

*На правах рукописи*

**Брыксин Тимофей Александрович**

**Платформа для создания специализированных  
визуальных сред разработки программного обеспечения**

Специальность 05.13.11 —

Математическое и программное обеспечение вычислительных машин,  
комплексов и компьютерных сетей

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2016

Работа выполнена на кафедре системного программирования федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

Научный руководитель: **Терехов Андрей Николаевич**,  
доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой системного программирования федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

Официальные оппоненты: **Новиков Фёдор Александрович**,  
доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры прикладной математики Института прикладной математики и механики, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

**Лядова Людмила Николаевна**,  
кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий в бизнесе, Пермский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ – Пермь).

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Защита состоится 7 апреля 2016 г. в 15:30 на заседании диссертационного совета Д 212.232.51 на базе Санкт-Петербургского государственного университета по адресу: 198504, Санкт-Петербург, Старый Петергоф, Университетский пр., 28, математико-механический факультет, ауд. 405.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. М. Горького Санкт-Петербургского государственного университета по адресу 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9 и на сайте <http://spbu.ru/science/disser/soiskatelyu-uchjonoj-stepeni/dislist/details/14/721.html>.

Автореферат разослан “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Д 212.232.51, д.ф.-м.н., профессор

Демьянович Юрий Казимирович

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы.** С появлением первых языков программирования стали также развиваться инструменты, упрощающие процесс создания программных систем и повышающие его эффективность. В настоящее время интегрированные среды разработки (integrated development environments, IDE) являются многофункциональными инструментальными системами, которые позволяют освободить разработчиков от многих рутинных действий, в частности, снижая порог вхождения разработчиков в программные проекты на новых языках. В конце XX века получили популярность визуальные языки проектирования ПО. Считается, что человек гораздо лучше воспринимает графические диаграммы, чем большие объёмы текста, а значит, переход от текстового программирования к визуальному можно рассматривать как следующий шаг, позволяющий сделать процесс разработки ПО более наглядным и удобным для людей.

В 90-е годы XX века основной упор в этом направлении делался на языки общего назначения (такие, как UML<sup>1</sup>). Однако практика показала, что модели, получаемые с использованием таких языков, получаются чрезвычайно громоздкими. В последние годы активно развиваются идеи визуального предметно-ориентированного моделирования (domain-specific modeling, DSM), в основе которого лежит идея создания специализированных языков и соответствующего инструментария для решения конкретных задач. Это позволяет значительно поднять уровень абстракции создаваемых моделей, перенося разработку с уровня программных конструкций типа ветвлений и циклов в область объектов предметной области. Разработчик взаимодействует только с наглядными и понятными визуальными моделями, а код разрабатываемой системы генерируется автоматически по этим моделям. Такой подход хорошо себя зарекомендовал в случаях, когда есть серия похожих проектов и требуется переиспользовать имеющиеся знания. Однако, практика показывает, что и для одиночных средних и крупных проектов такой подход также оказывается эффективным.

Для того, чтобы данный подход к разработке ПО был экономически оправдан, необходимо уметь эффективно создавать визуальные языки и инструментальные средства — так называемые предметно-ориентированные решения. При этом речь идёт не только о графическом редакторе, но и о наборе генераторов исходного кода, документации, скриптов сборки и размещения целевой системы, а также о репозитории для хранения создаваемых моделей, средствах многопользовательской работы и многом другом. Такие среды стали называть CASE-системами (computer-aided software engineering) или DSM-

---

<sup>1</sup> Unified Modeling Language, URL: <http://uml.org/> (дата обращения: 18.04.2015)

решениями, а среды разработки таких предметно-ориентированных решений – metaCASE-системами или DSM-платформами.

За несколько десятилетий своего развития DSM-подход адаптировал для своих нужд многие средства, являющиеся традиционными для текстовых IDE. Можно указать на визуальные интерпретаторы и отладчики моделей, средства рефакторинга, синтаксическую подсветку элементов диаграмм, средства версионирования моделей. В связи с этим крайне актуальной является задача переноса всех этих инструментов на уровень DSM-платформ, чтобы обеспечить возможность быстрого автоматизированного создания полноценных визуальных интегрированных сред, поддерживающих полный цикл разработки ПО.

