



на правах рукописи

Лазарев Владимир Александрович

Анализ и разработка средств интеллектуальной поддержки
автоматизированного тестирования программных комплексов

Специальность 05.13.01. – «Системный анализ, управление и обработка
информации (в науке и промышленности)» по техническим наукам

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Нижний Новгород – 2017 г.

Работа выполнена на кафедре "Вычислительные системы и технологии" Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева.

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Мисевич Павел Валерьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ваньков Юрий Витальевич, Казанский государственный энергетический университет, заведующий кафедрой «Промышленные теплоэнергетические установки и системы теплоснабжения», г. Казань

кандидат технических наук, доцент
Бабкин Эдуард Александрович, НИУ ВШЭ в Нижнем Новгороде/Факультет информатики, математики и компьютерных наук / Кафедра информационных систем и технологий, заведующий лабораторией, профессор кафедры информационных систем и технологий

Ведущая организация: Федеральный научно-производственный центр, акционерное общество
"Научно-производственное предприятие "Полет"

Защита диссертации состоится "25" января 2018 г. в 13.00 часов, в аудитории № 1315 на заседании диссертационного совета Д212.165.05 при нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексева по адресу: 603950 г. Н. Новгород, ул. Минина, д. 24, корпус 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева и на сайте <http://www.nntu.ru/content/aspirantura-i-doktorantura/dissertacii>.

Автореферат разослан " ____ " _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.165.05



А.С. Суркова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. За последние десятилетия наблюдается бурный рост информационных технологий во всех сферах жизни человеческого общества в предметной области разработки программного обеспечения (в частности). Рост вычислительной мощности, а также развитие технологий хранения данных привели к тому, что современные программные продукты совмещают огромное количество функций и значительно увеличились в размерах. При этом, можно отметить экспоненциальный рост сложности всех классов программного обеспечения (ПО).

Помимо роста сложности программных комплексов нужно отметить тенденцию на сокращение длительности цикла разработки. Применение гибкой (agile) вместо каскадной (waterfall) модели разработки потребовало повышения степени автоматизации тестирования для сохранения качества разрабатываемого ПО. Это привело к рождению нового класса систем – систем автоматизированного тестирования.

По мере дальнейшего роста сложности программных комплексов растет сложность систем автоматизации тестирования. Вследствие этого увеличивается количество отказов, вызванных сбоями системы автоматизации тестирования. В результате центр приложения усилий смещается от разработки программного продукта и тестов для него в сторону поддержки системы автоматизированного тестирования. На данный момент поддержке автоматизированного тестирования уделяется недостаточно времени в исследованиях. В конечном итоге это приводит к неэффективному расходованию ресурсов. Применение системы интеллектуальной поддержки автоматизированного тестирования, которая возьмет на себя ряд функций, ранее выполняемых персоналом, позволит повысить как качество тестирования, так и эффективность использования ресурсов.

Так как создание ПО – одна из высокотехнологичных специализаций России в международном разделении труда, то разработка нового класса систем

интеллектуальной поддержки автоматизированного тестирования программных комплексов (СИП АТПК), являющихся подобием САПР, позволяет получить преимущество в конкурентной борьбе на данном сегменте рынке.

Данная работа дополняет труды в области искусственного интеллекта и систем автоматизации принятия решения таких ученых как Н. Винера, К. Шеннона, А. Тюринга, С. Рассела, М. Минского, Д.А. Пospelова, М.Г. Гаазе-Рапопорта, Д.Э. Попова, Т.А. Гавриловой, А.П. Еремеева и В.Н. Вагина, А.А. Бобцова, Р.И. Сольничева, В.М. Курейчика, Я.Е. Львовича, В.Н. Кучуганова и других.

Кроме того, использовались труды Д.А. Пospelова, М. Мэскона, М. Мински в области ситуационного подхода, а также труды П.В. Мисевича в областях сценарно-ситуационного, логистического подходов, а также их комбинаций.

Использовались работы в области проектирования САПР таких ученых как П.Д. Басалин, П. Джексон, А.П. Частиков и других.

Научная проблема диссертационной работы: обеспечение автоматизированного тестирования и сопровождение инструментариев поддержки для повышения эффективности и качества тестирования.

Цель и задачи исследования. Цель исследования – повышение эффективности процессов поддержки автоматизированного тестирования ПО за счет внедрения интеллектуального модуля поддержки работы системы автоматизации тестирования (САТ) программного обеспечения. Данная цель достигается решением следующих задач:

1. Анализ состояния работ в области автоматизации процесса тестирования ПО и выявление недостатков существующих подходов к построению систем автоматизированного тестирования.
2. Модификация типовой архитектуры систем автоматизации тестирования путем внедрения модуля интеллектуальной поддержки.

3. Разработка модифицированной продукционной модели информационного обеспечения интеллектуальной системы для ее адаптации к предметной области автоматизированного тестирования ПО.
4. Выработка принципов поддержки интеллектуального модуля на протяжении всего жизненного цикла данного модуля.
5. Разработка инструментариев для реализации интеллектуальной поддержки автоматизированного тестирования.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук соответствует пунктам 4, 9 и 10 паспорта специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и промышленности)» номенклатуры специальностей научных работников: Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; разработка проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических объектов; методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах.

