

На правах рукописи

МАДОРСКАЯ Юлия Михайловна

МЕТОД ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ МОДИФИКАЦИИ  
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУП

Специальность: 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими  
процессами и производствами (сфера услуг)»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2011

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
Курочкин Михаил Александрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Прокофьев Геннадий Иванович

кандидат технических наук, доцент  
Попов Валерий Павлович

Ведущая организация: ФГУП НПО «ИМПУЛЬС»

Защита состоится «15» июня 2011 г. в 16-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.21 ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29, Главное зд., ауд.118.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д.29, Главное здание.

Автореферат разослан «\_\_\_» мая 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д.т.н., профессор

Редько С.Г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Планирование разработки программного обеспечения практически всегда осуществляется с большой погрешностью. Доля проектов выполненных в срок не превышает 70%, в то время как важность своевременного внедрения таких информационных систем как АСУП чрезмерно высока.

В процессе эксплуатации АСУП возникает необходимость модификации программного обеспечения (ПО) ввиду изменений организационных и производственных процессов, законодательства, отраслевых политик и иных регламентов. Каждому запросу на изменение системы необходимо сопоставить оценку распространения изменений (ОРИ), которая является ключевой информацией для процесса планирования модификации АСУП. ОРИ используется для расчета трудозатрат изменений, принятия решений о реализации запроса, расчете экономической эффективности модернизации, планировании этапов модификации системы и выборе способа реализации. Точность и время формирования оценки изменений (ФОИ) определяют правильность и своевременность принятых решений.

АСУП – сложная система, автоматизирующая широкий спектр задач предприятия – от бизнес-процессов макро-уровня, до управления технологическими процессами, поэтому архитектура программного обеспечения АСУП имеет модульную структуру. Разработка и модификация каждого модуля выполняются разными командами специалистов. Команды разработчиков могут работать независимо друг от друга, использовать разные технологии проектирования, определяемые решаемыми задачами и квалификацией каждого разработчика. Проектные модели – требования к системе – это исходные данные для ФОИ. В соответствии с технологией, принятой в конкретной команде, требования к системе могут быть представлены в виде описаний различных типов (текст, модели UML, ARIS, IDEF и др.). Сложившаяся ситуация создает ряд проблем при формировании оценки изменений программного обеспечения.

Первой проблемой является большой объем, множественность и многомерность представления исходных данных на каждом этапе жизненного цикла. Вторая проблема – недоступность исходных данных для совместного анализа – распределенность по различным хранилищам, неполнота описания и неоднозначность интерпретации в отсутствие разработчика. Третья проблема – неполнота описания связей, отражающих направления распространения изменений. Четвертая проблема – наличие ошибок в требованиях и связях между ними. Пятая проблема – несравнимость оценок из-за различных технологий проектирования у разных команд и изменения технологий в ходе жизненного цикла. Перечисленные проблемы отражают сложность организации проектирования интеллектуального продукта в ограниченные сроки и являются объективными характеристиками процессов разработки и сопровождения программного обеспечения.

Большой вклад в решение перечисленных проблем внесли ученые – Калянов Г.Н., Соммервиль И., Соснин П.И., Готель О., Финкельштейн А., Маэдер П., Рамеш Б., Лорманс

М., Танг А., но и сегодня комплексное решение перечисленных пяти проблем не найдено. Поэтому исследование способов решения указанных проблем с целью повышения эффективности планирования модификации АСУП является актуальной задачей.

**Целью работы** является повышение эффективности планирования модификации подсистем АСУП.

**Объектом исследования** является процесс планирования модификации ПО АСУП.

**Предметом исследования** являются методы ФОИ ПО АСУП.

**Методы исследования.** При решении научных и практических задач использовались методы теории множеств, исчисления предикатов первого и второго порядка, методы объектно-ориентированного анализа и проектирования, а также инженерии знаний.

**Результаты, выносимые на защиту, и их научная новизна.**

1. **Концепция ФОИ для планирования модификации АСУП**, определяющая конструктивные принципы и систему требований, которые в отличие от известных описывают универсальный метод ФОИ для процесса планирования, не зависящий от масштаба организации и технологии разработки ПО.
2. **Классификация ошибок в исходных данных для оценки сложности модификации ПО**, основанная на формальной согласованной системе определений и отличающаяся от известных формальным описанием классов ошибок, не зависящем от технологии проектирования.
3. **Метод интеграции описания требований к ПО**, основанный на предметно-независимой модели трассировки, отличающийся от известных тем, что позволяет интегрировать произвольные методы описания требований, используемые в проекте для сквозного отслеживания распространения изменений.
4. **Метод оценки сложности модификации ПО АСУП**, представляющий формальную систему, включающую язык описания требований, правила контроля ошибок и правила определения направлений распространения изменений. Метод отличается от известных тем, что обеспечивает контроль ошибок. Механизмы взаимодействия его компонент, описанные на языке исчисления предикатов, позволяют реализовать принцип открытости (расширяемости) для поддержки разных технологий разработки ПО любой сложности.

**Теоретическая значимость работы** заключается в разработке метода ФОИ ПО для систем класса АСУП, разработке модели трассировки требований ПО, разработке формального подхода к описанию требований и классификации ошибок, оказывающих влияние на точность и время ФОИ. Полученные результаты позволяют построить эффективную систему оценки изменений ПО АСУП в процессах модификации и сопровождения.

**Практическая значимость работы** состоит в разработке схемы реализации метода ФОИ в инструментальной среде 3SL Cradle, включающей: методику

реализации модели трассировки; методику реализации аксиом; методику ФОИ. Разработанная схема позволила значительно сократить сроки и расходы на внедрение разработанного комплекса решений за счет использования существующей инструментальной среды. Схема позволяет сократить объем работ в ходе ФОИ, в любой момент отобразить суммарную ОРИ по результатам экспертного анализа распространения изменений на модели. ОРИ может быть отображена в единицах, удобных для руководителя проекта. Разработанная реализация позволяет повысить точность ФОИ за счет сокращения числа ошибок не только в исходных данных, но и в самом процессе ФОИ.