Существует ряд промышленных metaCASE-систем, самыми известными из которых являются MetaEdit+ и Microsoft Modeling SDK. Однако данные системы позволяют создавать лишь самые базовые инструменты, к тому же сами они трудно расширяемы. Среди открытых metaCASE-систем следует упомянуть проект Eclipse Modeling Project<sup>2</sup> (EMP), развиваемый силами различных исследовательских групп и промышленных компаний по всему миру. Включая в свой состав десятки специализированных проектов, EMP предоставляет инструментарий для создания мощных CASE-систем, однако для полноценного использования своих возможностей он требует длительного обучения. Это указывает на необходимость продолжения исследований в этой области с целью создания более простых в использовании DSM-платформ, позволяющих быстро создавать современные полнофункциональные DSM-решения для разработки ПО в различных предметных областях.

**Степень разработанности темы исследования.** Исследованиями процесса разработки DSM-платформ занимается целый ряд научных коллективов: группа под руководством S. Kelly и J.-P. Tolvanen из университета г. Jyväskylä (Финляндия), группа под руководством J. de Lara из Автономного университета Мадрида (Испания), международная некоммерческая организация Eclipse Foundation и другие. В России вопросами визуального моделирования занимается исследовательские группы под руководством Л. Н. Лядовой, Ф. А. Новикова, А. А. Шалыто, В. П. Котлярова и другие. Результаты некоторых из этих исследований были воплощены в инструментальных средствах, как коммерческих (MetaEdit+, Microsoft Modeling SDK), так и открытых (Eclipse Modeling Project, Generic Modeling Environment, AToM<sup>3</sup>, MetaLanguage). Коммерческие системы недоступны для модификации и настройки сторонним

---

<sup>2</sup> Eclipse Modeling Project, URL: <http://www.eclipse.org/modeling/> (дата обращения: 18.04.2015)

пользователям, а самая зрелая открытая система EMP представляет собой объединение более десятка других проектов, которые активно развиваются, но часто бывает непросто наладить их взаимодействие друг с другом.

Среда QReal<sup>3</sup> разрабатывается коллективом профессора А. Н. Терехова в рамках исследований в области модельно-ориентированной разработки ПО. Коллектив занимается данной тематикой более двадцати лет (см. работы А. Н. Терехова, Д. В. Кознова, А. Н. Иванова и др.). Автор данной диссертации является создателем первых прототипов QReal, разработчиком и техническим руководителем проекта. На момент начала работы автора существовали лишь отдельные прототипы графографической библиотеки, средств быстрой разработки визуальных языков тогда не было. На данный момент среда существует в виде готового инструмента.

**Целью диссертационной работы** является ускорение процесса разработки инструментальных средств поддержки визуальных языков путём создания программной платформы, позволяющей разрабатывать полнофункциональные визуальные среды с поддержкой основных этапов жизненного цикла и ориентированной на программистов, не имеющих специальной подготовки.

Для достижения цели были сформулированы следующие **задачи**.

1. Предложить проектировщикам ПО средства повышения скорости выполнения типовых задач при работе с диаграммными редакторами и разработать метод для реализации подобных средств для новых языков.
2. Предложить метод формальной спецификации исполнимой семантики моделей с целью ускорения создания интерпретаторов и отладчиков визуальных языков.
3. Спроектировать DSM-платформу, реализующую предложенные методы.
4. Реализовать и провести апробацию созданной DSM-платформы на практических задачах.

Цель и задачи диссертационной работы соответствуют области исследований паспорта специальности 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»: пункту 1 (модели, методы и алгоритмы проектирования и анализа программ и программных систем, их эквивалентных преобразований, верификации и тестирования) и пункту 2 (языки программирования и системы программирования, семантика программ).

**Объектом исследования** являются визуальные языки, **предметом исследования** являются технологии для разработки инструментальных средств визуальных языков.