Объект исследования – система автоматизированного тестирования программных комплексов, выполняемых на гетерогенных вычислительных системах.

Предмет исследования – инструментарий поддержки процесса автоматизированного тестирования программных комплексов.

Область применения. Методы и подходы, разработанные в рамках данной работы, применимы для модификации существующих или разрабатываемых систем автоматизированного тестирования. Результаты анализа предметной области могут быть использованы на различных этапах проектирования систем автоматизации разработки ПО для обоснования технических решений.

Теоретическую и методологическую основу исследования составляют сценарный, ситуационные и логистические подходы к вопросу исследования

предметной области и поддержки автоматизированных систем в течение жизненного цикла.

Методы исследования. В работе используется: системный подход, аппарат графов, аппарат баз данных, концептуальная модель «сущность-связь», методы искусственного интеллекта, в частности продукционные системы, методы инженерии знаний, процедуры поддержки продукционной базы знаний (БЗ) и алгоритмы работы интерпретаторов продукционной БЗ.

Научная новизна:

В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной.

- Предложена модифицированная архитектура систем автоматизированного тестирования ПО, предназначенная для построения данного класса систем и позволяющая автоматизировать значительную часть операций по поддержке работы подобных систем и отличающаяся от других наличием модуля интеллектуальной поддержки
- Разработана модифицированная продукционная модель и способ ее построения. Данная модель, а также способ ее построения предназначены для описания процессов в предметной области функционирования СИП АТПК, позволяют формализовать информационное обеспечение работы данного класса АС и отличаются от аналогов ориентацией на поддержку всех этапов ЖЦ данного класса систем.
- Сформулированы принципы поддержки системы баз знаний в предметной области работы систем автоматизированного тестирования. Данные принципы формализуют построение и модификацию подобных систем, позволяют решать проблемы избыточности и связности сценариев на всех этапах жизненного цикла, и отличаются от существующих ориентированностью на предотвращение возникновения дефектных или неэффективных сценариев.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивается сравнением разработанных аналитических моделей и

алгоритмов с результатами экспериментальных исследований и опубликованными материалами других исследователей, а также внедрением полученных результатов. Воспроизводимость экспериментов обеспечивается использованием в них синтезированной тестовой базы знаний и свободно распространяемого программного обеспечения.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

- предложена модифицированная архитектура систем автоматизированного тестирования, отличающаяся от существующих наличием модуля интеллектуальной поддержки, построенном с использованием модифицированной продукционной модели;

- сформулированы принципы поддержки продукционной базы знаний, ориентированные на ее поддержку на всех этапах жизненного цикла;

- разработана структура интеллектуального модуля и интерфейсы взаимодействия с другими элементами системы автоматизированного тестирования, что позволило создать инструментарий – скелетную оболочку интеллектуального модуля поддержки автоматизированного тестирования;

- применение модифицированной системы автоматизации тестирования привело к тому что, 92% инфраструктурных проблем стали детектироваться в автоматическом режиме, что позволило достичь следующих результатов: время, затрачиваемое инженерами по тестированию и администраторами на поддержку процесса тестирования, сократилось на 65%; повысилась эффективность использования тестовой инфраструктуры на 9%; сократилось время необходимое для получения достоверных тестовых результатов в 2,5 раза.

Сведение о внедрении результатов. Результаты диссертационного исследования внедрены в: АО «Интел А/О», в учебном процессе кафедры "Вычислительные системы и технологии" Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева. Разработанные алгоритмы, реализованы в системе CLIPS и защищены в качестве объектов интеллектуальной собственности.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований докладывались на всероссийских и международных научных конференциях, в том числе на IX, X, XII, XIII международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии» (ИСТ), XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии» МСИТ-2015, XV Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение», XII Международная научно-техническая конференция «Перспективные технологии в средствах передачи информации» (ПТСПИ-2017).

Положения, выносимые на защиту:

- Модифицированная архитектура систем автоматизированного тестирования, отличающаяся от существующих наличием модуля интеллектуальной поддержки, построенном с использованием продукционной модели
- Модифицированная продукционная модель описания процессов в предметной области функционирования СИП АТПК и способ ее построения.
- Принципы поддержки продукционной базы баз знаний в данной предметной области на всех этапах жизненного цикла.
- Структура интеллектуального модуля и интерфейсы взаимодействия с другими элементами системы автоматизированного тестирования, что позволило создать инструментарий – скелетную оболочку для его построения

Личный вклад автора заключается в развитии типовой архитектуры систем автоматизированного тестирования через включение в ее состав модуля интеллектуальной поддержки, модификации продукционной модели описания процессов в предметной области функционирования системы автоматизированного тестирования и в разработке принципов поддержки базы знаний СИП АТПК на всех этапах жизненного цикла.

Публикация результатов исследования. Результаты диссертационного исследования опубликованы в 12 печатных работах, из них 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, которые рекомендованы ВАК.