Практическая значимость работы также заключается в разработке согласованной системы определений понятий, связанных с описанием требований к ПО и ФОИ, которая может быть использована в учебном процессе в рамках дисциплины «инженерия программного обеспечения».

**Реализация результатов.** Разработанный комплекс решений внедрен в ООО «АВТОНИТ» и применялся при разработке системы менеджмента качества. В проекте применялась реализация метода ФОИ АСУП в семантически свободной системе управления требованиями с бинарными отношениями Cradle компании 3SL. Комплекс решений также использовался при разработке АСУП для комитета экономической политики и торговли Санкт-Петербурга. Научные результаты работы использованы в учебном процессе СПбГПУ при подготовке специалистов по направлению 230000 «Информатика и вычислительная техника».

**Апробация работы.** По теме работы сделаны доклады на конференциях: «Вторая международная конференция по когнитивной науке», СПб, 2006; XII Всероссийская конференция по проблемам науки и высшей школы, 2008, СПбГПУ; XV Международная научно-методическая конференция «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в образовании и науке» СПб, 2008; XIV Всероссийская конференция «Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах», СПб 2010; XVIII Международная научно-методическая конференция «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в образовании и науке» СПб, 2011; Международная конференция «Технические науки: проблемы и перспективы», СПб, 2011; Международная научно-техническая конференция «Наука и образование», Мурманск, 2011.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 10 работ, объемом 3,6 п.л. в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК две работы объемом 1,8 п.л.

**Личный вклад автора.** Все основные результаты работы диссертации получены автором самостоятельно.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4х глав, заключения и приложений, содержащих в т.ч. акты внедрения результатов работы. Список использованной литературы содержит 115 наименований. Текст диссертации содержит 119 страниц машинописного текста, включая 30 рисунков и 13 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение** посвящено обоснованию актуальности темы и определению задач, решаемых в диссертационной работе.

**В первой главе** приведен обзор методов ФОИ ПО, представлены результаты анализа особенностей задачи ФОИ для процесса планирования и концепция ФОИ для планирования модификации АСУП.

Формирование оценки изменений (ФОИ) (трассировка изменений) – это процесс определения влияния на систему запроса на изменение.

Результатом ФОИ является оценка распространения изменений (ОРИ) – набор элементов системы, подлежащих изменению в соответствии с данным запросом.

Для систем класса АСУП ОРИ рассчитывается на основании анализа моделей, представляющих требования к системе. Основными факторами, оказывающими влияние на точность и время ФОИ, являются качество исходных данных и опыт эксперта. Поэтому основное направление повышения точности и сокращения времени ФОИ – это устранение проблем обработки исходных данных и создание условий для накопления опыта ФОИ экспертом.

Современные методы направлены, в основном, на решение проблемы неполноты описания связей, отражающих направления распространения изменений между проектными данными. Это обусловлено тем, что возможность трассировки проектных данных (определения связей) является показателем зрелости и качества процессов разработки и сопровождения (CMMI Level2, IEEE 1074-97, IEEE 1233-98).

Существующие решения базируются на использовании моделей трассировки (МТ) – структур, определяющих типы требований, используемых для описания системы и отношения между ними. Существуют два подхода к разработке МТ – доработка методов описания трассировочными отношениями (чаще всего за основу берут UML) или разработка мета-структур требований. Обзор современных МТ позволил выявить ряд недостатков затрудняющих процесс планирования. Так, для МТ первого типа, установлена зависимость набора используемых категорий от технологии разработки и избыточное количество категорий, а для МТ второго типа – неоднозначность семантики категорий и отношений, отсутствие механизмов контроля ошибок. Таким образом, современные методы не решают выявленные проблемы при формировании оценки изменений.

В связи с тем, что локальное решение какой-либо подгруппы из пяти проблем не может обеспечить повышение точности и сокращение времени ФОИ в процессе планирования модификации АСУП, в работе исследованы все пять проблем ФОИ и обоснованы методы их устранения. Эти методы легли в основу разработанной концепции ФОИ для процесса планирования модификации АСУП. Данная концепция включает: конструктивные принципы, определяющие компонентный состав решения и взаимосвязи между компонентами; требования к компонентам, реализация которых позволит повысить точность и сократить время планирования модификации АСУП.

Основные положения данной концепции – структурная схема компонентов решения и требования к ним приведены на рис.1.

Разработанная концепция отражает требования к методу ФОИ, необходимые для: решения выявленных проблем ФОИ – К1,2,4,5,7,11; решения проблем, выявленных в существующих методах трассировки – К5,7,11; обеспечения технологичности внедрения в производственный процесс с учетом особенностей процесса планирования в организациях, реализующих различные технологии разработки ПО – К6,8,10.

Реализация данной концепции позволит повысить точность и сократить время ФОИ за счет решения ключевых проблем ФОИ.



Рисунок 1. Структурная схема компонентов решения и требования к ним.

Для достижения поставленной в работе цели и реализации данной концепции необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать МТ для АСУП, содержащую минимальный набор категорий (К11,5), не зависящих от парадигмы проектирования, технологии и средств разработки, обеспечивающую: произвольную детализацию описания требований (К6); однозначное соотнесение проектных данных (К9); возможность проецирования изменений (К2); возможность интеграции с методами проектирования для сквозного отслеживания изменений (К8).
2. Разработать подход к формализации описания требований обеспечивающий контроль ошибок, выявление направлений распространения изменений (К7) и интеграцию МТ в описание требований (К4).
3. Разработать формальные определения классов ошибок в требованиях, оказывающих влияние на точность и время ФОИ (К7).