**Методология** исследования типична для решения задач в области предметной

---

<sup>3</sup> Репозиторий проекта QReal, URL: <https://github.com/qreal/qreal> (дата обращения: 18.04.2015)

инженерии и сводится к последовательной идентификации и анализу проблемы, проектированию её возможного решения, выбору подходящих средств и технологий программирования, реализации и применения созданного решения, а также проведения инженерных экспериментов с целью обоснования эффективности полученного решения. В качестве **методов** исследования используются теория формальных языков, теория графов, методы объектно-ориентированного программирования, эмпирические методы (анализа литературы, постановки и проведения инженерных экспериментов).

**Научная новизна** данной работы заключается в следующем.

1. Предложенный метод, позволяющий автоматически генерировать средства распознавания жестов для графического редактора создаваемого языка по описанию конкретного синтаксиса этого языка, является новым.
2. Созданная на базе разработанной платформы система программирования диаграмм машин состояний для задачи распознавания жестов в проекте компьютерного зрения является оригинальной.
3. Разработанная программная платформа для создания предметно-ориентированных решений превосходит существующие аналоги по объёму функциональных возможностей, предоставляемых разработчикам инструментальных средств с помощью единого программного интерфейса.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в создании метода автоматического создания механизмов распознавания жестов диаграммных редакторов, а также в разработке архитектуры программной платформы, позволяющей гибкую настройку под требования задачи. Практическая значимость определяется использованием полученных результатов для разработки DSM-платформы QReal, а также созданием на её основе ряда DSM-решений для различных предметных областей: среды визуального программирования роботов QReal:Robots, используемой для обучения школьников основам программирования и кибернетики, редактора диаграмм машин состояний и генератора кода по нему для приложений компьютерного зрения, использовавшихся в проектах ЗАО «ЛАНИТ-Терком», а также нескольких исследовательских сред разработки для апробации различных аспектов технологии и инструментальных средств платформы – визуальной среды разработки, основанной на языке блок-схем, среды для разработки мобильных приложений для платформы Ubiq Mobile<sup>4</sup>.

Среда QReal:Robots демонстрировалась на Открытых состязаниях Санкт-Петербурга по робототехнике в 2012, 2013, 2014 и 2015 году, на робототехнических фестивалях

---

<sup>4</sup> Платформа Ubiq Mobile, URL: <http://ubiqmobile.com/> (дата обращения: 18.04.2015)

«Робофест 2012» и «Робофест 2013» в Москве. На базе QReal:Robots был проведен ряд мастер-классов, в том числе и на международных конференциях Skolkovo Robotics 2014 и 2015. В настоящий момент среда QReal:Robots переименована в TRIK Studio и используется как основное средство программирования кибернетической платформы ТРИК, в ряде робототехнических кружков России, применяется для обучения студентов Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (г. Самара), а также на мастер-классах, проводимых ООО «КиберТех».

#### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Предложен метод для создания инструментов распознавания жестов для диаграммных редакторов предметно-ориентированных языков.
2. Разработан метод формального задания операционной семантики предметно-ориентированных визуальных языков, позволяющий автоматически создавать для них интерпретаторы и отладчики.
3. Предложена модель (архитектура) программного комплекса (DSM-платформы), позволяющего автоматизированно создавать большинство типовых компонентов современных CASE-систем.
4. Выполнена реализация и апробация созданной DSM-платформы на практических задачах, подтвердившая работоспособность созданных инструментов и предложенных решений.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность и обоснованность результатов исследования опирается на использование общепринятых методов программной инженерии, а также на проведение инженерных экспериментов. По результатам работы были сделаны доклады на следующих конференциях: второй всероссийской научно-практической конференции, посвящённой памяти заслуженного деятеля науки РФ профессора В.Ф. Волкодавова (Самара, 2009); второй научно-технической конференции молодых специалистов «Старт в будущее» (Санкт-Петербург, 2011); SYRCoSE 2012 (Пермь, 2012); «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» (Санкт-Петербург, в 2011 и 2013 году); «Информационные технологии в образовании и науке» (Самара, 2011); III Всероссийской конференции "Современное технологическое обучение: от компьютера к роботу» (Санкт-Петербург, 2013); Девятой независимой научно-практической конференции «Разработка ПО 2013» (CEE SEC(R)-2013, Москва); 10th Conference of Open Innovations Association FRUCT (Тампере, Финляндия, 2011); Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering (ENASE 2013, Анже, Франция). Исследования были поддержаны грантом Санкт-Петербургского государственного университета 6.39.1054.2012.