Объем и структура работы. Диссертационная работа изложена на 141 страницах, состоит из введения, трех глав, содержащих 29 рисунков, 16 формул и 14 таблиц, заключения, а также приложений. Библиографический список включает 100 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновываются актуальность темы диссертационной работы и необходимость разработки интеллектуального модуля поддержки системы автоматизированного тестирования, определяются объект, предмет, методы, цель и задачи исследования, устанавливаются научная новизна и практическая значимость исследования, приводятся сведения об апробации работы.

В первой главе приводится анализ предметной области и ставится проблема исследования, производится оценка изменения сложности программных комплексов, анализ современных тенденций в области автоматизированного тестирования.

В результате исследования было выявлено противоречие, выраженное в том, что сложность разрабатываемых программных комплексов различных классов (операционные системы – ОС, пользовательские приложения – ПП, интернет приложения – ВЭБ, производственные системы автоматизации – ПСА) растет (рисунок 1), в то время как длительность цикла разработки сокращается. При этом требования к качеству продукта сохраняются.

В результате изучения существующих типовых архитектур систем автоматизации тестирования стало очевидным, что существующие подходы требуют значительных трудозатрат для достижения требуемого качества тестируемого продукта.

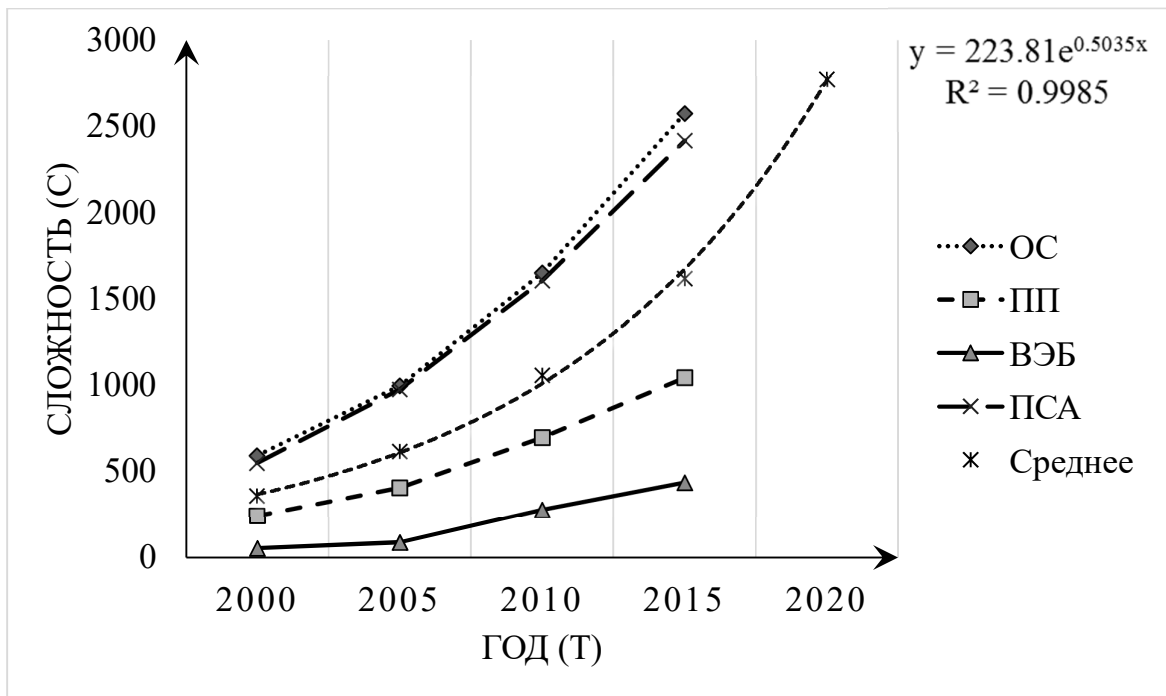


Рисунок 1 – Модель анализа показателей сложности программного обеспечения

Анализ тенденций в области тестирования программного обеспечения показал повышение степени автоматизации. Внедрение модуля, автоматизирующего процесс поддержки тестирования, является логичным развитием данных тенденций.

В рамках работы были изучены неформализованные знания, имеющиеся у инженеров, занимающихся поддержкой процесса автоматизированного тестирования, а так же проведено сравнение различных форм представления знаний. Это обусловило выбор продукционной модели как наиболее эффективной модели представления знаний в предметной области автоматизированного тестирования.

Анализ свойств продукционных систем позволил выявить ряд задач, требующих решения для эффективного использования продукционной базы знаний в исследуемой предметной области:

- а) Формальные конфликты, свойственные продукционной модели представления знаний.

- б) Сложность представления большого количества параметров объектов реального мира в продукционных системах.
- в) Сложности масштабирования продукционных баз знаний.

Сформулированы научно-практические задачи исследования, важнейшими из которых являются:

- а) Модификация продукционной модели интеллектуальной системы для исследуемой предметной области.
- б) Выработка принципов поддержки интеллектуального модуля.
- в) Разработка инструментариев для реализации предложенного подхода.

