

На правах рукописи



Галочкин Михаил Владимирович

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБРАЗНО-  
СЕМАНТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ  
ПРОЦЕССОВ РЕШЕНИЯ ПРОЕКТНЫХ ЗАДАЧ**

Специальность: 05.13.12 – Системы автоматизации  
проектирования (промышленность)

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ульяновск – 2017

Работа выполнена на кафедре «Вычислительная техника»  
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»

Научный руководитель – **Соснин Петр Иванович**,  
доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой «Вычислительная техника»  
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный техни-  
ческий университет»

Официальные оппоненты:

**Виноградов Геннадий Павлович**,  
доктор технических наук,  
профессор кафедры «Информатика и прикладная  
математика» ФГБОУ ВО «Тверской государствен-  
ный технический университет»

**Липатова Светлана Валерьевна**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Телекоммуникационные  
технологии и сети» ФГБОУ ВО «Ульяновский го-  
сударственный университет»

Ведущая организация – **ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный  
технический университет»**

Защита состоится «15» марта 2017 г. в 15 часов 00 минут на заседании дис-  
сертационного совета Д 212.277.01 при Ульяновском государственном техниче-  
ском университете по адресу: 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32  
(ауд. 211, Главный корпус).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ульяновского государст-  
венного технического университета. Также диссертация и автореферат размеще-  
ны в Internet на сайте УлГТУ – <http://www.ulstu.ru/main/view/article/19385>.

Автореферат разослан «12» января 2017 г.

**Ученый секретарь**

диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор



Смирнов Виталий Иванович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы.

Расширяющаяся компьютеризация всех сфер человеческой активности, включая различные виды персональной и коллективной деятельности, уже вывела на необходимость осуществления профессиональной деятельности в условиях социо-киберфизической реальности (СКФ-реальности), в которой различные неодушевленные предметы, за счет использования разнообразных вычислительных ресурсов и сенсорных возможностей, наделяются подобием интеллектуальных функций и поведения. Создавая человека, природа, не рассчитывала на появление таких кибер-посредников во взаимодействии человека с его окружением, что уже сейчас является источником серьезных проблем, среди которых выделяется «проблема чрезвычайно низкой успешности» (степень успешности около 30%, несмотря на попытки её повысить за последние 12 лет) разработок таких составляющих СКФ-реальности как системы, интенсивно использующие программное обеспечение.

Отмеченная причина проблем (существенное различие между взаимодействием человека с физическим миром и с компьютеризованными приложениями) и сами проблемы приводят к новым постановкам вопросов и идей о формах человеко-компьютерного взаимодействия с СКФ-реальностью. Среди таких вопросов и идей особо важны те, которые имеют отношение к процессам разработки составляющих СКФ-реальности, потому что в них нельзя не учитывать необходимость эффективного комплексирования естественных и компьютеризованных составляющих взаимодействия разработчиков (в первую очередь проектировщиков) со средой разработки. Более того, эти специалисты должны учитывать будущее взаимодействие пользователей с разрабатываемыми компьютеризованными продуктами.

Вышесказанное указывает на актуальность научных исследований и разработок, нацеленных на снижение существующих различий между формами естественного взаимодействия человека с физическим миром и формами взаимодействия, которые «навязываются» ему современной практикой разработки компьютеризованных сред. Для снижения различий в диссертации предлагается ряд новаций, в основу которых положено моделирование естественной экспериментальной активности проектировщика, в процессе которой он согласованно использует мысленное (визуальное) воображение и понятийные механизмы сознания.

Моделирование экспериментальной активности в диссертации рассматривается и осуществляется в рамках решения проектных задач в процессах разработки систем, интенсивно использующих программное обеспечение (Software Intensive Systems, SIS), как самых проблемных составляющих современных компьютеризованных сред, для которых накоплена большая коллекция причин низкой успешности разработок, а также библиотека методов и средств, способствующих повышению эффективности работ. Неоценимый вклад в эту проблемную область внесли S. W. Ambler, V. R. Basili, G. Booch, I. Jacobson, A. Cockburn, W. S. Humphrey, Ph. Kruchten. Отметим, что к классу SIS относятся автоматизированные системы (АС), для которых в отечественной нормативной базе накоплен богатый опыт.

В диссертационной работе роль **области исследования** возложена на управляемый моделями процесс решения проектных задач в условиях оперативного взаимодействия с доступным опытом и его моделями.

**Направление исследования** связано с построением в процессе решения проектных задач их моделей повторного использования (моделей прецедентов), согласованных с естественно-профессиональным опытом.

Функции **объекта исследования** выполняет визуальная поддержка процессов решения, управляемого моделями, в число которых включены модели прецедентов.

**Предметом исследования** являются модели, методы и средства образно-семантического сопровождения прецедентно-ориентированного решения проектных задач в разработках автоматизированных систем.

**Целью диссертационной работы** является прецедентно-ориентированное решение проектных задач, управляемое оперативным построением и использованием образно-семантических моделей, обеспечивающих программно-контролируемое обнаружение ошибок и их предотвращение в условиях повторного использования моделей решений.

#### **Задачи диссертационного исследования.**

1. Провести анализ современных методов, моделей и средств визуализации, которые применяются при решении задач в САПР и смежных областях.
2. С позиций автоматизации, провести анализ таких составляющих интеллектуальной обработки задачных ситуаций как: мысленное экспериментирование на основе данных, поступающих от органов чувств и активности феномена «интеллектуальное воображение» (ограничившись вопросами визуализации); диалоговая структуризация мысленных представлений и их семантический анализ; итеративное согласование названных интеллектуальных активностей, способствующих пониманию результатов обработки.
3. Разработать модифицированную версию метода пошаговой детализации, адаптировав его реализацию к итеративному построению для проектных задач соответствующих моделей прецедентов, при формировании которых используется понятийно-образное сопровождение.
4. Разработать метод согласованных преобразований между образно-семантическими моделями и их вопросно-ответными представлениями, а также псевдокодowymi и прологоподобными программными описаниями моделей.
5. Разработать необходимые компоненты (включая специализированный графический редактор моделей), как расширения инструментальной среды концептуального проектирования WIQA (Working In Questions and Answers), обеспечивающие образно-семантическую поддержку прецедентно-ориентированного решения проектных задач.
6. Оценить эффективность предложенных моделей, методов и средств.

**Методы исследования** основаны на использовании положений и методов теории множеств, теории классификации, теории графов, теории автоматов, теории автоматизированного проектирования, основ системотехники.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается полнотой и корректностью исходных посылок, логичностью рассуждений (использующих вопросно-ответную формализацию и анализ), а также вычислительными экспериментами и результатами практического использования.

**На научную новизну претендуют:**

1. Типизированный набор образно-семантических моделей и система их согласованных преобразований в процессе решения проектных задач, отличающихся тем, что для каждого типа визуальных моделей используется версия их представления, ориентированная на программную интерпретацию, в том числе в формах прототипирования решений.
2. Метод понятийно-образной поддержки процесса пошаговой детализации в прецедентно-ориентированном решении проектных задач, обеспечивающий конструктивное и управляемое включение автоматизированного концептуального экспериментирования и моделирования, способствующие обнаружению и предотвращению семантических ошибок.
3. Метод итеративного согласования понятийного и образного содержания текстовых единиц (предложений текста постановки задачи) с использованием их преобразования в прологоподобную форму, специфику которого определяет взаимодополняющее итеративное уточнение графического и текстового представления требований и спецификаций с использованием автоматизированного взаимодействия с онтологией, что способствует обнаружению ошибок и пониманию текстов.

**Практическая ценность** полученных результатов состоит в разработке программного обеспечения, включающего следующие компоненты.