**Личный вклад автора.** Результаты, представленные в диссертационной работе, получены соискателем либо самостоятельно, либо при его непосредственном участии. Над проектом QReal работала большая группа студентов, аспирантов и преподавателей кафедры системного программирования СПбГУ, автор претендует лишь на результаты, явно перечисленные в списке положений, выносимых на защиту.

**Публикация результатов.** Результаты диссертационной работы представлены в 22 публикациях. Основные результаты опубликованы в 4 статьях ([1-4]) в журналах из перечня российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук.

Работы [2-5], [7-8], [10-22] написаны в соавторстве. В работах [3], [7], [20] и [21] диссертанту принадлежит разработка архитектуры и реализация основных модулей платформы QReal, А. Н. Терехову – постановка задачи, Ю. В. Литвинову – разработка средств метамоделирования ([3]) и разработка компонент, специфичных для программирования роботов ([7, 20, 21]). В работе [16] диссертанту принадлежит разработка генератора кода и редактора экранных форм, А. Н. Терехову и В. В. Оносовскому – интеграция решения с платформой Ubiq Mobile, Ю. В. Литвинову – реализация диаграммных языков и редакторов для них. В работах [8] и [19] диссертанту принадлежит реализация механизма распознавания жестов мышью на уровне платформы QReal, Ю. В. Литвинову – создание инструментов задания «идеальных жестов», М. С. Осечкиной – реализация алгоритмов классификации жестов мышью и постановка экспериментов. В работах [2], [5], [14] диссертанту принадлежит архитектура решения и реализация основных компонент платформы, Ю. В. Литвинову – разработка средств метамоделирования, А. С. Кузенковой – реализация некоторых частей метаредатора QReal, А. В. Подкопаеву – реализация средств генерации кода, А. О. Дерипаска – реализация редактора форм элементов, В. А. Полякову – реализация механизма преобразования графов. В работах [13], [15] диссертанту принадлежит архитектура решения и реализация основных компонент платформы, Ю. В. Литвинову – разработка средств метамоделирования. В работах [4], [10-12], [17], [18], [22] автору принадлежит идея и постановка задачи, реализация архитектуры и интеграция решений, запрограммированных соавторами.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы (162 наименования), четырёх приложений. Объём основной части работы – 134 страниц с 27 рисунками и 2 таблицами, общий объём – 159 страниц с 27 рисунками и 3 таблицами.



## Содержание работы

Во **введении** дается обоснование актуальности исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, формулируется цель, научная новизна, практическая значимость, описывается апробация работы, приводится краткое содержание текста диссертации.

В **главе 1** приводится общее описание модельно-ориентированного подхода (model-driven engineering, MDE) к разработке программного обеспечения. Данный подход основывается на представлении программы в виде набора моделей, представляющих ее с различных точек зрения. При этом обычно используются визуальные языки моделирования, с помощью которых создаются разного уровня абстракции описания предметной области, разрабатываемой системы и взаимодействующего с ней окружения.

В работе приводятся примеры подходов и методологий, основывающихся на модельно-ориентированной разработке. Дается описание предметно-ориентированной парадигмы к разработке ПО – подхода, основанного на использовании специализированных языков, создаваемых специально для решения текущей задачи.

Обсуждается структура визуальных языков, которую традиционно представляют следующим образом: абстрактный синтаксис (описание набора элементов языка и их свойств), конкретный синтаксис (визуальное представление элементов), служебный синтаксис (способ хранения элементов), семантика (смысл элементов и моделей, составляемых из них), отображения в другие языки (связь языка с другими).