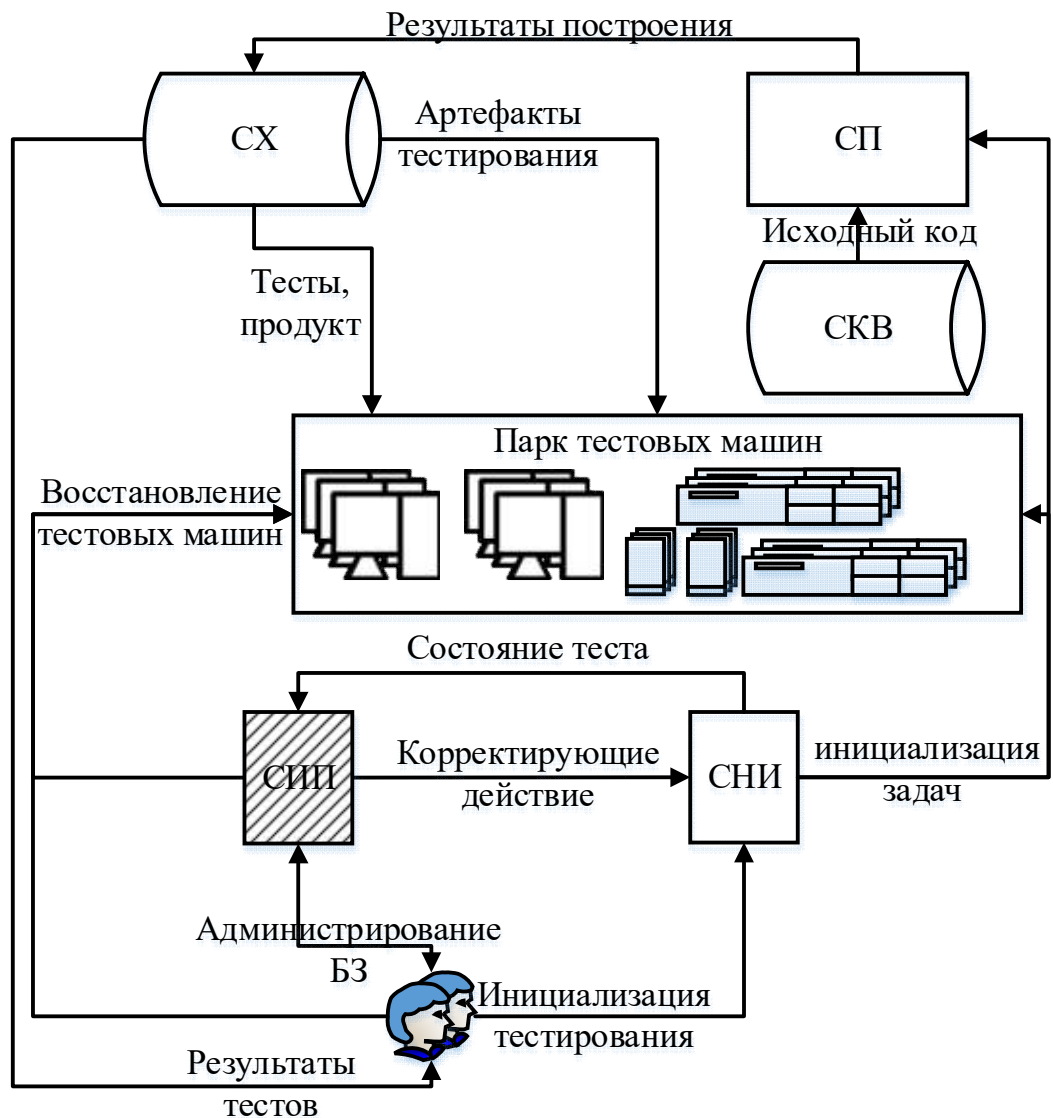


Рисунок 2 – Модифицированная архитектура систем автоматизированного тестирования

В результате первая глава содержит формулировки научной проблемы, научно-практических задач и концептуальную модель предметной области.

Во второй главе представлены методы построения интеллектуального модуля для поддержки системы автоматизированного тестирования.

Предложена модифицированная архитектура систем автоматизированного тестирования (рисунок 2).

Как уже говорилось выше, для построения интеллектуального модуля поддержки используется продукционная модель представления знаний. При этом необходимо подготовить как правила продукции, так и факты, к которым применяются правила. Для концептуального описания фактов используется паспорт ситуации (рисунок 3).

Соответствие между концептуальным представлением факта и его описанием в программной оболочке CLIPS показано в таблице 1 (пример соответствует факту, применяемому для проверки состояния тестовых устройств).