1. Комплекс инструментально-технологических средств, обслуживающий авторский подход к прецедентно-ориентированному решению профессиональных задач с использованием образно-семантической поддержки, способствующей конструктивному и управляемому включению в процессы решения мысленного воображения и повышающий эффективность человеко-компьютерного взаимодействия.
2. Средства контроля версий вопросно-ответных проекций графических моделей, учитывающие специфику такого представления и позволяющие фиксировать этапы работы над задачей и переключаться между ними с целью возврата или проверки корректности полученных результатов.
3. Средства перевода декларативного представления в согласованное с ним прологоподобное представление с целью экспериментирования, работы со словарем онтологий и поиска семантических ошибок.
4. Средства перевода концептуально-алгоритмического представления в согласованное с ним псевдокодированное представление и отладка его в псевдокодированном интерпретаторе.

**На защиту выносятся следующие результаты:**

1. Представление экземпляров типизированного набора образно-семантических моделей в виде согласованной композиции их визуального и программного представлений, ориентированных на решение проектных задач, управляемое моделями (model-driven development).

2. Взаимодополняющее итеративное уточнение графического и текстового представления требований и спецификаций с использованием автоматизированного взаимодействия с онтологией.
3. Использование пошаговой детализации в формировании постановки задачи для управления процессом построения концептуального решения в виде ее модели прецедента.

**Реализация и внедрение результатов работы.** Разработанные программные средства внедрены в практику работы ОАО НПО «Марс» (г. Ульяновск), ООО «ФБ-Групп» (г. Москва), Нижегородское отделение компании Intel (г. Нижний Новгород) и учебный процесс Ульяновского государственного технического университета (г. Ульяновск).

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых «Информатика и вычислительная техника» (ИВТ-2010), г. Ульяновск, 2010; Российской конференции «Информатика и вычислительная техника» (ИВТ-2012), г. Ульяновск, 2012; Российской школе-семинаре «Информатика, моделирование, автоматизация проектирования» (ИМАП-2012), г. Ульяновск, 2012; Российской школе-семинаре «Информатика, моделирование, автоматизация проектирования» (ИМАП-2013), г. Ульяновск, 2013; Научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава (ППС-2013), г. Ульяновск, 2013; XI International conference on interactive systems: problems of human-computer interaction, г. Ульяновск, 2015; Научно-технической конференции семантические модели и технологии (TEL-2016), г. Казань; The First International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry» (ITI'16), г. Сочи, 2016; Всероссийская школа-семинар ИМАП-2016, г. Ульяновск, 2016.

**Публикации.** По проблеме диссертации опубликованы 19 печатных работ, в том числе 3 статьи в российских рецензируемых научных журналах, и 1 статья в издании индексируемом в SCOPUS.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 218 страницах машинописного текста, содержит 106 рисунков, 6 таблиц, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 105 наименований на 10 страницах и 1 приложения на 5 страницах с актами о внедрении.

**Соответствие паспорту специальности.** Диссертационное исследование и его результаты соответствуют позициям 4, 3 и 8 паспорта специальности 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования (промышленность)».

**Сведения о личном вкладе автора.** Научные результаты проведенных исследований, которые представлены в диссертационной работе и, выносимых на защиту, получены автором лично. Научному руководителю, принадлежит выбор направления исследований, постановка задачи и конструктивное обсуждение. В публикациях с соавторами вклад соискателя определяется рамками представленных в диссертации результатов.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** проведено обоснование актуальности исследований, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, представлены её претензии на научную новизну и практическую ценность, а также обобщенно раскрыты структура и содержание работы.

**В первой главе**, в контексте проблемы успешности разработок систем с программным обеспечением, проводится сопоставление естественного взаимодействия человека с физическим миром и его взаимодействия с компьютеризованными средами. Проводится обзорно-тематический анализ использования образной графики в автоматизированном проектировании, представляется идейная сторона диссертационного исследования и формулируется обобщённая постановка задачи исследования.

Рассмотрение начинается с общих методов представления информации в графическом виде, которые используются в различных отраслях знаний и собраны в виде периодической таблицы визуальных методов. Проанализировано порядка 40 методов из 3 различных групп (методы исследования задачи, визуализации задачи или решения и методы анализа причин), которые могут быть использованы в процессе решения различных видов задач. Для анализа нотаций исследовались UML (2.x версии), Influence Diagram, BPEL, ДРАКОН и другие. При анализе компьютерных систем рассматривались как отечественные (“Графит-Флокс”), так и иностранные (Intentional Platform, Activiti и другие) разработки.

По результатам анализа выбран ряд установок, определяющих идейную основу образно-семантической поддержки, разрабатываемой в диссертационном исследовании:

1. В решении проектной задачи должно использоваться итеративное формирование модели прецедента, нормативная схема которого наполняется содержанием в процессе пошагового формирования постановки задачи в результате вопросно-ответного анализа её состояния.
2. Построение необходимых образно-семантических моделей должно осуществляться и использоваться в автоматизированных мысленных экспериментах, каждый из которых, по определённым причинам, затребован в прецедентно-ориентированном пошаговом решении проектной задачи.
3. Используемые образно-семантические модели должны быть типизированы и специфицированы так, чтобы они были согласованы с нормативной моделью прецедента, допуская полезные преобразования между типами и переходы к их программным представлениям.

Отмечается, что повышению естественности взаимодействия проектировщика со средой его деятельности, способствует применение им совокупности методов и средств интеллектуальной обработки решений проектных задач, в которой используются аналогии с обработкой условных рефлексов. Основой таких рефлексов служат механизмы правого полушария, интегрирующие активность органов чувств и/или имитирующие такую активность, и механизмы левого полушария, включающие в интеллектуальную обработку использование естественного языка.

Подчёркивается, что для повышения естественности взаимодействия полезно адекватно моделировать следующие составляющие интеллектуальной обработки:

- мысленное экспериментирование на основе данных, поступающих от органов чувств и активности феномена «интеллектуальное воображение» (mental imagery, имитация восприятия без потока данных от органов чувств);
- диалоговая структуризация мысленных представлений и их семантический анализ;
- итеративное согласование названных активностей, порождающее понимание результатов обработки.

Акцент на указанные выше интеллектуальные активности правого и левого полушарий используется из-за того, что в разработанной системе средств, центральное место занимает моделирование феномена «интеллектуальное воображение», без которого проектная деятельность просто невозможна. Проектировщикам, особенно на концептуальном этапе проектирования, постоянно приходится «интеллектуально воображать», представляя сложившееся в процессе проектирования (или необходимые для процесса или его результата) сущности без опоры на информационные потоки, порождаемые органами чувств при взаимодействии с физической реальностью, то есть без опоры на естественное предназначение органов чувств.

Формулируется следующая обобщённая задача исследований:

***1. Разработать комплекс средств, обеспечивающих пошаговое формирование постановки проектной задачи, состояние которой представляется взаимосвязанной совокупностью текстовых, графических и концептуально-алгоритмических моделей.***

***2. В основу пошагового формирования положить механизмы разработок, управляемых моделями, в процессе которых положить итеративное согласование текстов с графикой и алгоритмической составляющей, нацеленное на обеспечение необходимого понимания и повторного использования.***

***3. Разработка должна осуществляться в инструментально моделирующей среде WIQA, так чтобы построенный комплекс средств был включен в нее как расширение.***

Проведён вопросно-ответный анализ задачи, одним из результатов которого является выбор следующего набора типов образно-семантических моделей:

1. Изобразительный тип, обеспечивающий визуальную поддержку мысленного воображения (и экспериментирования) и представления его эффектов в прецедентно-ориентированном решении проектных задач.
2. Декларативный тип, обслуживающий акты понимания в формировании постановки задачи и логическую проверку её приращений в пошаговом вопросно-ответном анализе.
3. Концептуально-алгоритмический тип, обслуживающий визуальную поддержку в построении концептуальных программных решений в работе с проектными задачами и их моделями прецедентов.