4. Разработать формальный метод описания требований, задающий МТ и позволяющий разрабатывать независимое от разработчика описание АСУП (К1,3)
5. Разработать расширяемые механизмы контроля ошибок в требованиях и выявления направлений распространения изменений (К7, К10).
6. Разработать реализацию метода ФОИ в инструментальной среде.

**Во второй главе** проведено исследование современных регламентов и практик, определяющих структуру требований к АСУП, разработана базовая модель трассировки требований к ПО и модель трассировки для АСУП, обеспечивающие интеграцию описания требований для сквозного отслеживания изменений.

Как было отмечено выше, основной проблемой при формировании оценки изменений ПО, является несопоставимость описаний требований к модулям АСУП, которые составляются независимыми специалистами с использованием разных языков (текст на естественном языке, модели UML, ARIS, IDEF и др.). В этой ситуации добиться сопоставимости описаний возможно только используя обобщенное представление проектных моделей на мета-уровне. Это также необходимо для того, чтобы учитывать при ФОИ весь объем изменений в требованиях.

Для разработки структуры описания на мета-уровне было построено объединение пересечения обобщения категорий наиболее известных методов проектирования ПО, парадигм проектирования и онтологий ПО. Было показано, что построенное решение будет справедливо и для других типов проектных моделей ПО.

Построенное пересечение определяется двумя категориями «*объект*» и «*процесс*». Любая характеристика системы реализуется посредством процессов или объектов системы, значит любые изменения должны отразиться на объектах или процессах АСУП. В связи с тем, что наибольшее число изменений затрагивает правила организации процессов предприятия, в предлагаемую МТ включена третья категория – «*правила*», что позволяет сократить время ФОИ. С использованием данных категорий была разработана базовая МТ, представляющая собой направленный граф с тремя вершинами <объект, процесс, правило> и пятью ребрами <определяет, обрабатывает, эквивалентны, декомпозиция, являются классом>. Базовая МТ представлена на рис. 2.

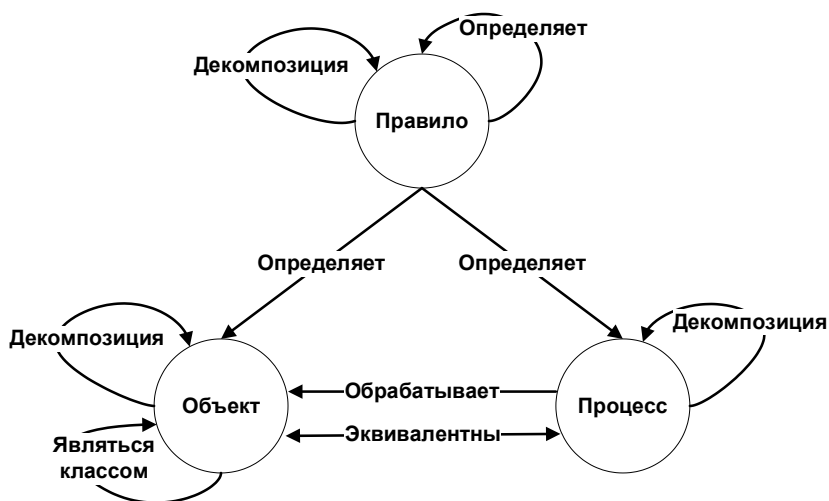


Рисунок 2. Базовая Модель Трассировки ПО.

Отношения *определяет* и *обрабатывает* необходимы для отслеживания распространения изменений. Отношения *декомпозиция*, *являются классом* позволяют



выбирать произвольную детализацию описания требований, что необходимо для эффективного управления трудозатратами на поддержание трассировки требований. Отношение *эквивалентны* введено для учета дуальности представления функций и данных.

Предложенная МТ позволяет задавать правила контроля целостности описания требований и, таким образом, осуществлять контроль ошибок в требованиях. Например, можно сформулировать правило, *«для любого объекта существует процесс его обрабатывающий»*, которое позволяет контролировать ошибки на самом высоком уровне описания системы.

Выбранный метод построения МТ обеспечивает независимость от парадигмы и технологии проектирования и возможность проецирования изменений в проектных моделях на МТ, гарантирует возможность интеграции методов проектирования системы, используемых в проекте для сквозного отслеживания распространения изменений.

Применение разработанной МТ не требует переопределения всех связей при изменении технологии проектирования – достаточно описать связи нового метода проектирования с категориями базовой МТ и удалить лишние, в тоже время предлагаемая схема интеграции не отменяет наработки по интеграции отдельных методов, которые могут быть успешно использованы совместно. Подход к интеграции по схеме «звезда», обеспечиваемый данной МТ, позволяет сократить время и повысить точность ФОИ, даже при использовании не формализованных методов проектирования.

Для учета специфики разработки ПО АСУП в модели трассировки, был проведен анализ регламентов, определяющих структуру требований к АСУП: каркасных моделей архитектуры, методов анализа и проектирования, методологий разработки и онтологий предприятия, публикаций, отражающих практику разработки АСУП. Исследование показало, что схема Захмана является наиболее полной структурой требований, используемой при разработке АСУП, не зависящий от парадигмы проектирования и технологии разработки.

По результатам данного анализа была разработана МТ для АСУП, соответствующая четырем уровням схемы Захмана.

Разработанная МТ для АСУП представляет собой реализацию базовой МТ для этапов проектирования АСУП. Она отражает процесс последовательного преобразования бизнес-требований в логическую и физическую модель системы.

МТ для АСУП наследует все преимущества базовой модели и позволяет расширить множество правил контроля ошибок, за счет детализации категорий и отношений. Введение уровней обеспечивает возможность группировки, что упрощает работу с большими объемами данных.