Рассматривается понятие уровней моделирования: предметная область (уровень M0), модель (уровень M1), метамодель (описание способа задания моделей, уровень M2) и метаметамодель (описание способа задания метамodelей, уровень M3). Показывается связь между уровнями и важность метамodelей для предметно-ориентированного моделирования.

**Глава 2** содержит описание функциональности типичных CASE-систем, рассматриваются некоторые из существующих DSM-платформ, используемые для создания промышленных DSM-решений, для каждой из которых делаются выводы о возможности создания сред визуальной разработки с определенным набором функциональности (результаты анализа см. в таблице 1).

Анализ таблицы показывает, что из четырех представленных аналогов самая богатая функциональность получаемых DSM решений у платформы Eclipse (EMP), однако платформа крайне сложна в применении. Делается вывод об актуальности работ как по

упрощению процесса использования DSM-платформ, так и упрощение самих решений, созданных на их основе – разработка средств, позволяющих сделать их более удобными при использовании непрофессионалами.

Таблица 1. Сравнение возможностей ведущих DSM платформ.

	<b>MetaEdit+</b>	<b>EMP</b>	<b>AToM<sup>3</sup></b>	<b>MS Modeling SDK</b>
Условия распространения	Закрытый коммерческий продукт	Открытое ПО (EPL)	Открытое ПО	Закрытый коммерческий продукт
Отделимость решения от платформы	Да, в рамках Modeler	Да	Нет	Нет
Кроссплатформенность	Windows, Linux, Solaris, Mac OS X	Windows, Linux, Solaris, Mac OS X	Windows, Linux, Solaris, Mac OS X	Windows
Особенности редакторов диаграмм	Работа с таблицами и матрицами	Автоматическая раскладка элементов и другие проекты	Механизм автодополнения моделей	Только базовая функциональность редактора
Поддержка командной разработки	Сетевой репозиторий	Посредством систем контроля версий	Нет	Посредством интеграции с Visual Studio
Совместное использование языков	Да	Да	Да	Нет
Средства трансформации моделей	Нет	Да	Да	Реализуется кодированием на C#
Визуализация отладки	Да, путем интеграции со сторонними средами	Да, внутренний механизм	Да, внутренний механизм	Реализуется кодированием на C#
Верификаторы и анализаторы моделей	Ограничения только на синтаксис языка	Заданные на языке OCL или Java	Реализованные на Python	Реализуется кодированием на C#

**Глава 3** посвящена обсуждению влияния степени удобства работы с визуальной IDE на желание и продуктивность использования подобных средств разработчиками ПО. Подобное неудобство складывается в первую очередь из неудобства самого инструментария (много рутинных операций, сложный для понимания интерфейс, нетривиальный процесс), так и из неудобства используемого языка моделирования. Приводится описание нового метода, позволяющего автоматически разрабатывать инструменты быстрого создания элементов и связей между ними, основанные на распознавании жестов мышью. Приводится описание средств, реализованных в платформе QReal: некоторые особенности графических редакторов диаграмм (например, использование графических элементов управления для изменения свойств элементов как

части визуального представления этих элементов на диаграммах или вспомогательных элементов-линкеров для «вытягивания» связей из элементов) и реализация некоторых эвристик языка ДРАКОН (возможность создания разделяемых ассоциаций и создание групп элементов).

**Глава 4** посвящена вопросу создания исполнимых визуальных языков. Рассматриваются виды семантик (операционная, денотационная, аксиоматическая и трансляционная) и существующие способы задания исполнимой семантики для визуальных языков. Приводится описание метода автоматизированного создания отладчиков и интерпретаторов графических языков, реализованного в платформе QReal: семантика визуального языка представляет собой набор правил преобразования графов, пошаговое применение которых к графу исходной модели позволяет визуализировать процесс интерпретации или осуществить генерацию кода по модели. При исполнении модели на каждом шаге выбирается правило с наивысшим приоритетом (если таких несколько, то берётся произвольное) или случайное правило, которое может быть применено к модели, если приоритеты правил не заданы. Далее правило применяется в первом найденном подходящем месте. Принцип работы такого процесса напоминает выполнение алгоритмов Маркова на строках, а наличие приоритета позволяет упорядочить возможное применение правил. Заданная семантика визуального языка может быть предназначена как для интерпретации и отладки, так и для генерации полноценного кода по моделям.