Ещё одним важным результатом вопросно-ответного анализа постановки задачи исследования является построение мотивационно-целевой диаграммы, регистрирующей связанную совокупность положительных эффектов (от решения задачи исследований) и средств их достижения. В числе таких эффектов присутствуют повышение эффективности поиска семантических ошибок, возможность контроля версий этапов решения задачи, динамическая визуализация процессов создания моделей и возможность автоматизированного перехода к их программным версиям, ориентация на повторное использование.

**Во второй главе** разработаны теоретические основы прецедентно-ориентированного процесса решения проектных задач посредством согласования графических и текстовых проекций типизированного набора образно-семантических моделей. Представлен общий подход к сопровождению процессов решения проектных задач, приводится формализация графических и программных проекций этих моделей (декларативная, концептуально-алгоритмическая и изобразительная), обобщенно представляются метод итеративного согласования постановки задачи и метод пошаговой детализации в прецедентно-ориентированном решении.

В основу теоретизации положено формирование концептуального решения проектной задачи, обобщённая схема которого приведена на рисунке 1.

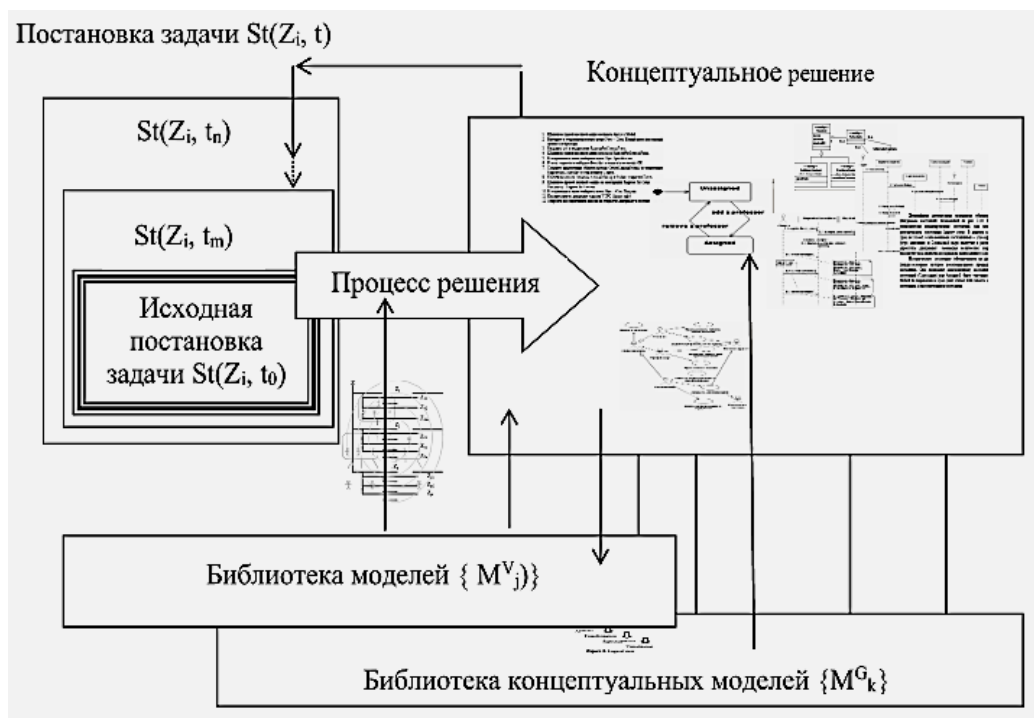


Рисунок 1. Среда концептуального решения проектных задач

Концептуальные решения задач формируются на концептуальном этапе проектирования SIS и AC, причём жизненный цикл любой новой задачи  $Z_i$  начинается с реакции на её семантику. Таковую семантику лучше зарегистрировать с помощью набора знаков  $\{W_Q\}$  в виде набора ключевых слов. Следующим шагом является осознание этого множества, в результате чего проектировщик формулирует первоначальную постановку задачи  $St(Z_i, t_0)$ . С этого момента времени  $t_0$  жизненного цикла, состояние задачи становится наблюдаемой в определённом визуаль-

ном виде. Далее, шаг за шагом, с использованием концептуальных действий проектировщик решает задачу, и регистрирует состояние процесса с помощью текущего описания постановки задачи  $St(Z_i, t_j)$ . Любое состояние  $St(Z_i, t_n)$  этого описания обусловлено набором текстовых и графических моделей, которые были созданы и использованы проектировщиком до момента времени  $t_n$ .

На рисунке 1 показаны два источника концептуальных моделей, которые применяются в процессе решения. Они условно называются библиотеками, чтобы подчеркнуть, что такие модели могут быть использованы для хранения и повторного использования моделей множества текстовых (вербальных) описаний (моделей)  $\{M^V_J\}$  и графических моделей  $\{M^G_K\}$ . В диссертационном исследовании представленный подход к построению концептуальных решений проектных задач реализован на базе инструментальной среды WIQA, в которой проектировщик создает и изменяет постановку  $St(Z_i, t)$ , применяя метод пошаговой детализации на основе QA-анализа и моделирования (рисунок 2).

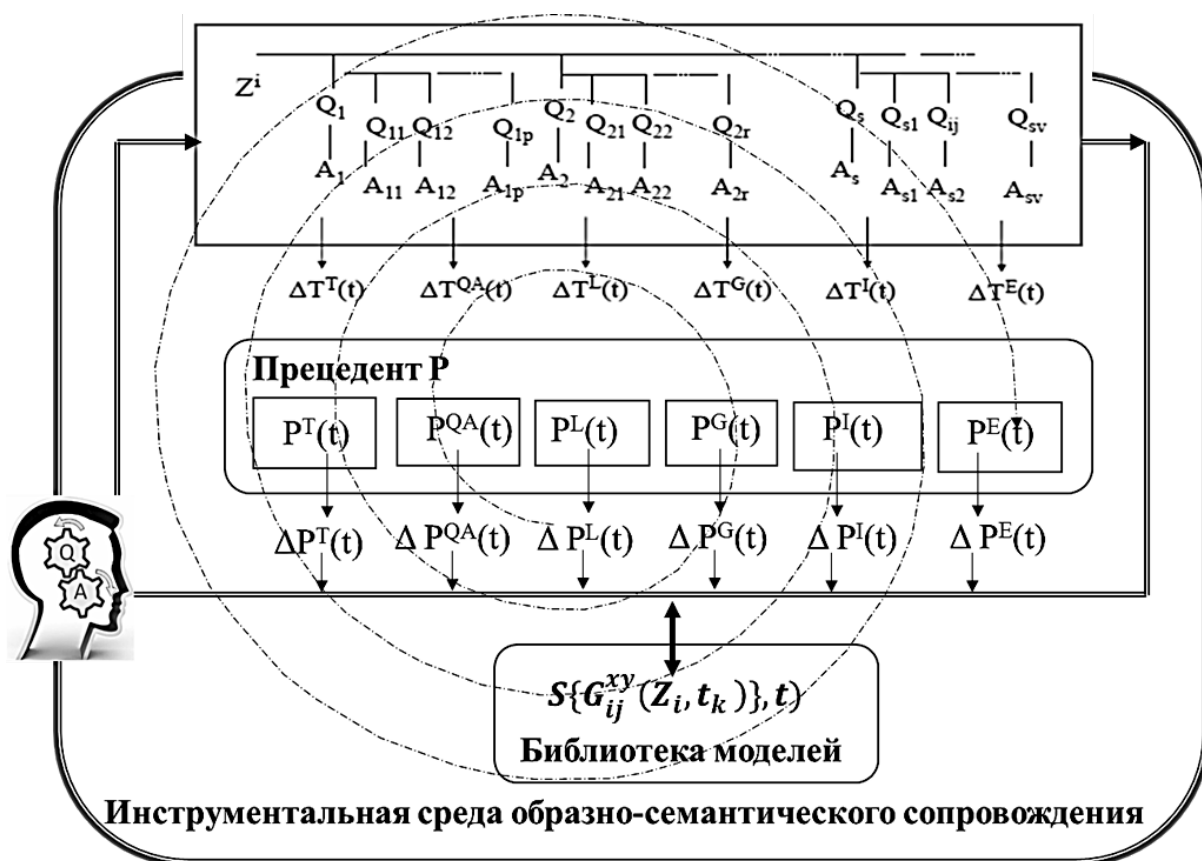


Рисунок 2. Метод пошаговой детализации постановки задачи

На рисунке 2, постановка задачи  $St(Z_i, t)$  в форме QA-дерева выполняет роль источника текстовых приращений  $\{\Delta T_{nu}^{mx}(Z_i, t_j)\}$ , каждое из которых (с индексом  $u$ ) формулируется на  $m$ -уровне и  $n$ -стадии пошагового уточнения для создания следующего приращения  $\Delta P_{nu}^{mx}(Z_i, t_j)$ . X-компоненты прецедента модели  $P(t)$ . В рамках данного исследования используется структура прецедента, которая представляет собой совокупность следующих X-компонентов: текстовое описание  $P^T(t)$  прецедента; вопросно-ответное описание  $P^{QA}(t)$  в виде зафиксированных