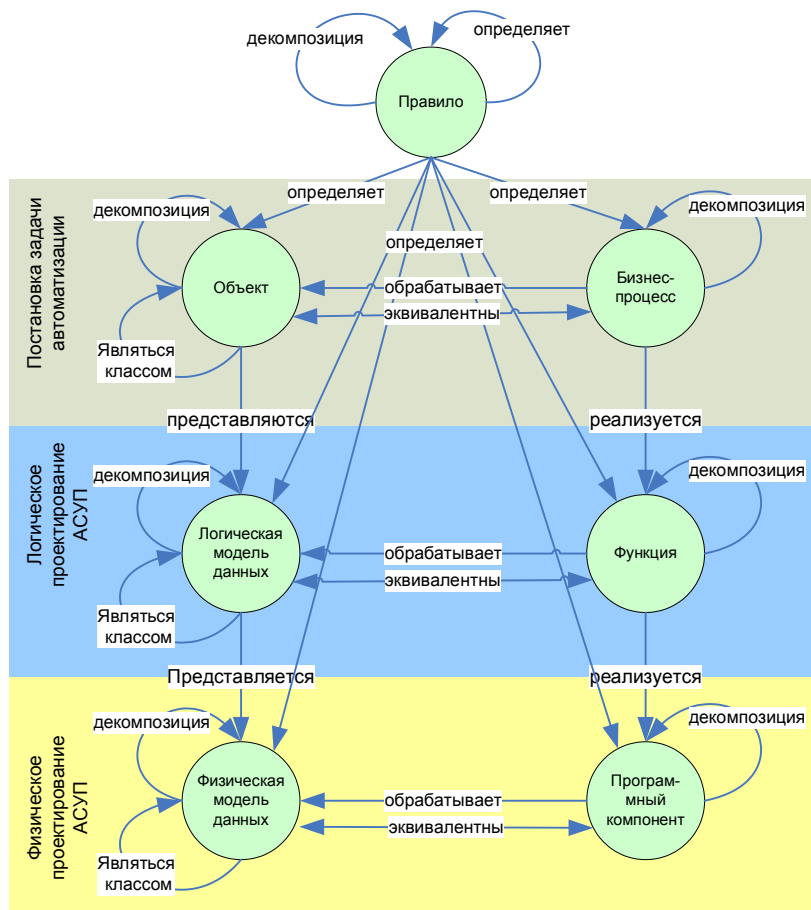


Рисунок 3. Модель Трассировки для АСУП.

**Третья глава** посвящена разработанному комплексу решений, реализующему концепцию ФОИ для планирования модификации АСУП.

Для реализации концепции ФОИ для планирования модификации АСУП, разработан комплекс решений для ФОИ (далее комплекс), включающий разработанные ранее базовую МТ и МТ для АСУП. Структура комплекса приведена на рис. 4.

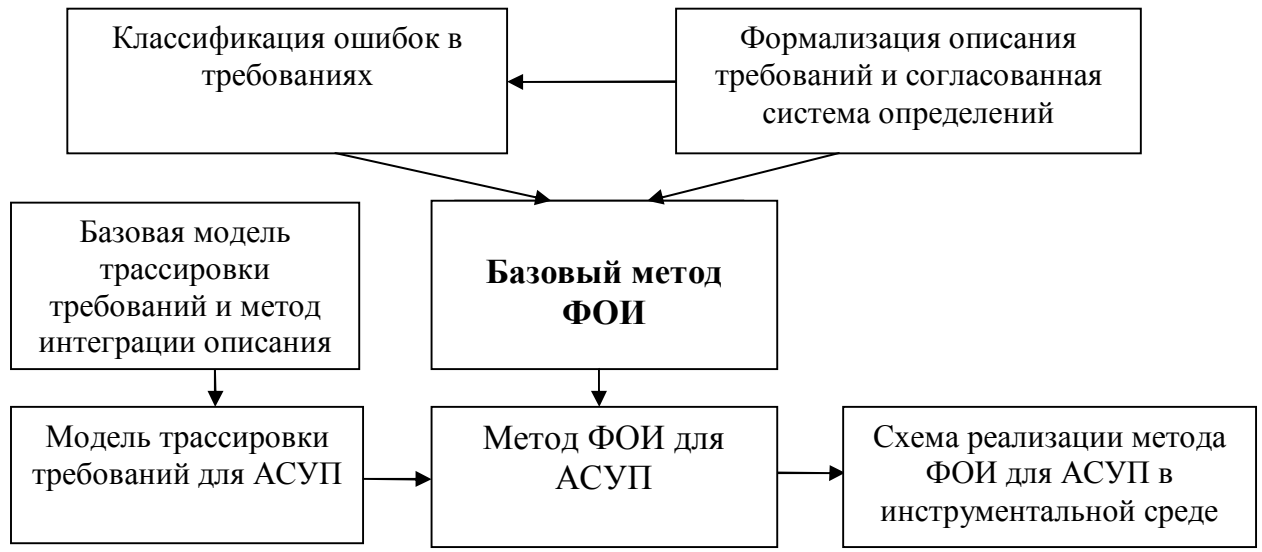


Рисунок 4. Взаимосвязи между компонентами комплекса решений для ФОИ.

Заявленные в концепции - *метод описания АСУП для ФОИ (К3) и механизмы контроля ошибок и выявления направлений распространения изменений (К7), реализованы в виде единого согласованного решения* – базового метода ФОИ для систем, разрабатываемых на основании спецификаций требований и его расширения для систем класса АСУП.

Центральным компонентом разработанного комплекса решений является базовый метод ФОИ, который основан на разработанных компонентах: подходе к формализации описания требований; согласованной системе определений; классификации ошибок в требованиях. Базовый метод ФОИ фиксирует общие решения по формализации описания требований, интеграции в данное описание модели трассировки, формализации правил контроля ошибок и алгоритма ФОИ. Базовый метод является открытым – его компоненты должны быть дополнены, для учета специфики заданной предметной области, что позволяет повысить точность ФОИ за счет покрытия большего числа ошибок правилами описания. Базовый метод основан на МТ, содержащей всего 1 категорию и 1 отношение, в то время как его расширение – метод ФОИ для АСУП, реализует полную МТ для АСУП.