**Глава 5** содержит описание предметно-ориентированной платформы QReal, обсуждается назначение и общая архитектуры платформы, которая может гибко конфигурироваться для создания конкретных сред разработки. Функциональность редакторов максимально абстрагируется и формирует так называемое «ядро» системы, в то время как специфика каждого конкретного визуального языка оформляется в виде подключаемого модуля-плагины. Также в QReal существуют плагины инструментов, в них выносятся функциональность различных инструментальных средств CASE-пакета. Такой подход позволяет максимально переиспользовать инструменты между создаваемыми на базе платформы DSM-решениями. Перечисляются основные модули системы, кратко описывается их назначение и взаимодействие.

Далее приводится состав типового DSM-решения на основе платформы QReal, перечисляется набор инструментов, его составляющих: графический интерфейс пользователя, репозиторий, средства для работы с графическими и логическими моделями, средства обеспечения многопользовательской работы, отладчики и интерпретаторы моделей, генераторы кода, механизм рефакторингов моделей, механизм

проверки правил ограничений, средства повышения удобства моделирования (механизм распознавания жестов, ряд вспомогательных графических элементов на диаграмме). Для каждого инструмента приводится описание его функциональности и ситуаций при разработке ПО, в которых данный инструмент будет полезен пользователям DSM-решения. Также приводятся некоторые реализационные особенности, показывающие способы интеграции описанных инструментов с базовой платформой QReal.

**Глава 6** содержит примеры применения результатов, описанных в данной диссертации, для разработки DSM-решений — среды для программирования роботов QReal:Robots, среды на основе языка блок-схем, DSM-решения для разработки мобильных приложений для платформы Ubiq Mobile, а также решения на основе диаграмм машин состояний для проекта компьютерного зрения. Для каждой среды разработки приводится описание конечной функциональности, обсуждаются расширения платформы QReal, которые было необходимо сделать для реализации данного решения, а также специфичная функциональность, которую пришлось реализовывать «вручную». Описывается эксперимент по сравнению платформы QReal с двумя другими популярными платформами (MetaEdit+ и Eclipse Sirius), делаются выводы об актуальности полученных в работе результатов.

**Приложение А** содержит обзор исследований, проводимых на тему внедрения CASE-систем в производственный процесс, анализируются причины их возможного неиспользования разработчиками.

В **Приложении В** приводится обзор и сравнение подходов к заданию исполнимой семантики визуальных языков: непосредственное создание интерпретаторов и генераторов ручным кодированием, описание семантики языка с помощью исполнимого UML (xUML), средство EProvide, подход Dynamic Meta Modeling, средство AToM<sup>3</sup>.

В **Приложении С** описывается реализованный в рамках диссертационной работы алгоритм поиска подграфа в графе модели, хранящейся в репозитории QReal.

В **Приложении D** приводятся копии актов о внедрении разработанной в рамках исследования платформы.

В **Заключении** приведены **итоги** выполненного исследования, которые заключаются в следующем.

1. Предложен метод для создания инструментов распознавания жестов в диаграммных редакторах предметно-ориентированных языков.
2. Разработан метод формального задания операционной семантики предметно-ориентированных визуальных языков, позволяющий автоматически создавать для них интерпретаторы и отладчики.

3. Предложена модель (архитектура) программного комплекса (DSM-платформы), позволяющего автоматизированно создавать большинство типовых компонентов современных CASE-систем.
4. Выполнена реализация и апробация созданной DSM-платформы на практических задачах, подтвердившая работоспособность созданных инструментов и предложенных решений.

Кроме этого были сформулированы следующие рекомендации по применению результатов работы в научных исследованиях или промышленности.