QA-рассуждений; логические формулы  $P^L(t)$ ; графическая (диаграмма) представление  $P^G(t)$ ; псевдокод модель  $P^I(t)$  в виде программы псевдокода; и модель, которая представляет свой исполняемый код  $P^E(t)$ .

Формально, переход от приращения текста к соответствующему приращению составляющей прецедента  $P^G(t)$  определяется выражением:

$$\Delta T_{nu}^{mG}(Z_i, t_j) \xrightarrow{R_1^G} \Delta P_{nu}^{mG}(Z_i, t_k)$$

где  $R_1^G$  является отображением, обеспечивающим переход «текст-графика», и  $R_1^G$  является уникальным индексом этого перехода. Если целью перехода является достижение понимания, тогда

$$\Delta P_{nu}^{mG}(Z_i, t_k) = M_v^{Gy}(Z_i, t_k)$$

где  $M_v^{Gy}(Z_i, t_k)$  является графическая модель с уникальным индексом  $v$  и  $u$  это тип подчиненной модели, с которым изображение  $M_v^{Gy}(Z_i, t_k)$  должно быть связано. В качестве элемента повторного использования, этот образ должен быть встроен в библиотеку  $S(\{M_v^{Gy}(Z_i, t_k)\}, t)$ .

Далее приращение графики может привести к следующему отображению:

$$\Delta P_{nu}^{mG}(Z_i, t_k) \xrightarrow{R_2^x} \Delta St_p^G(Z_i, t_r)$$

в результате которого, будет изменено текущее состояние постановки задачи

$$St(Z_i, t_r) = St(Z_i, t_r) \cup \Delta St_p^G(Z_i, t_r)$$

Отметим, переходы между другими видами приращений  $\Delta T_{nu}^{mx}(Z_i, t_j)$  и  $\Delta P_{nu}^{mG}(Z_j, t_k)$  также приводят к сходным результатам и эффектам. Таким образом, в процессе пошагового уточнения, с использованием обратной связи, разработчик создает модель прецедента и использует её для построения решения соответствующей задачи.

Специфику построения концептуального решения задачи определяют:

1. Итеративная реализация метода управляется текущими результатами  $\{\Delta T^X(t), X=(T, QA, L, G, I, E)\}$  пошаговой детализации постановки задачи  $S_t(Z_i, t)$ , регистрация которых проводится в дереве  $P^{QA}(t)$  вопросно-ответного анализа.
2. Каждое приращение  $\Delta T^X(t)$  способно привести к приращению  $\Delta P^X(t)$  соответствующей составляющей прецедента  $P$ , среди которых принципиальное место занимают образно-семантические модели, которые аккумулируются в библиотеку моделей.
3. Каждая графическая модель, в зависимости от её типа (изобразительный, декларативный, концептуально-алгоритмический) создаётся проектировщиком в соответствующей операционной среде специализированного графического редактора.
4. Каждую графическую модель, если в этом имеется необходимость, проектировщик может подключить к соответствующему блоку постановки задачи.
5. Для повышения эффективности визуального моделирования, проектировщику предоставлена возможность автоматизированного преобразования типов (рисунок 3) для создаваемых или созданных графических моделей.

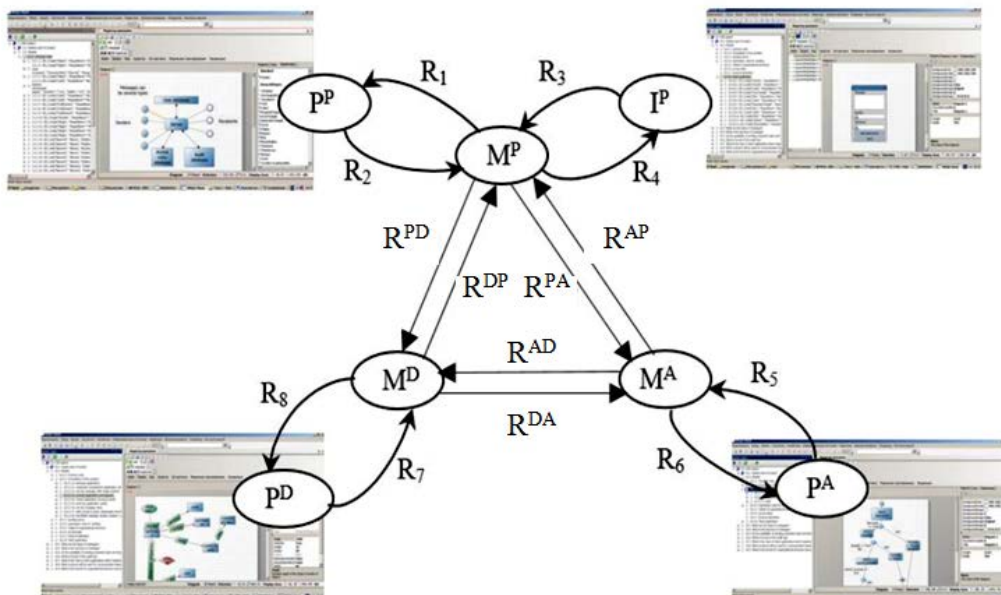


Рисунок 3. Трансформации в процессе решения проектной задачи

На рисунке показаны возможности автоматического или автоматизированного перевода между тремя видами моделей. Множество отношений состоит из пар, представляющих трансформации между соответствующими моделями различных видов (переходы  $[R^{PD}, R^{DP}]$ ,  $[R^{PA}, R^{AP}]$ ,  $[R^{DA}, R^{AD}]$ ), а также между моделями и их программных версий ( $[R_1, R_2]$ ,  $[R_3, R_4]$ ,  $[R_5, R_6]$ ,  $[R_7, R_8]$ ). Каждый из этих трансформаций осуществляется либо автоматически, либо автоматизировано (требуются действия со стороны проектировщика). Любая версия графической модели соответствует исполняемой программе, которая может быть изменена проектировщиком, например, чтобы исправить ошибки или уменьшить неопределенность в визуальной модели.

Названные действия метода повторяются в циклах итеративного формирования интегральной модели прецедента

$$P = P^S \cup P^T \cup P^{QA} \cup P^L \cup P^G \cup P^I \cup P^E$$

$$P = \{\Delta P^T\} \cup \{\Delta P^{QA}\} \cup \{\Delta P^L\} \cup \{\Delta P^G\} \cup \{\Delta P^I\} \cup \{\Delta P^E\},$$

В диссертации подробно рассматриваются показанные на рисунке 3 трансформации; делается акцент на концептуально-алгоритмическом представлении, так как ее трансформации используют семантику графа и представляются в виде:

$$G := (V, E), V - \text{множество вершин}, E := (V_i, V_j), \text{где } V_i, V_j \in G$$

Множество связей  $E$ , которые определяют граф, задается в виде пар вершин - вершину, из которой выходит связь, и в которую входит. Трансформации, представленные на рисунке 3, состоят из определенного набора правил, которые описываются в виде графа поиска и графа замены и имеют вид:

$$Rule := (G_1, G_2),$$

$$\text{где } G_1 := (V_1, E_1, V_{n1}, V_{k1}), V_{n1}, V_{k1} \in V_1$$

$$G_2 := (V_2, E_2), E_2 = \emptyset$$

В нашем случае, как видно из описания, граф для замены является вырожденным (множество связей  $E_2$  графа  $G_2$  является пустым множеством). Это необходимо для того, чтобы на каждом этапе получать более простой граф и в конеч-

ном итоге, путем ряда трансформаций получить граф, состоящий из одной вершины.