#### ***Формализация описания требований и классов ошибок***

Отсутствие формального и однозначно интерпретируемого определения понятия «требование» известная проблема инженерии ПО. Определение понятия «требование»: игнорируется, дается в неоднозначной форме, сводится к какому-либо частному случаю или подклассу. Это приводит к различным проблемам, в том числе к тому, что при использовании МТ невозможно понять границы категорий, однозначно соотнести проектные данные с категориями МТ, однозначно определить трассировочные связи. Также невозможно формально определить ошибки в требованиях, а значит обеспечить их контроль. Для решения данных проблем разработан подход к формализации описания требований, основанная на нем согласованная система определений и формальная классификация ошибок в требованиях, оказывающих влияние на точность и время ФОИ.

Подход к формализации описания требований основан на четырех положениях:

- Требование к системе определяется как *высказывание* о свойствах системы.
- Правила контроля ошибок представляются в виде высказываний.
- Структура высказываний задается системой предикатов, которые используют категории и отношения модели трассировки.
- Взаимосвязанные требования определяются как *взаимосвязанные высказывания*.

Предложенный подход отличается комплексностью и позволяет разрабатывать однозначно интерпретируемые, независимые от разработчика описания АСУП, позволяет автоматизировать контроль ошибок, интегрирует модель трассировки требований в описание требований – структура требований всегда будет соответствовать МТ, позволяет автоматически выявлять связи между требованиями, что сокращает время ФОИ.

Разработанная система определений, основанная на данных положениях, дает формальное, однозначно интерпретируемое определение понятия «требование», которое покрывает все классы требований и фокусирует внимание специалиста на ключевых аспектах разработки требований, игнорирование которых приводит к дорогостоящим ошибкам проектирования. Система определений основана на понятиях математической логики. Ниже приведена формальная запись основных понятий и разработанная на их основе классификация ошибок.

Пусть  $z$  – задача моделирования.  $DM_z$  – метод описания, предназначенный для описания *требований* для решения задачи моделирования  $z$ .

$DM_z = \langle L_z, A^L_z \rangle$ , где  $L_z$  – формальный язык,  $L_z = \langle W^L, G^L \rangle$   $W^L$  – алфавит языка,  $G^L$  – синтаксис языка,  $A^L_z$  – множество правил описания, сформулированных на языке  $L_z$ .

$DCM_z$  – метод решения задачи моделирования  $z$ .  $DCM_z = \langle DM_z, R^L_z \rangle = \langle L_z, A^L_z, R^L_z \rangle$ , где  $R^L_z$  – множество правил вывода решения задачи моделирования, сформулированных на языке  $L_z$ .

$M^{DMz}$  – частная проектная модель (ЧМП).

$MM^{DMz}$  – модель ЧМП, содержащей требования, задокументированные с использованием метода описания  $DM_z$ ,  $MM^{DMz} = \langle E, S^E, V^{DMz} \rangle$ , где  $E$  – множество предметных констант, а  $S^E$  – множество интерпретаций предметных констант.

$V^{DMz}$  – множество требований к системе, элементы которого  $v^{DMz} \in V^{DMz}$ , являются правильно-построенными формулами, аргументами которых являются предметные константы:  $v^{DMz} = \text{ппф}^{DMz}(e_j, e_k, \dots, e_w)$ , где  $e \in E$ .

Тогда  $M^{DMz} = v_1^{DMz} \wedge v_2^{DMz} \wedge \dots \wedge v_N^{DMz}$ .

$M^S$  – проектная модель системы  $M^S = M^{DM1} \wedge M^{DM2} \wedge \dots \wedge M^{DMk}$ .

Формальное определение понятия «требование» позволило формально определить классы ошибок в требованиях. Классы ошибок представлены на рис.5 и определены ниже.

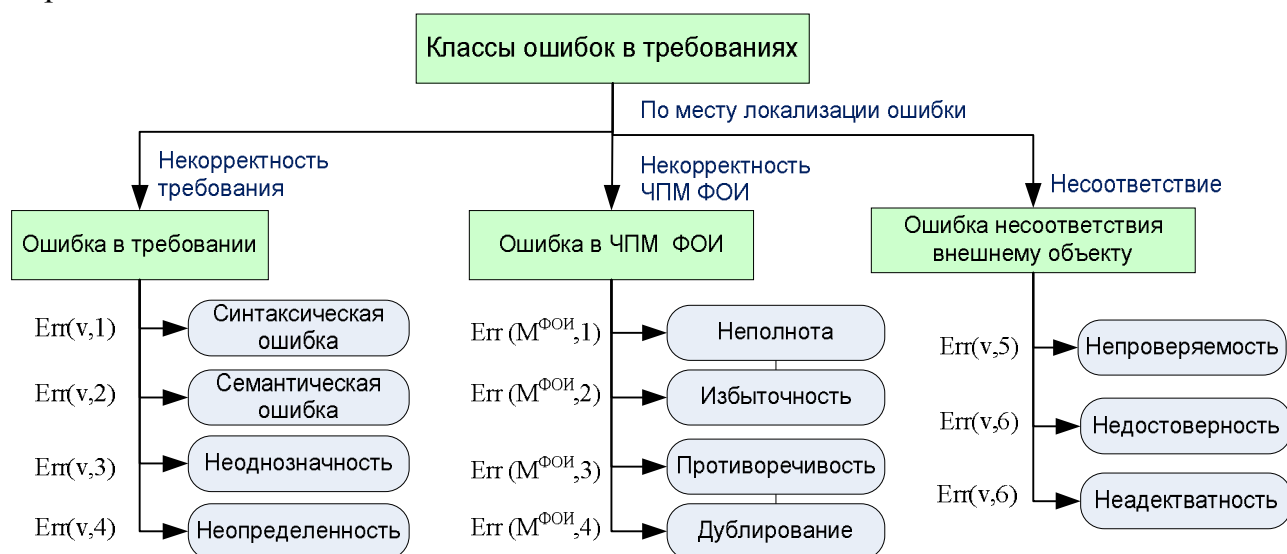


Рисунок 5. Классификация ошибок в требованиях.