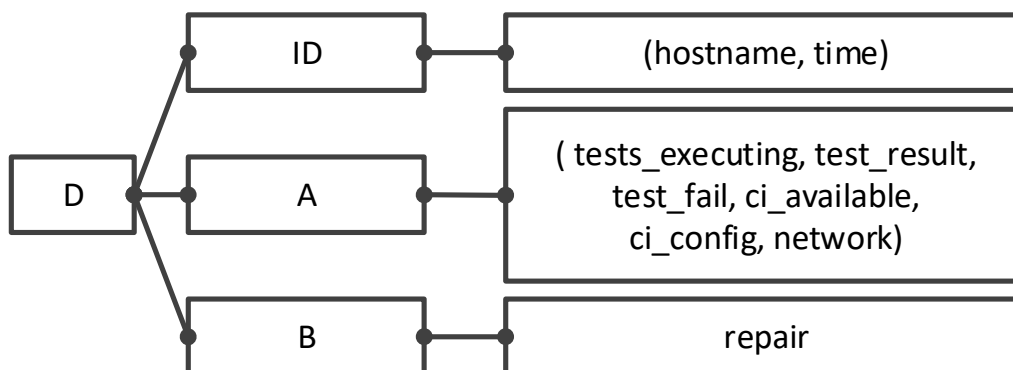


Рисунок 3 – Концептуальное представление факта

Для более эффективной работы была внедрена модифицированная продукционная модель описания процессов в предметной области функционирования СИП АТПК, в рамках которой предложен ряд модификаций стандартного правила продукционной модели.

Продукционное правило активируется при следующих условиях:

- факт является новым (данное правило к нему не применялось);

- факт не обработан (не было выработано решение, корректирующее действие);
- факт соответствует фрагменту предметной области;
- факт содержит условия активации правила;
- правило имеет максимальный приоритета среди правил соответствующих условиям активации.

Таблица 1 Форматы представления фактов

| Концеп-ное предст-ние | Представление в программной оболочке CLIPS | Комментарии |
|-----------------------|---|---|
| D | deftemplate device-mon | Наименование факта |
| ID | (slot hostname (type STRING)) | Сетевое имя устройства |
| | (slot time (type NUMBER)) | Дата/время сбора факта |
| B | (multislot repair (default unknown)) | Корректирующее действие |
| A | (multislot tests_executing (default unknown)) | Признак исполнения тестов |
| | (multislot test_result (default unknown)) | Признак доступности тестовых отчетов |
| | (multislot test_fail (default unknown)) | Признак наличия зарегистрированных отказов |
| | (multislot ci_available (default unknown)) | Признак доступности агента СНИ |
| | (multislot ci_config (default unknown)) | Признак корректной настройки агента СНИ |
| | (multislot network (default unknown)) | Признак доступности тестового устройства в сети |

На рисунке 4 изображено концептуальное представление правил продукции.

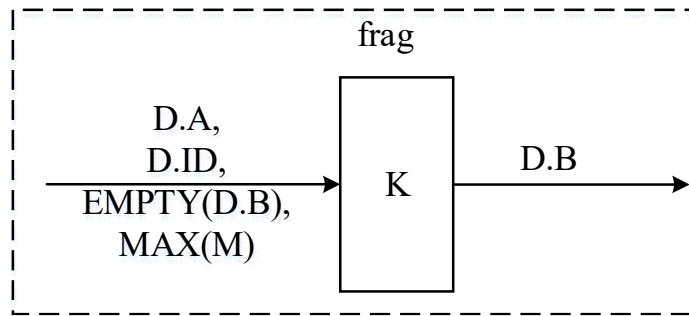


Рисунок 4 – Концептуальное представление правила продукционной модели

Обобщенный формат правила продукции представлен в формуле 1.

$$(frag) (k) \text{ ЕСЛИ } (D.A_i \dots D.A_j) \text{ и } (M_f \dots M_h) \text{ ТО } D.B_l \quad (1)$$

Где frag – идентификатор фрагмента предметной области, к которой принадлежит данное правило; k – идентификатор правила; D – множество дескрипторов ситуации; M – множество допустимых приоритетов, применяемых к правилам; A – множество допустимых условий; B – множество допустимых действий.

На данном этапе множество допустимых приоритетов (2) состоит из двух элементов экспертного (m_e , задается администратором базы знаний (3)) и статистического (m_s , вычисляется при работе модуля интеллектуальной поддержки (4)).

$$m_i = \{m_{ei}, m_{si}\} \quad (2)$$

$$m_{ei} = X \quad (3)$$

$$m_{si} = F_i / T * \sum 1/N_i \quad (4)$$

Где F_i – количество активаций правила i за расчетный период, T – длительность расчетного периода (по умолчанию 7 дней), N_i – количество правил, активированных после правила i до завершения сценария.

Таблица 2 содержит пример соответствия концептуального и машинно-ориентированного (адаптировано для программной оболочки построения экспертных систем CLIPS) видов представления правила продукции.