Сам процесс трансформации может быть представлен в следующем виде:

если  $V_1 \subseteq V \wedge E_1 \subseteq E$ , то

$$G' := (V', E'), \text{ где } V' = V \cup V_2 \setminus V_1, E' = E \cup E'_{n2} \cup E'_{k2} \setminus E_1 \setminus E'_{n1} \setminus E'_{k1},$$

где

$G'$  – граф, полученный после применения правила Rule к графу  $G$ ,

$E'_{n2}$  – множество связей исходящих из любой вершины графа  $G$  и входящих в  $V_2 \setminus V_1$ ,

$E'_{k2}$  – множество связей исходящих из  $V_2 \setminus V_1$  и входящих в любую вершину графа  $G$ ,

$E'_{n1}$  – множество связей исходящих из любой вершины графа  $G$  и входящих в  $V_1$ ,

$E'_{k1}$  – множество связей исходящих из  $V_1$  и входящих в любую вершину графа  $G$ .

Вторую главу завершает совокупность спецификаций, раскрывающая переход от формализмов к их материализации в комплексе средств образно-семантического сопровождения процессов решения проектных задач.

**В третьей главе** представлено методическое обеспечение образно-семантической поддержки. Приведена совокупность основных методик метода пошаговой детализации, а также подчинённого ему метода согласования понятийного и образного содержания текстовых единиц с использованием их преобразования в прологоподобную форму. К общей специфике методик относится то, что их использование автоматизировано посредством псевдокодowego языка, встроенного в инструментарий WIQA.

Для упрощения процесса работы со специализированным редактором, перед построением различных представлений рекомендуется выбирать соответствующий вид редактора в операционной обстановке, представленной на рисунке 4.

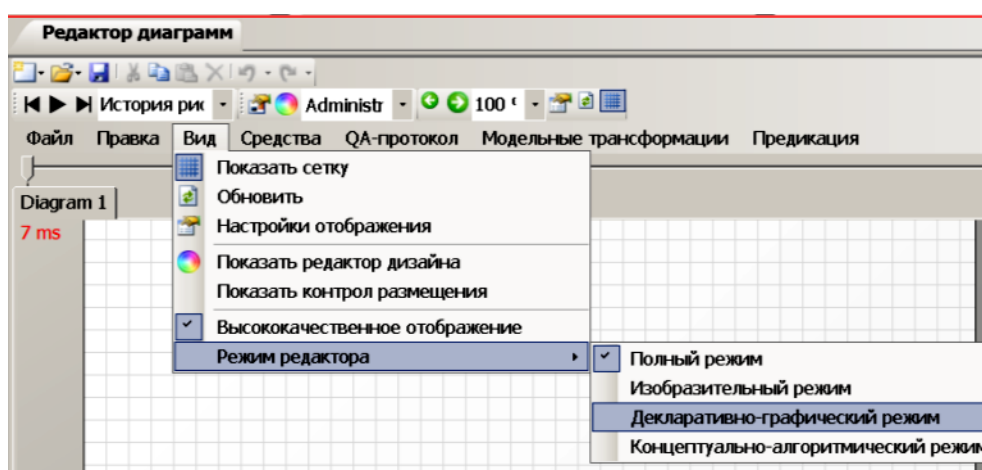


Рисунок 4. Выбор режима редактора

При выборе определенного режима происходит загрузка соответствующих палитр, изменения списка доступных опций и операций. По умолчанию выбирается полный режим, которые включает в себя все режимы. Возможные выборы

выводят на подмножества методик, обеспечивающих работу проектировщика с базовыми типами образно-семантических моделей, что отражено на рисунке 5.



Рисунок 5. Операционная ответственность методик

Важной новацией диссертационного исследования является метод согласования понятийного и образного содержания текстовых единиц, порождаемых в процессе формирования постановки задачи и её модели прецедента. Обобщённая схема этого метода приведена на рисунке 6.

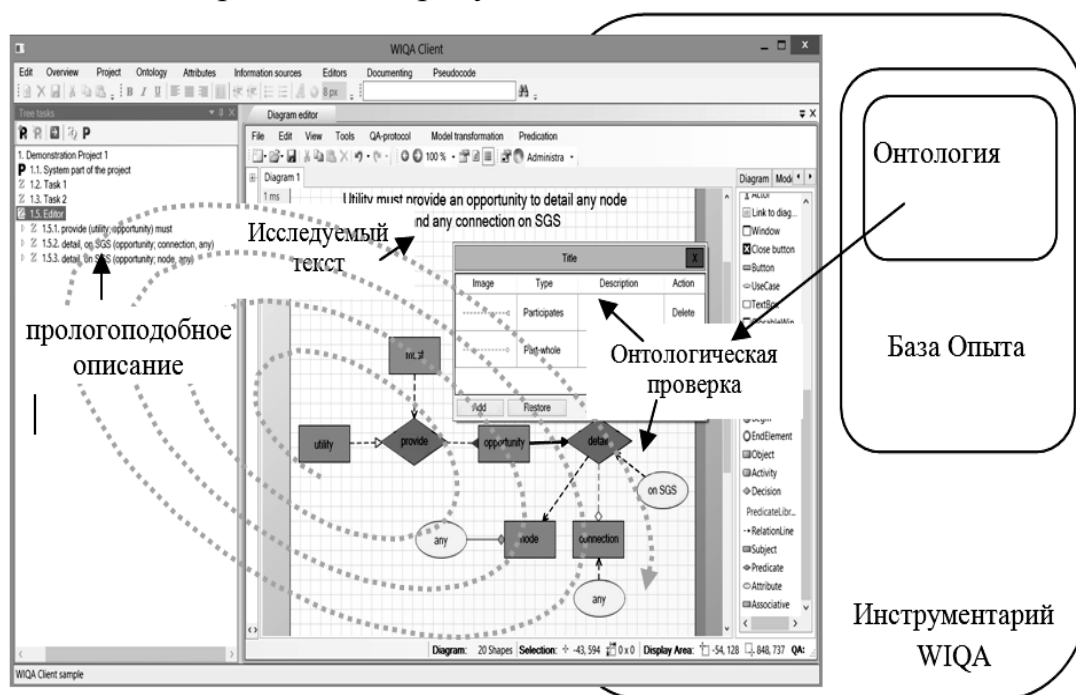


Рисунок 6. Операционная обстановка понятийного и образного согласования

Взаимодействуя с текстом  $\Delta T_{nr}^{mG}(Z_i, t_j)$ , проектировщик создает первоначальную версию своей семантической схемы  $M_v^{Gy}(Z_j, t_k)$ , что автоматически отражается на соответствующем Прологоподобном описании. Тогда это описание проверяется с использованием интерпретатора Пролога, онтологии проекта и базы опыта, и, если оно содержит ошибки, то они исправляются проектировщиком, т.е. процесс идет итеративно и приращение постановки задачи ведет к приращению графики и обратно как показано в формуле:

$$\{\Delta T_{nk}^{mr}(Z_i, t_{k-1}) \xrightarrow{R_1^x} \Delta G_{nk}^{mx}(Z_i, t_j)\}$$

$$\{\Delta G_{nk}^{mx}(Z_i, t_k) \xrightarrow{R_2^x} \Delta T_{ij}^{xy}(Z_i, t_{j+1})\}$$

Все изменения описания автоматически отражаются в семантической схеме. Проектировщик повторяет эти действия, до того состояния, когда изменения больше не требуются. Это состояние сигнализирует о том, что модели  $T_{nr}^{mG}(Z_i, t_j)$  и  $M_v^{Gy}(Z_j, t_k)$  являются взаимно согласованными, ошибки отсутствуют, а проектировщик понял текст  $T_{nr}^{mG}(Z_i, t_j)$ . Достижение необходимого уровня понимания является основной целью концептуального экспериментирования.