- Для более точной настройки функциональности DSM решения архитектура подобной программной платформы должна быть как можно более модульной, причём должна быть возможность отключать большую часть модулей на стадии компиляции или во время исполнения программы.
- При разработке промышленных DSM решений может понадобиться реализовать дополнительные инструменты, специализированные для решаемой задачи, которые не смогут быть реализованы автоматизированно средствами DSM платформы. Для поддержки таких инструментов платформа должна предоставлять полнофункциональный интерфейс прикладного программирования (API) для расширения своей функциональности сторонними компонентами.
- Графические языки, для поддержки которых используется QReal, должны быть основаны на концепции графов (то есть явно иметь узлы и связи между ними). Создание инструментов для неграфовых языков возможно только для самых простых случаев.

Также были определены **перспективы дальнейшей разработки тематики**, основными из которых являются поддержка эволюции языков, реализация средств автоматической генерации механизма автодополнения моделей по метамодели языка, расширение границ применимости механизма рефакторинга, создание законченного решения задачи автоматизированной разработки генераторов кода, доработка компонент платформы для поддержки неграфовых визуальных языков, а также проведение дополнительных экспериментов по использованию как DSM-платформы, так и созданных на её основе решений.

### **Публикации автора по теме диссертации**

**в журналах из перечня российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук**

1. Брыксин, Т. А. Опыт проведения студенческих проектов на примере реализации metaCASE-системы QReal [Текст] / Т. А. Брыксин // Компьютерные инструменты в образовании. – №5. – 2011. – С. 46–63.
2. Брыксин, Т. А. Средства быстрой разработки предметно-ориентированных решений в metaCASE-средстве QReal [Текст] / А. С. Кузенкова, А. О. Дерипаска, К. С. Таран, А. В. Подкопаев, Ю. В. Литвинов, Т. А. Брыксин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика, телекоммуникации, управление. – № 4 (128). – 2011. – С. 142–145.
3. Брыксин, Т. А. QReal: платформа визуального предметно-ориентированного моделирования [Текст] / А. Н. Терехов, Т. А. Брыксин, Ю. В. Литвинов // Программная инженерия. – № 6. – 2013. – С. 11–19.
4. Брыксин, Т. А. Подходы к заданию семантики интерпретации диаграмм, основанные на технологии преобразования графов [Текст] / В. А. Поляков, Т. А. Брыксин // Компьютерные инструменты в образовании. – №2. – 2013. – С. 3–17.

**В изданиях, индексируемых в реферативных базах Scopus  
и Web Of Science**

5. Bryksin, T. QReal DSM Platform: An Environment for Creation of Specific Visual IDEs [Text] / A. Kuzenkova, A. Deripaska, T. Bryksin, Y. Litvinov, V. Polyakov // Proceedings of 8th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering (ENASE 2013). – 2013. – P. 251–257.

**Прочие публикации**

6. Брыксин, Т. А. О генеративном подходе к созданию визуальных редакторов [Текст] / Т. А. Брыксин // Материалы Второй всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти засл. деятеля науки РФ профессора В.Ф. Волкодавова. – 2009. – С. 207–209.
7. Терехов, А. Н. Архитектура среды визуального моделирования QReal [Текст] / А. Н. Терехов, Т. А. Брыксин, Ю. В. Литвинов, К. К. Смирнов, Г. А. Никандров, В. Ю. Иванов, Е. И. Такун // Системное программирование. – №4. – 2009. – С. 171–196.
8. Осечкина, М. С. Поддержка жестов мышью в мета-CASE-системах [Текст] / М. С. Осечкина, Т. А. Брыксин, Ю. В. Литвинов // Системное программирование. – № 5. – 2010. – С. 52–75.
9. Брыксин, Т. А. Студенческие проекты по программированию как средство формирования профессиональных навыков [Текст] / Т. А. Брыксин // Системное программирование. – №6. – 2011. – С. 116–135.