Таблица 2. Форматы представления правил продукции

| Концеп-ное предст-ние | Представление в программной оболочке CLIPS | Комментарии |
|-----------------------|--|---|
| М | (defglobal ?*s7-statistic-priority* = 0) (defglobal ?*s7-expert-priority* = 20) | Приоритеты правила |
| К | defrule s7-check-ci-agent-config | Идентификатор правила |
| MAX(M) | (declare (salience (+ ?*s7-expert-priority* ?*s7-statistic-priority*))) | Вычисление текущего приоритета правила |
| frag | (fragment device-monitor) | Принадлежность к фрагменту |
| EMPTY(D.B) | (not (repair ?)) | Признак незавершенности процедуры анализа |
| D.A | if ci-agent-is-configured then | Условие |
| D.B | (repair start-ci-agent) else (repair config-ci-agent) | Результат анализа |

Разработка и внедрение системы является необходимым, но не является достаточным условием успешного ее применения. В данной главе сформулированы принципы поддержки системы баз знаний в данной предметной области, которые позволяют решать проблемы избыточности, целостности БЗ, отличающихся от других ориентированностью на предотвращение возникновения дефектных или неэффективных сценариев:

- Принцип уникальности исходов для всех узлов в дереве сценария, допускающий однократное использование каждого допустимого исхода ($s_{исх}$) в рамках одного сценария, позволяет гарантировать отсутствие дублирующих путей и циклов в сценарии.

$$\{s_{исх} \mid s_{i\text{ исх}} = s_{j\text{ исх}} \text{ и } i \neq j\} = \emptyset \quad (5)$$

- Принцип логистической связности, заключающийся в том, что каждый узел из множества узлов сценария (S) должен быть доступен (reachable) из корня дерева сценария. Это позволяет гарантировать целостность БЗ.

$$S = \{s | \text{связан с корнем } (s)\} \quad (6)$$

- Принцип логистической оптимальности, требующий минимизировать средний путь пройденный в сценарии (path) для всего множества фактов (F).

$$P_{\text{лог.опт.}} = \min(\sum path(F)) \quad (7)$$

- Принцип статистической оптимальности, предполагающий, что узлы в сценарии, которые чаще (N_s раз) приводили к выявлению и исправлению нештатной ситуации с большей вероятностью приведут к этому в будущем (8).

$$P_{\text{стат.опт.}} = \min(path(S_{max(N_s)})) \quad (8)$$

Так же предложена методика формализации знаний о предметной области, основанная на модели проектирования «конструктор» (рисунок 5).

В рамках такой модели проектирование осуществляется в соответствии со стратегией «сверху - вниз». При этом вводится 4 уровня проектирования.

Уровень типовых задач описывает набор обособленных подзадач, требующих решения для достижения глобальной цели. Уровень типовых сценариев описывает множество сценариев, позволяющих решать типовые задачи. Уровень событий описывает объекты управления и их параметры, необходимые для работы сценариев. Уровень причинно-следственных связей содержит набор продукционных правил, являющихся основой для вышестоящих уровней. В результате проектирование интеллектуального модуля поддержки автоматизированного тестирования разбивается на следующие этапы:

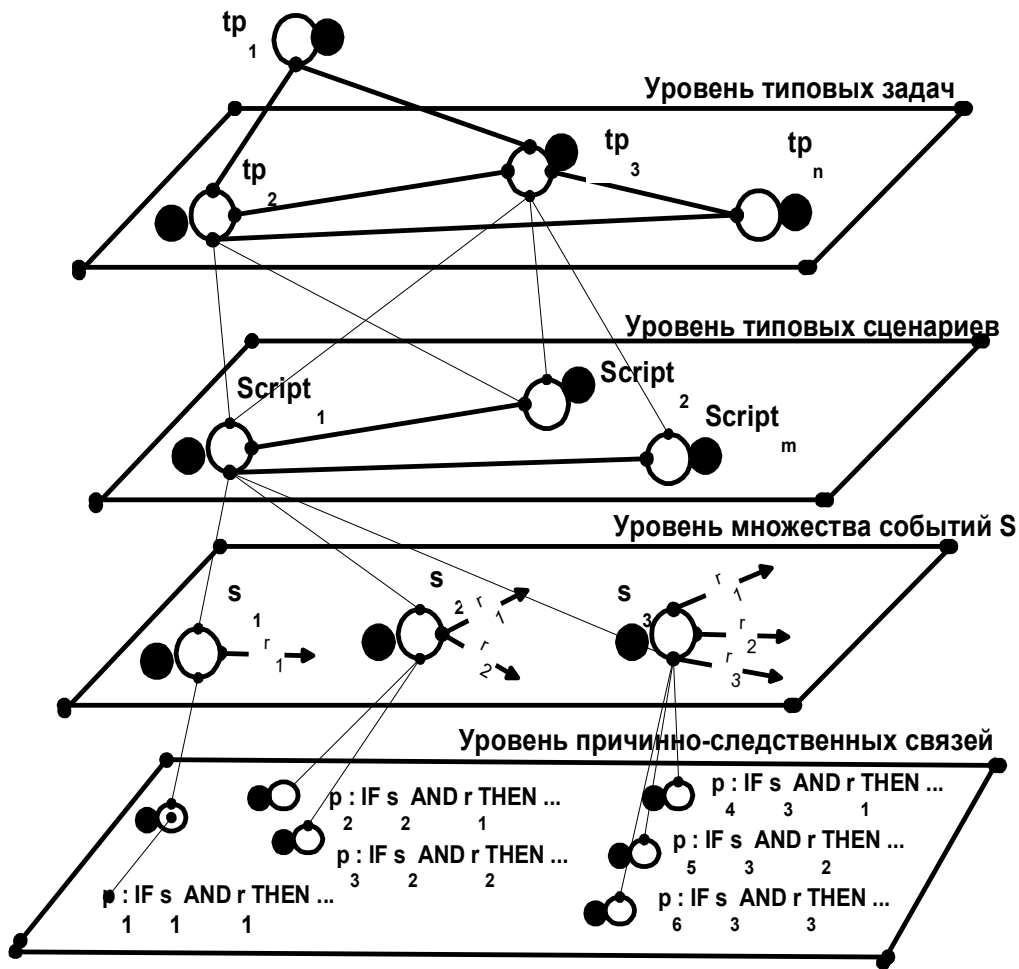


Рисунок 5 – Структура модели «конструктор»