Ряд деталей согласования раскрывает диаграмма вариантов использования, приведенная на рисунке 7.

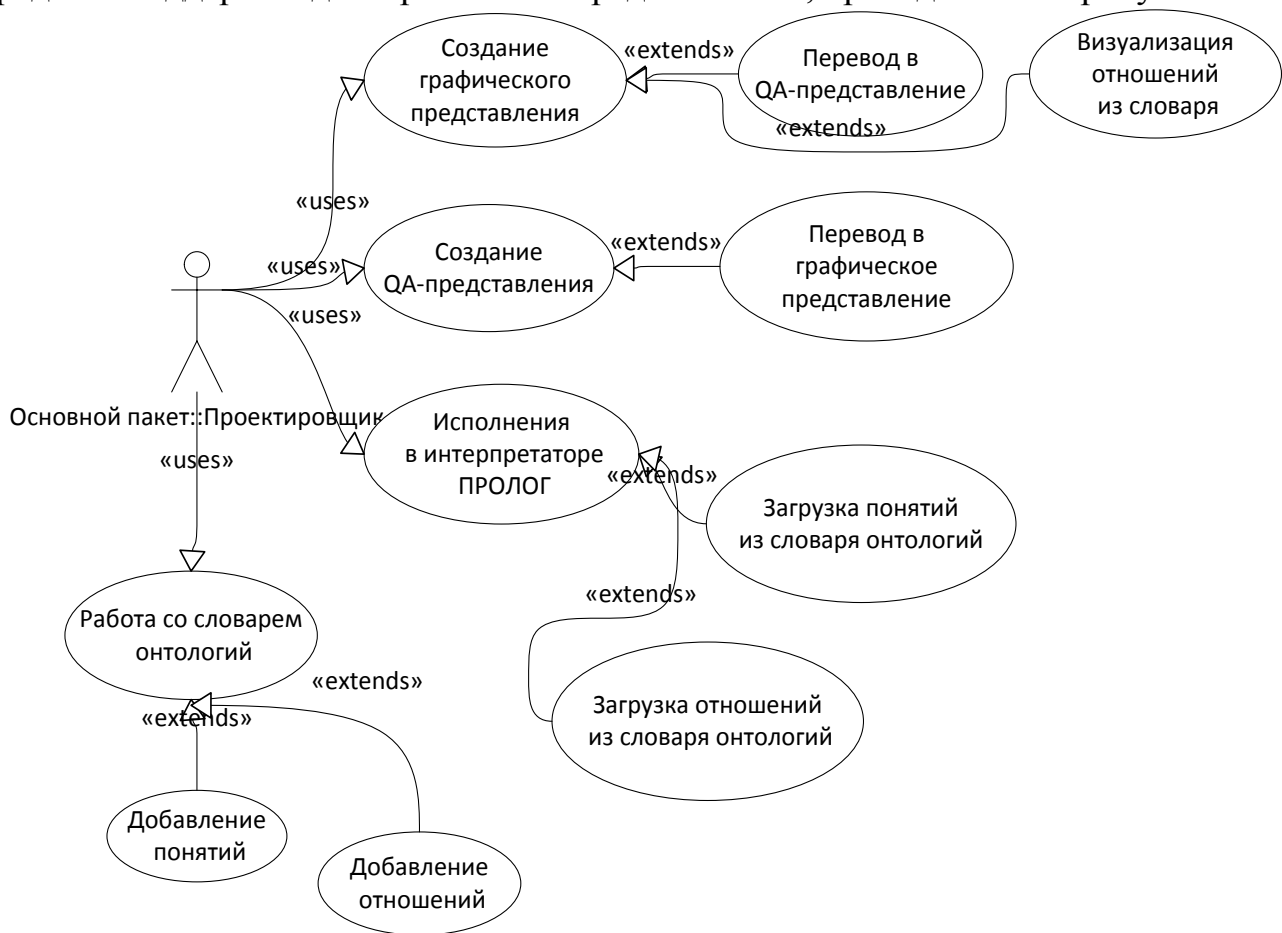


Рисунок 7. Диаграмма вариантов использования средства поддержки декларативного представления

Любая графическая проекция моделей, входящих в представленный типизированный набор, может быть автоматически трансформирована в изобразительное представление, которое представляет собой программу рисования и предназначено для управления вниманием и активации феномена интеллектуальное воображение.

В специализированном графическом редакторе реализовано несколько палитр, которые могут быть использованы при создании изобразительных моделей, одной из которых является палитра интерфейсных элементов (форма, кнопка и т.д.). Созданные интерфейсные диаграммы могут служить основой для разработки концептуально-алгоритмических моделей, графическими проекциями которых являются диаграммы вариантов использования, диаграммы активностей и классов. Текстовыми проекциями таких моделей являются псевдокодовые программы, перевод в которые осуществляется за счет применения набора правил трансформации. Диаграмма активностей процесса перевода графических проекций в их псевдокодовое представление приведена на рисунке 8.