10. Таран, К. С. Проблема эволюции визуальных языков метамоделирования в metaCASE-системе QReal [Текст] / К. С. Таран, Т. А. Брыксин // Материалы межвузовского конкурса-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Северо-Запада "Технологии Microsoft в теории и практике программирования". – 2011. – С. 159.
11. Подкопаев, А. В. Генерация кода на основе графической модели [Текст] / А. В. Подкопаев, Т. А. Брыксин // Материалы межвузовского конкурса-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Северо-Запада "Технологии Microsoft в теории и практике программирования". – 2011. – С. 112–113.
12. Поляков, В. А. Разработка визуального интерпретатора моделей в системе QReal [Текст] / В. А. Поляков, Т. А. Брыксин // Материалы межвузовского конкурса-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Северо-Запада "Технологии Microsoft в теории и практике программирования". – 2011. – С. 58.
13. Брыксин, Т. А. Технология визуального предметно-ориентированного проектирования и разработки ПО QReal [Текст] / Т. А. Брыксин, Ю. В. Литвинов // Материалы второй научно-технической конференции «Старт в будущее», посвященной 50-летию полета Ю.А. Гагарина в космос. – 2011. – С. 222–225.
14. Кузенкова, А. С. Метамоделирование: современный подход к созданию средств визуального проектирования [Текст] / А. С. Кузенкова, Ю. В. Литвинов, Т. А. Брыксин // Материалы второй научно-технической конференции молодых специалистов «Старт в будущее», посвященной 50-летию полета Ю.А. Гагарина в космос. – 2011. – С. 228–231.
15. Брыксин, Т. А. Среда визуального программирования роботов QReal:Robots [Текст] / Т. А. Брыксин, Ю. В. Литвинов // Материалы международной конференции "Информационные технологии в образовании и науке". – 2011. – С. 332–334.
16. Bryksin, T. Ubiq Mobile + QReal: a Technology for Development of Distributed Mobile Services [Text] / T. Bryksin, Y. Litvinov, V. Onossovski, A. N. Terekhov // 10th Conference of Open Innovations Association FRUCT and the 2nd Finnish-Russian Mobile Linux Summit. – 2011. – P. 27–35.
17. Подкопаев, А. В. Средства описания генераторов кода для предметно-ориентированных решений в metaCASE-средстве QReal [Текст] / А. В. Подкопаев, Т. А. Брыксин // СПИСОК-2012: Материалы всероссийской научной конференции по проблемам информатики. – 2012. – С. 49–55.
18. Поляков, В. А. Подходы к заданию семантики интерпретации диаграмм в рамках

- DSM-подхода [Текст] / В. А. Поляков, Т. А. Брыксин // Системное программирование. – №7. – 2012. – С. 187–216.
19. Osechkina, M. Multistroke Mouse Gestures Recognition in QReal metaCASE Technology [Text] / M. Osechkina, Y. Litvinov, T. Bryksin // SYRCoSE 2012: Proceedings of the 6th Spring/Summer Young Researchers' Colloquium on Software Engineering. – 2012 – P. 194–200.
20. Терехов, А. Н. Среда для обучения информатике и робототехнике QReal:Robots [Текст] / А. Н. Терехов, Ю. В. Литвинов, Т. А. Брыксин // Девятая независимая научно-практическая конференция «Разработка ПО 2013» (CEE SEC(R)-2013). – 2013.
21. Терехов, А. Н. Среда визуального программирования роботов QReal:Robots [Текст] / А. Н. Терехов, Т. А. Брыксин, Ю. В. Литвинов // III Всероссийская конференция "Современное технологическое обучение: от компьютера к роботу". – 2013. – С. 2–5.
22. Поляков, В.А. Средство разработки визуальных интерпретаторов и отладчиков диаграмм в проекте QReal [Текст] / В. А. Поляков, Т. А. Брыксин // Материалы межвузовского конкурса-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Северо-Запада "Технологии Microsoft в теории и практике программирования". – 2013. – С. 80–81.

выходные данные

выходные данные

выходные данные

выходные данные

выходные данные

выходные данные