р. Реализация водопадной модели на основе домов качества / В.Е. Гвоздев, О.Я. Бежаева, Р.Р. Курунова // Труды II международной конференции «Интеллектуальные технологии обработки информации и управления». – Уфа: УГАТУ, 2014. С. 54-58.

11. Курунова, Р.Р. Использование аппарата «Дом качества» в анализе проектных решений при разработке радиоэлектронных модулей / В.Е. Гвоздев, О.Я. Бежаева, Р.Р. Курунова // Труды IV международной научной конференции «Информационные технологии и системы». – Челябинск: ЧелГУ, 2015. – С. 110-112.

12. Курунова, Р.Р. Информационная поддержка принятия решений на ранних стадиях проектирования на основе концепции «Дома качества» / В.Е. Гвоздев, О.Я. Бежаева, Р.Р. Курунова, Д.Р. Ахметова // Труды II международной конференции «Интеллектуальные технологии обработки информации и управления». – Уфа: УГАТУ, 2015. – Т. 1. – С. 144-147.

13. Курунова, Р.Р. Использование аппарата «Дом качества» для случая обработки несовпадающих оценок группы экспертов / Р.Р. Курунова // Труды V международной научной конференции «Информационные технологии и системы». – Челябинск: ЧелГУ, 2016. – С. 115-118.

14. Курунова, Р.Р. Комплексный анализ устойчивости требований к компонентам АПК на основе технологии «Дом качества» / В.Е. Гвоздев, В.И. Васильев, Р.Р. Курунова // Труды IV международной конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений». – Уфа: УГАТУ, 2016. – Т. 1. – С. 45-48.

Диссертант

Р. Р. Курунова

Р. Р. Курунова