1.  $\text{Err}(v,1) \Rightarrow v \neq \text{ппф}(L)$
2.  $\text{Err}(v,2) \Rightarrow \exists a \in A: v \Rightarrow \neg a$
3.  $\text{Err}(v,3) \Rightarrow \text{card}(\text{Ipt}(v)) > 1$
4.  $\text{Err}(v,4) \Rightarrow \text{Ipt}(v) = \emptyset$
5.  $\text{Err}(v,5) \Rightarrow \neg \exists |\text{Ipt}(v)|$
6.  $\text{Err}(v,6) \Rightarrow |\text{Ipt}(v)| = 0$
7.  $\text{Err}(M^{\text{ФОИ}},1) \Rightarrow \exists M1^{\text{ФОИ}}, M2^{\text{ФОИ}} \in M^{\text{ФОИ}}: \neg \exists v1, v2: v1 \in M1^{\text{ФОИ}} \wedge v2 \in M2^{\text{ФОИ}} \wedge \text{Connected}(v1, v2)$
8.  $\text{Err}(M^{\text{ФОИ}},2) \Rightarrow \exists \text{Sub}M^{\text{ФОИ}} \in M^{\text{ФОИ}}: \text{Ipt}(\text{Sub}M^{\text{ФОИ}}) = \text{Ipt}(M^{\text{ФОИ}})$
9.  $\text{Err}(M^{\text{ФОИ}},3) \Rightarrow \exists v1, v2 \in V: v1 \wedge \neg v2$
10.  $\text{Err}(VM^{\text{ФОИ}},4) \Rightarrow \exists v1, v2 \in V: \text{Ipt}(v1) = \text{Ipt}(v2)$

Где  $M^{\text{ФОИ}}$  – ЧПМ для ФОИ,  $\text{Ipt}(v)$  – интерпретация (смысл) требования  $v$ ,  $\text{card}()$  – мощность множества.

Выбор структуры описания требований и ее формализация позволяют обеспечить контроль ошибок класса «Некорректность требования» и «Некорректность ЧПМ ФОИ», при этом на заданной структуре возможно определение правил контроля: пропуска/включения избыточных элементов, появления взаимоисключающих элементов.

### **Базовый метод формирования оценки изменений**

Математическим аппаратом разработанного метода является аппарат формальных систем и логики предикатов первого и второго порядка. Базовый метод представляет собой формальную систему  $FS = \langle L, A, R \rangle$  и содержит все три ее компонента  $\text{DCM}_{\text{ФОИ}} = \langle L_{\text{ФОИ}}, A^L_{\text{ФОИ}}, R^L_{\text{ФОИ}} \rangle$  – формальный язык  $L_{\text{ФОИ}}$  – язык описания требований, аксиомы  $A^L_{\text{ФОИ}}$  – правила описания требований и правила вывода  $R^L_{\text{ФОИ}}$  – правила формирования оценки изменений.

Язык описания требований  $L_{\text{ФОИ}}$  имеет двухуровневую структуру. Для описания требований и связей между ними используются предикаты первого порядка. Они задают МТ, не зависящую от предметной области. МТ определена одним унарным и одним n-арным предикатом: **Object(e)** и **GeneralRelation(e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub>, ..., e<sub>n</sub>)**, задающими, соответственно, категории и отношения МТ.

Тогда в соответствии с приведенными обозначениями *требование* есть

$v = \text{ппф}^{L_{\text{ФОИ}}}(\{\text{Object}(e_p)\}, \{\text{GeneralRelation}(e_j, e_k, \dots, e_w)\})$ , где  $e \in E$  – предметные константы.

Предикаты второго порядка  $L_{\text{ФОИ}}$  задают свойства требований, необходимые для ФОИ:

- **Changed(v)** - интерпретация требования, являющегося аргументом данного отношения, изменена, где  $v$  – формальное требование.
- **Suspected(v<sub>1</sub>, v<sub>2</sub>)** – интерпретация требования  $v_2$  подозревается на изменение в связи с изменением интерпретации требования  $v_1$ .
- **Connected(v<sub>1</sub>, v<sub>2</sub>)** –  $v_1$  и  $v_2$  - взаимосвязанные требования.

Тогда в соответствии с приведенными обозначениями: *ОПИ* есть множество  $V^{\text{suspected}}(v_j)$  состоящее из  $v_i \in V^{\text{suspected}}(v_j)$  таких, что **Suspected(v<sub>j</sub>, v<sub>i</sub>)**.

Базовый метод задает структуру аксиом  $A_{\text{ФОИ}}^L$ , которые должны быть разработаны при его расширении для конкретной предметной области. Структура аксиом ориентирована на покрытие классов ошибок, определенных в разработанной классификации. На уровне базового Метода определены три аксиомы, которые распространяются на любую предметную область. Например, задана аксиома полноты, обеспечивающая трассируемость требований ( $\text{Ett}(M^{\text{ФОИ}}, 1)$ ):

$\forall v1 \exists v2: \text{Connected}(v1, v2)$ , где  $v1, v2 \in V^{\text{DM}_{\text{ФОИ}}}$  требования, входящие в ЧПМ ФОИ. Интерпретация аксиомы: для любого требования входящего в ЧПМ ФОИ, существует взаимосвязанное с ним требование.

Правила вывода  $R_{\text{ФОИ}}^L$  задают алгоритм ФОИ и сформулированы с использованием предикатов второго порядка.