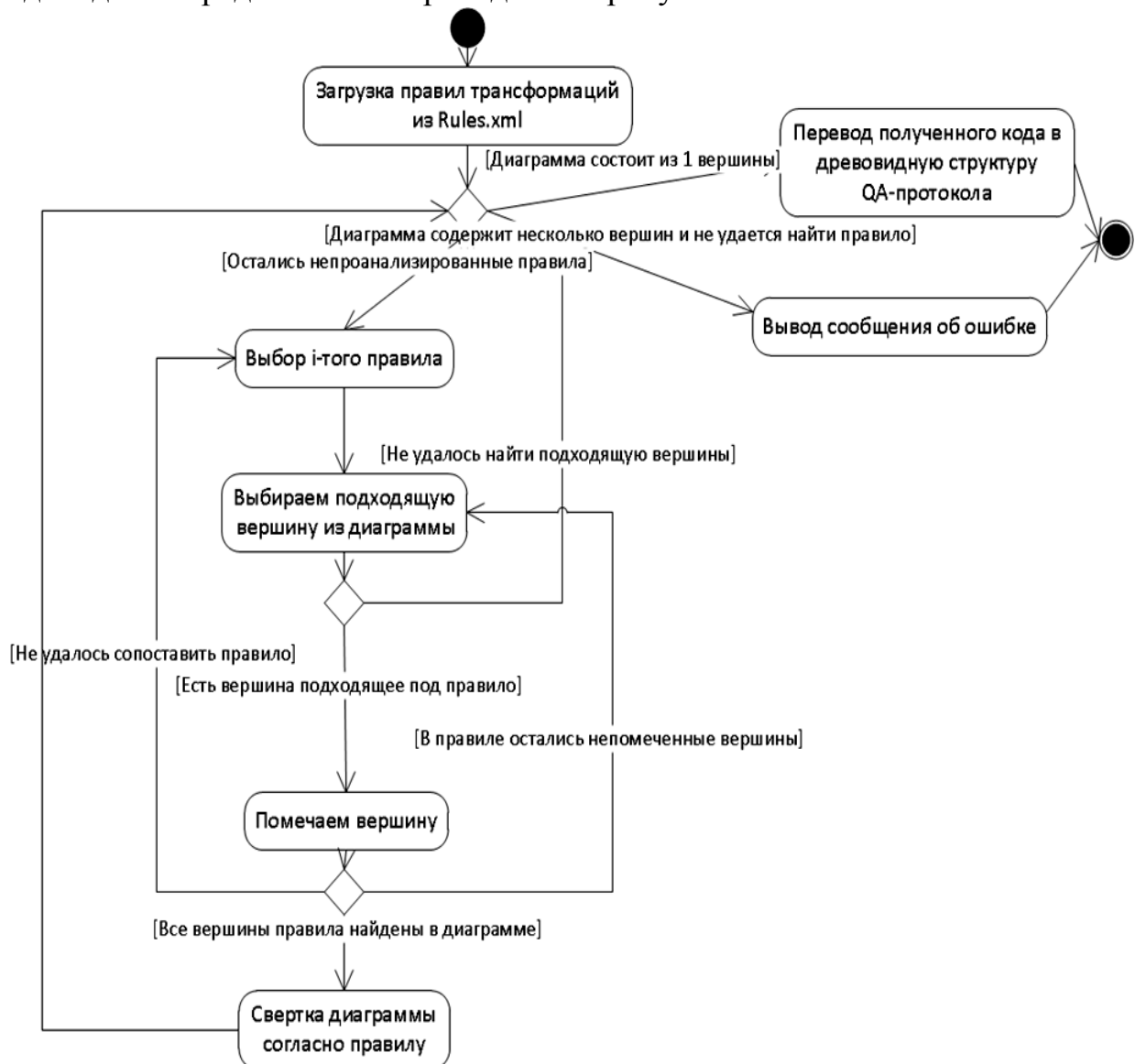


Рисунок 8. Диаграмма активностей алгоритма поиска и свертки правил трансформации

Спецификой такого перевода является применение правил трансформации, правая часть которых (RHS) является вырожденной, то есть состоит из 1 вершины. Анализ диаграмм начинается с сопоставления вершин правила вершинам диаграммы, путем выставления определенных тегов; в случае сопоставления всех вершин и связей происходит свертка правила, т.е. замена найденного подграфа на вершину определенного типа.

Третья глава завершается примерами применения предложенных в диссертации методов и средств при решении проектных задач в рамках осуществленных внедрений.

**В четвертой главе** разработана компонентная архитектура системы, представленная на рисунке 9, центральное место в которой занимает специализированный графический редактор, основанный на графическом редакторе с открытым исходным кодом NShape.



Рисунок 9. Общая структура разработанных компонентов

Глава содержит детальный анализ оригинального решения, отмечаются его преимущества и недостатки. Структура главы включает рассмотрение следующих аспектов:

1. Особенности реализации специализированного графического редактора, а также описание основных пространств, имен и классов.
2. Описание видов динамической визуализации графических моделей:
  - Последовательная визуализация графической модели, за счет пошагового выполнения программной проекции изобразительного представления.
  - Визуализация истории рисования.

- Использования различных вариантов расстановки графических моделей (доступно 4 вида).
  - Реализация последовательной демонстрации сохраненных графических моделей.
3. Реализация изобразительного представления. Приводится диаграмма классов, предложенных решений, описываются основные псевдо-кодовые функции, которые используются для его перевода в вопросно-ответное представление.
  4. Реализация декларативного представления. Рассматриваются все составные части декларативного представления – палитра, модуль перевода в вопросно-ответное представление и обратно. Особый акцент делается на способе реализации интеграции интерпретатора Swi-Prolog в разработанную среду.
  5. Реализация концептуально-алгоритмического представления. Представлены диаграммы классов разработанных решений с акцентом на средства поддержки модельных трансформаций, при разработке которых делался акцент на простоту добавления новых видов моделей.
  6. Реализация средства контроля версий, основанных на средстве контроля версий с открытым исходным кодом GIT. Представлены диаграммы классов, детально описан способ интеграции данного средства в разработанную среду.

Рассматриваются способы оценки эффективности предложенных решений. При оценке эффективности сложной системы, которой является представленная разработка, целесообразнее производить оценку эффективности отдельных ее компонентов. Оценка комплексного решения в данном случае является сложной, так как отсутствуют прямые аналоги разработанного подхода. В данном случае логично оценить эффективность средства поддержки декларативного и концептуально-алгоритмического решения и на основе полученных результатов оценить предложенный метод в целом.

Очень часто в разработке АС по ГОСТ (или ISO) документацией и разработкой занимаются разные коллективы. В таком случае возникают проблемы, связанные с рассогласованностью кода и документации, а также с двойной работой по формализации алгоритма (программисты формализуют алгоритм в коде, а человек ответственный за ведение документации, в графическом редакторе). Разработанный подход, базирующийся на MDD, нацелен на решение такой проблемы, так как модели, созданные на этапе проектирования, могут быть непосредственно использованы в документации. Вводится ряд допущений, и оценивается время, которое необходимо затратить на создание алгоритма (на псевдокоде) и документации к нему (в виде диаграммы активностей) с одной стороны и разработка модели непосредственно в специализированном редакторе и автоматической генерации кода с другой. Для оценки временных затрат применяется методология GOMS, которая основана на принципе, что время, необходимое для выполнения любой задачи в системе «пользователь-компьютер», представляет собой сумму времен для различных жестов (нажатие клавиши, передвижение мыши и т.д.). По результатам эксперимента делаются выводы, что применение средства концептуально-алгоритмической поддержки решения задач позволяет рационализировать использование человеческих ресурсов и избежать противоречия документации и алгоритма работы системы и обеспечить выигрыш порядка 40% с учётом

введенных допущений. Также отмечаются отрицательные моменты такого подхода; при отсутствии необходимости документирования (наличия моделей) текущий подход проигрывает классическому примерно на 20%.

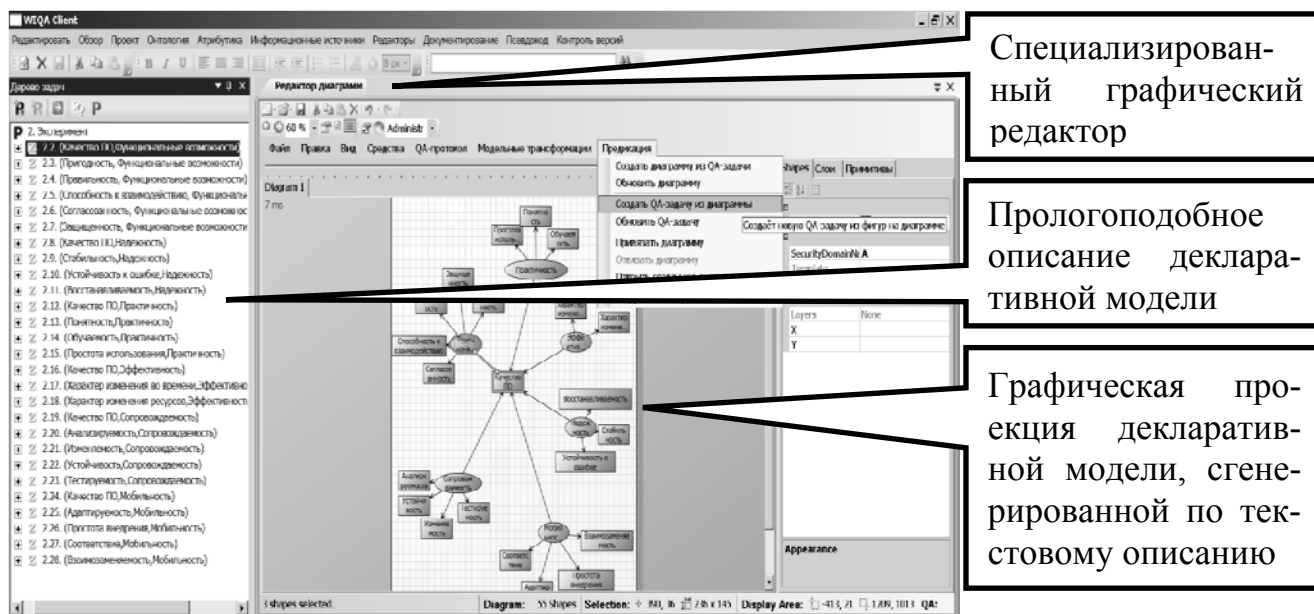


Рисунок 10. Представление отношений между характеристиками и атрибутами качества ПО в декларативной модели