- В качестве первого шага строится множество типовых задач в предметной области. Совокупность элементов типовых задач образует класс, которому в абстрактной модели соответствует родовой объект «Типовая задача».
- Далее между элементами класса устанавливаются горизонтальные, вертикальные и причинно-следственные связи.
- Следующим шагом является построение для каждой типовой задачи множества типовых сценариев ее решения. Для этого производится декомпозиция предметной области на элементы порождающего сценарии множества событий. При этом каждая типовая задача рассматривается отдельно, что позволяет упростить анализ и формализацию. Пересечения

на уровне типовых сценариев или типовых событий искусственно убираются за счет дублирования объектов пересечения.

- На заключительном этапе создаются правила в продукционной базе знаний правил, соответствующих типовым сценариям.

Таким образом, вторая глава содержит информацию о методах разработки и сопровождения интеллектуального модуля поддержки процесса автоматизированного тестирования программных комплексов на всех этапах жизненного цикла.

Третья глава содержит информацию о практической реализации инструментария поддержки процесса автоматизированного тестирования программных комплексов. В ходе работы по данной диссертации были изучены отказы, зарегистрированные в реальной системе автоматизированного тестирования программных комплексов и выбраны классы отказов, которые могут быть детектированы и исправлены в автоматическом режиме.

Была предложена схема сопряжения интеллектуального модуля с элементами системы автоматизированного тестирования (рисунок 6).

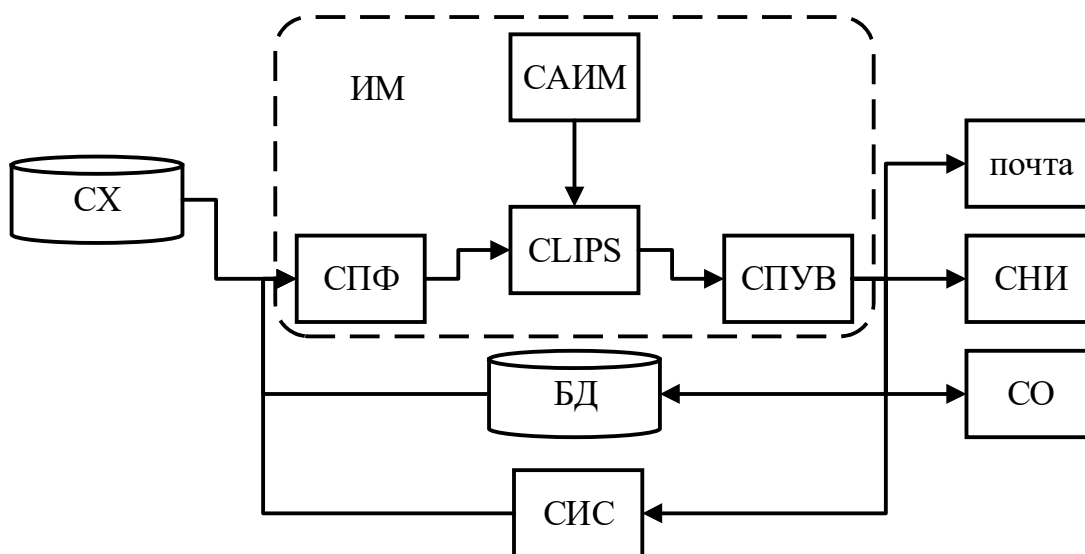


Рисунок 6 – Архитектура интеллектуального модуля

Ядро интеллектуального модуля выполнено в оболочке CLIPS, которая взаимодействует с системой подготовки фактов (СПФ), системой подготовки управляющего воздействия (СПУВ), системой администрирования

интеллектуального модуля (САИМ) и через них с сетевым хранилищем (СХ), базой данных (БД), системой исполнения скриптов (СИС), системой отправки сообщений по электронной почте или СМС (почта), системой непрерывной интеграции (СНИ), сетевыми объектами (СО).

Инициация работы интеллектуального модуля происходит при изменении состояния тестовой задачи (постановка тестовой задачи в очередь, взятие тестовой задачи на исполнение, завершение исполнения тестовой задачи). Кроме того, периодически (раз в час) происходит опрос всех объектов системы автоматизированного тестирования для выявления объектов, вышедших из области видимости (тестовых задач и устройств, а также, объектов тестовой инфраструктуры). Информация о состоянии объектов контроля собирается посредством СПФ и добавляется в базу фактов, после чего активируется база знаний, в результате работы, которой формируется (при необходимости) управляющее воздействие.