- $\text{Connected}(v1, v2) \Leftrightarrow \exists e, f1, f2: \text{Object}(e) \wedge v1=f1(e) \wedge v2=f2(e)$ .
- $\text{Suspected}(v1, v2) \Leftrightarrow \text{Changed}(v1) \wedge \text{Connected}(v1, v2)$  – связано напрямую с измененным.
- $\text{Suspected}(v1, v3) \Leftrightarrow \text{Suspected}(v1, v2) \wedge \text{Connected}(v2, v3)$  – связано косвенно с измененным.

Метод позволяет легко расширить  $R_{\text{ФОИ}}^L$  для уточнения алгоритма распространения изменений (применения различных эвристик). Например, для учета в алгоритме ФОИ возможных видов изменений достаточно ввести дополнительный аргумент, кодирующий тип изменения и написать соответствующие каждому типу изменений правила вывода.

Расширение  $L_{\text{ФОИ}}$ , позволяет увеличить количество подклассов контролируемых ошибок за счет детализации структуры описания (МТ).

### **Метод ФОИ для АСУП**

Метод ФОИ для АСУП –  $\text{DCM}_{\text{АСУП}} = \langle L_{\text{АСУП}}, A_{\text{АСУП}}, R_{\text{ФОИ}} \rangle$  представляет собой расширение языка ( $L_{\text{ФОИ}}$ ) и правил ( $A_{\text{ФОИ}}$ ) описания требований базового метода для интеграции модели трассировки АСУП.

Для интеграции МТ для АСУП в описание требований для ФОИ разработаны унарные и бинарные предикаты, составляющие  $L_{\text{АСУП}}$ , определена их интерпретация, на базе  $L_{\text{АСУП}}$  определены аксиомы  $A_{\text{АСУП}}$  (аксиомы типов), необходимые для контроля соответствия описания требований модели трассировки ( $\text{Ett}(v, 2)$ ).

Множество аксиом  $A_{\text{ФОИ}}^L$  расширено: для наследования свойств базового метода ( $\text{Ett}(M^{\text{ФОИ}}, i)$ ,  $i=1,3,4$ ); для обеспечения трассируемости в рамках каждого уровня МТ для АСУП и от уровня к уровню ( $\text{Ett}(M^{\text{ФОИ}}, 1)$ ); для реализации семантических правил IDEF0, не зависящих от парадигмы и технологии разработки, уровня модели трассировки ( $\text{Ett}(M^{\text{ФОИ}}, 1)$ ); для ограничения свойств отношений, которые могут приводить к созданию избыточных с точки зрения ФОИ, описаний ( $\text{Ett}(M^{\text{ФОИ}}, 2)$ ).

Разработанный метод ФОИ АСУП реализует все требования разработанной концепции ФОИ:

- Формальный метод описания требований обеспечивает: однозначную интерпретацию; независимость описания АСУП от разработчика; интеграцию МТ в описание требований.
- Модель трассировки АСУП, содержащая необходимый и достаточный набор категорий и отношений для ФОИ обеспечивает: сравнимость ОРИ на протяжении всего ЖЦ АСУП; возможность проецирования любых изменений АСУП; произвольную детализацию описания требований к АСУП; независимость от парадигмы проектирования, технологии и средств разработки; интеграцию с методами описания АСУП для сквозной трассировки.
- Реализованные аксиомы являются предметно-независимыми и позволяют осуществлять формальные проверки: соответствия структуры описания требований модели трассировки, трассируемости требований, семантических ошибок в требованиях, не зависящих от парадигмы и технологии проектирования, появления избыточных, с точки зрения ФОИ, связей между требованиями.
- Разработанные правила вывода обеспечивают выявление направлений распространения изменений.

Разработанный метод ФОИ АСУП является открытым и позволяет разрабатывать расширения всех компонентов – языка, правил описания и правил вывода.

Поддержка данных требований позволяет повысить точность и сократить время ФОИ за счет повышения качества исходных данных и автоматизации процесса выявления направлений распространения изменений.

**В четвертой главе** обоснован выбор класса и конкретной системы оптимальной для реализации метода ФОИ для АСУП, представлена разработанная схема реализации, а также представлено практическое применение результатов диссертационной работы.

Для применения на производстве разработана схема реализации метода ФОИ для АСУП в системе 3SL Cradle, обеспечивающей эффективную коллективную работу с требованиями и поддерживающей функцию трассировки требований.

Для реализации метода ФОИ для АСУП были разработаны: методика реализации МТ АСУП, методика реализации аксиом, методика формирования оценки изменений. Предложены методы реализации всех аксиом. Поддерживается алгоритм ФОИ заданный в базовом методе.

Разработанная схема реализации позволяет: 1) в любой момент отобразить текущую оценку распространения изменений в единицах, удобных для руководителя проекта; 3) повысить точность формирования оценки изменений за счет сокращения ошибок не только в исходных данных, но и в самом процессе ФОИ; 4) поэтапно наращивать описание АСУП без его перестроения и потери функциональности,

необходимой для контроля ошибок и формирование оценки трудоемкости изменений;

5) контролировать трудозатраты на поддержку данной технологии, за счет управления детализацией описания требований.

В рамках проекта по разработке АСУП для комитета экономического развития, промышленной политики и торговли Санкт-Петербурга, было выполнено описание разрабатываемой АСТП МС в соответствии с МТ АСУП. На начальном этапе проектирования, по данным за пять итераций, при помощи разработанного комплекса решений, было выявлено в среднем 1,2 ошибки на каждые 10 элементов описания. Использование разработанного комплекса позволило своевременно устранить дорогостоящие ошибки проектирования без потерь на перепроектирование системы и разработать модель системы, позволяющую оперативно определять ОРИ по запросам на изменение от заказчиков АСТП МС. Разработанный комплекс решений позволяет также сократить время на локализацию ошибок в ходе сопровождения системы, за счет трассировки ошибок в терминах бизнес-процессов Заказчиков к модели программного кода.