В качестве задачи для оценки эффективности средства поддержки декларативного представления, выбирается задача визуализации отношения между характеристиками и атрибутами качества ПО (рисунок 10), которые описаны в ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 в виде удобным для восприятия (графическая диаграмма) с целью формирования целостного знания о предметной области. В главе подробно обосновывается причина выбора именно этой задачи, и вводятся некоторые допущения. Оценка временных затрат производится по методологии GOMS. В результате эксперимента оказывается, что предложенные решения несколько уступают существующим, в связи с чем, делается гипотеза относительно причин такого проигрыша и исследуется зависимость длины названий характеристик от времени затраченного на реализацию обоих способов. Строится график, показывающий зависимость эффективности предложенных решений от длины текстов в вершинах. Делается вывод, что при уменьшении длины текста характеристик (или изменении формы записи) эффективность увеличивается и может достигать порядка 20% по сравнению с ручным построением модели в графическом редакторе.

**В заключении** сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

**В приложении** представлены документы, подтверждающие практическое использование результатов диссертационного исследования в практику трёх проектных организаций и в учебный процесс.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Подводя обобщенный итог диссертационного исследования можно утверждать, что снижение различия между естественным взаимодействием человека с физическим миром и его взаимодействием с компьютеризованными приложения-

ми, за счёт включения в процессы решения проектных задач совокупности методов и средств образно-семантической поддержки, моделирующих интеллектуальное воображение, приводит к снижению негативных проявлений человеческого фактора в проектировании САПР.

Получены следующие новые научные результаты:

1. Разработан набор типов образно-семантических моделей и система согласованных преобразований, включающих переходы к их программным версиям, применение которых обеспечивает решению проектных задач, управляемое моделями, и достижение соответствующих управлению положительных эффектов.
2. Разработан и проверен метод понятийно-образной поддержки процесса пошаговой детализации в прецедентно-ориентированном решении проектных задач, использующий конструктивное и управляемое включение в процесс решения автоматизированного концептуального экспериментирования и моделирования, способствующих обнаружению и предотвращению семантических ошибок.
3. Разработан и проверен метод итеративного согласования понятийного и образного содержания текстовых составляющих постановок задач за счёт преобразования текстов в соответствующие семантические сети и их прологоподобные представления, интерпретация которых как декларативных программ, способствует обнаружению ошибок и их коррекции с использованием автоматизированного взаимодействия с онтологией проекта.

## **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

### **в российских рецензируемых научных журналах:**

1. Галочкин М.В. Соснин П.И. Подход к представлению текстовой информации в виде графо-семантических диаграмм // В мире научных открытий. Красноярск : Научно-инновационный центр, 2015. № 8.2(68). – С. 734–746.
2. Галочкин М.В. Использование перспектив ресурсов и управления для верификации потоков работ // В мире научных открытий. Красноярск : Научно-инновационный центр, 2014. № 6.1(54). – С. 424–439.
3. Соснин П.И., Галочкин М.В. Средства псевдокодовой программируемой графики в проектировании автоматизированных систем // Автоматизация процессов управления № 1 (39) 2015. – С. 82–88.

### **индексированные в SCOPUS:**

4. Sosnin P.I., Galochkin M. V., Luneckas A. A. Figuratively Semantic Support in Interactions of a Designer with a Statement of a Project Task // Proceedings of the First International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI’16) Volume 451 of the series Advances in Intelligent Systems and Computing. – Pp. 257–267.

### **в иных изданиях:**

5. Sosnin P.I., Galochkin M. V., Luneckas A. A. Means of a Figuratively Semantic Support in Solving the Project Tasks Proceedings of International Conference. Interactive Systems And Technologies : The Problem of Human-Computer Interaction. – Collection of scientific papers. – Ulyanovsk : 2015. – September. – Pp. 90–97.

6. Галочкин М.В. Соснин П. И., Лунецкас А. А. Комплексирование текстовых описаний и семантизированной графики в решении проектных задач // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems 2016. – С. 359–366.
7. Галочкин М.В. Критический анализ инициативы SEMAT // VI Всероссийская научно-техническая конференция аспирантов, студентов и молодых ученых (ИБТ-2014) / под общей ред. В.Н. Негоды. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – С. 120–126.
8. Галочкин М.В. Применение Object ConstRaint Language к диаграммам активностей // VI Всероссийская научно-техническая конференция аспирантов, студентов и молодых ученых (ИБТ-2014) / под общей ред. В.Н. Негоды. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – С. 126–131.
9. Галочкин М.В. Типы потоков работ: Workflow и MDD // VI Всероссийская научно-техническая конференция аспирантов, студентов и молодых ученых (ИБТ-2014) / под общей ред. В.Н. Негоды. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – С. 131–135.
10. Галочкин М.В. Сравнительный анализ диаграмм деятельности UML 1.x и UML 2.x 8 // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования: сборник научных трудов / под ред. Н. Н. Войта. – Ульяновск : УлГТУ, 2011. – С. 113–118.
11. Галочкин М.В. Навыки исполнителей в управлении потоком работ на основе моделей // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования: сборник научных трудов / под ред. П. И. Соснина. – Ульяновск : УлГТУ, 2013. – С. 65–66.
12. Галочкин М.В. Управляемая моделями разработка enterprise приложений с использованием Mendix // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования : сборник научных трудов / под ред. П. И. Соснина. – Ульяновск : УлГТУ, 2013. – С. 67–71.
13. Галочкин М.В. Визуальное моделирование задач в проектирование сложных систем // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов / под ред. В. Н. Негоды. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – С. 150–152.
14. Галочкин М.В. Перевод прологоподобных моделей UML диаграмм в XML в среде WIQA.NET // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования: сборник научных трудов / под ред. Н. Н. Войта. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – С. 147–152.
15. Галочкин М.В. Задача проверки алгоритма, заложенного в поведенческих диаграммах UML // Информатика и вычислительная техника : сборник научных трудов / под ред. Н. Н. Войта. – Ульяновск : УлГТУ, 2011. – С. 175–178.
16. Галочкин М.В. Программная реализация библиотеки визуальных форм задач // Информатика и вычислительная техника : сборник научных трудов / под ред. В. Н. Негоды. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – С. 153–157.
17. Галочкин М.В. Сложность реализации алгоритма проверки диаграмм активностей UML 2.0 на наличие ошибок // Сборник научных трудов 4-й Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых ИБТ-2012 / под общей ред. Н. Н. Войта. – Ульяновск : УлГТУ, 2012. – С. 135–139.
18. Галочкин М.В. Применение алгоритма свертки к циклам в диаграммах активностей UML 2.0 сборник научных трудов 4-й Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых ИБТ-2012 / под общей ред. Н. Н. Войта. – Ульяновск : УлГТУ, 2012. – С. 140–144.
19. Соснин П.И., Галочкин М.В., Лунецкас А.А. Предикативно-образный контроль постановок задач // Труды международной конференции по компьютерной и когнитивной лингвистике TEL-2016. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2016. – С. 49–56.

## Принятые сокращения и обозначения

MDD – Model Driven Development

SIS – Software Intensive System

АС – автоматизированная система

ПО – программное обеспечение

САПР – система автоматизированного проектирования

ЧКВ – человеко-компьютерное взаимодействие

Галочкин Михаил Владимирович

Методы и средства образно-семантического сопровождения процессов решения  
проектных задач

Автореферат

Подписано в печать 09.01.2016. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 1,40. Тираж 100 экз. Заказ – 4.

ИПК «Венец» УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, Северный Венец, д. 32.