В рамках проекта по разработке системы менеджмента качества (СМК) в компании ООО «АВТОНИТ» было выполнено описание технологических процессов, поддерживаемых АСУП, в соответствии с МТ АСУП. Внедрение данного решения позволило выявлять ошибки в описании процессов на начальном этапе разработки, позволило снизить затраты на поддержку актуальности и согласованности описания системы процессов предприятия, а также сократить время ФОИ в ходе непрерывного совершенствования технологических процессов. Предложенный комплекс решений способствует успешному внедрению СМК, повышению качества процессов, облегчает и ускоряет процесс ознакомления сотрудников компании с изменениями в технологических процессах.

Успешное внедрение в производство подтверждает правильность теоретических и практических результатов работы.

С учетом нормирования по 48 проектам показателей сложности выполнения запроса на изменение, количества запросов в день на единицу системы, было рассчитано, что при сокращении трудозатрат на ФОИ на 1 час для каждого запроса и трудозатратах на разработку описания АСУП для ФОИ в размере 1,6% от трудозатрат на разработку ПО АСУП, срок окупаемости решения составляет в среднем 10,5 месяцев. Управление детализацией описания позволяет гибко регулировать трудозатраты на данное решение.

Внедрение результатов диссертационной работы на двух предприятиях и в учебный процесс СПбГПУ подтверждено актами.



## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

В ходе проведенных теоретических и экспериментальных исследований в диссертационной работе получены следующие результаты:

1. Разработана концепция ФОИ, реализующая комплексный подход к ФОИ для процесса планирования модификации АСУП.
2. Разработана базовая МТ, обеспечивающая возможность стандартизации процесса ФОИ на уровне всей организации и обеспечивающая интеграцию различных методов описания требований для сквозного отслеживания распространения изменений.
3. Разработана МТ для АСУП, отражающая специфику разработки АСУП, обеспечивающая удобную группировку и контроль трассируемости проектных данных.
4. Разработан подход к формализации требований, обеспечивающий трассируемость требований по построению, позволяющий автоматизировать поиск связей между требованиями и контроль ошибок в требованиях. Подход обеспечивает возможность визуализации модели требований, что облегчает контроль ошибок, которые невозможно выявить в автоматическом режиме.
5. Разработана система определений, обеспечивающая формальный, однозначно интерпретируемый, согласованный терминологический базис для задачи ФОИ.
6. Разработана классификация ошибок в требованиях, формально определяющая ошибки в требованиях, оказывающих влияние на ФОИ.
7. Разработан базовый метод ФОИ, отражающий общие решения по формализации задачи ФОИ для систем, разрабатываемых на основании спецификаций требований. Метод реализует принцип расширяемости для поддержки использования разных технологий проектирования ПО любой сложности.
8. Разработан метод ФОИ для АСУП, являющийся расширением базового метода, позволяющий сократить количество ошибок проектирования и повысить точность и сократить время ФОИ для систем класса АСУП.
9. Разработана схема реализации метода ФОИ для АСУП, позволяющая сократить сроки и расходы на внедрение разработанного комплекса решений за счет использования существующей инструментальной среды. Разработанное решение сокращает объем работ в ходе ФОИ, позволяет повысить точность ФОИ за счет сокращения ошибок не только в исходных данных, но и в самом процессе ФОИ.

**Результаты работы отражены в следующих публикациях:**

**Научные статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК:**

1. Курочкин М.А., Мадорская Ю.М. О формализации постановки задачи автоматизации и проектирования АСУП // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – №1(47) . – 2007. – С. 185-192.
2. Мадорская Ю.М. Формирование оценки изменений программного обеспечения АСУП // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – №1 (115) . – 2011. – С. 65-72.

### **Научные статьи, опубликованные в иных изданиях:**

3. Курочкин М.А., Мадорская Ю.М. Онтологическая модель информационной поддержки процессов разработки и эволюционного сопровождения систем автоматизации бизнес-процессов предприятия // Вторая международная конференция по когнитивной науке. – СПб. – 2006. – С.586-588.
4. Мадорская Ю.М. Технология разработки методов описания требований к организационно-технической системе для формирования оценки изменений // Фундаментальные исследования и инновации в технических университетах. Материалы XII Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы. – СПбГПУ. –2008. – С.142-143.
5. Курочкин М.А., Мадорская Ю.М. Проблема формирования оценки сложности изменений программного обеспечения при эволюционном сопровождении АСУП // Высокие интеллектуальные технологии и инновации в образовании и науке. XV Международная научно-методическая конференция. – СПб. – 2008. – С. 90-92 .
6. Курочкин М.А., Мадорская Ю.М., Формализация описания требований к информационному и программному обеспечению АСУП // XIV Всероссийская конференция Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах. – СПб. – 2010. – С.93-95.
7. Мадорская Ю.М. Модель контроля изменения требований для наукоемких автоматизированных систем управления // XVIII Международная научно-методическая конференция «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в образовании и науке» . – СПб. – 2011. – С.147-150 .
8. Курочкин М.А., Мадорская Ю.М. О проблеме повышения точности планирования разработки и сопровождения программного обеспечения // Фестиваль студентов, аспирантов и молодых ученых Северо-Запада «Технологии Microsoft в теории и практике программирования». – СПб. –2011. – С.42-44.
9. Мадорская Ю.М. Повышение точности и сокращение времени планирования в процессах управления проектами по разработке программного обеспечения // Международная конференция «Технические науки: проблемы и перспективы». – СПб. – 2011. – С.92-99.
10. Мадорская Ю.М., Тимофеев А.Н. О проблеме образования в области инженерии программного обеспечения // Международная научно-техническая конференция «Наука и образование». – Мурманск. – 2011. – С.203-207.