В данной работе используется критерий эффективности системы интеллектуальной поддержки аккумулирующий несколько частных параметров. Единицей измерения работы является тестовый цикл – полный набор тестов, которые необходимо выполнить, для получения информации о качестве продукта. Каждый частный параметр измеряется для одного тестового цикла. Рассматриваются следующие параметры:

- Доля отказов, выявленных автоматическом режиме ($Q_{\text{выявл}}$).
- Доля отказов, исправленных в автоматическом режиме ($Q_{\text{исправ}}$).
- Время необходимое для получения информации о качестве продукта – полное время тестового цикла ($T_{\text{цикла}}$).
- Время затрачиваемое персоналом на анализ одного тестового цикла ($T_{\text{перс}}$)
- Доля оборудования, выведенного из тестирования из-за отказов ($Q_{\text{обор}}$)

Критерий эффективности выражается в виде формулы (9). Уменьшение значения данного критерия говорит о росте эффективности интеллектуальной поддержки.

$$C_{\text{эффект}} = \frac{K_{\text{выявл}} * Q_{\text{выявл}} + K_{\text{испр}} * Q_{\text{испр}}}{K_{\text{цикла}} * T_{\text{цикла}} + K_{\text{перс}} * T_{\text{перс}} + K_{\text{обор}} * Q_{\text{обор}}} \quad (9)$$

Коэффициенты $K = \{K_{\text{выявл}}, K_{\text{испр}}, K_{\text{цикла}}, K_{\text{перс}}, K_{\text{обор}}\}$ выставляются в соответствии с вкладом параметра в общую эффективность на основании экспертной оценки $K = \{100, 10, 5, 10, 3\}$. В результате модель эффективности можно выразить формулой 10.

$$\text{MAX}(C_{\text{эффект}}) = \text{MAX}\left(\frac{100 * Q_{\text{выявл}} + 10 * Q_{\text{испр}}}{5 * T_{\text{цикла}} + 10 * T_{\text{перс}} + 3 * Q_{\text{обор}}}\right) \quad (10)$$

В результате внедрения интеллектуального модуля поддержки в систему автоматизированного тестирования 92% инфраструктурных проблем детектируются в автоматическом режиме, из них 80% проблем исправляются автоматически. Это позволило достичь следующих результатов:

- время, затрачиваемое инженерами по тестированию и администраторами на поддержку процесса тестирования, сократилось на 65%;
- повысилась эффективность использования тестовой инфраструктуры на 9%;
- сократилось время, необходимое для получения достоверных тестовых результатов в 2.5 раза.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведено системное исследование состояния работ в области автоматизации процесса тестирования ПО и выявлены несоответствие между скоростью роста сложности программных продуктов, требованиями к качеству и применяемыми методами поддержки тестирования, состоящее в том, что существующие методы поддержки не позволяют достичь требуемого качества выпускаемых продуктов с учетом ожидаемого роста сложности ПО в ближайшие 5 лет.

2. Разработана модификация типовой архитектуры систем автоматизации тестирования повышающая эффективность поддержки подобных систем за счет внедрения модуля интеллектуальной поддержки.
3. Разработана модифицированная производственная модель информационного обеспечения интеллектуальной системы, адаптированная к предметной области автоматизированного тестирования ПО.
4. Разработаны принципы поддержки интеллектуального модуля на протяжении всего жизненного цикла данного модуля, ориентированные на исключение возникновения дефектных и неэффективных сценариев.
5. Разработан инструментарий для реализации модуля интеллектуальной поддержки автоматизированного тестирования.
6. Проведена оценка результатов пилотной эксплуатации систем автоматизированного тестирования с модулем интеллектуальной поддержки.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИСЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК РФ:

1. Лазарев, В.А. Применение производственной систем для сопровождения автоматического тестирования [Текст] / В.А. Лазарев // Системы управления и информационные технологии. – 2013. – №4 (54). – С. 98-103.
2. Лазарев, В.А. Анализ тенденций и выбор направления развития перспективных систем поддержки автоматизированного тестирования программных комплексов [Текст] / В.А. Лазарев, П.В. Мисевич, В.П. Хранилов // Экономика и менеджмент систем управления. – 2015. – №2.2 (16). – С. 273-279.
3. Лазарев, В.А. Модели информационного обеспечения систем поддержки работы комплексов автоматизированного тестирования программного обеспечения [Текст] / В.А. Лазарев, П.В. Мисевич // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – №4 (65). – С. 44-48.

Публикации в других изданиях:

4. Лазарев, В.А. Применение интеллектуальных систем для сопровождения автоматизированного тестирования [Текст] / В.А. Лазарев // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии» ИСТ-2013. – 2013. – Н. Новгород: НГТУ. – С. 156
5. Лазарев, В.А. Построение интеллектуальной системы сопровождения автоматического тестирования [Текст] / В.А. Лазарев // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии» ИСТ-2014. – 2014. – Н. Новгород: НГТУ. – С. 223-224.
6. Лазарев, В.А. Методика разработки средств интеллектуальной поддержки автоматизированной системы тестирования программных комплексов [Текст] // Журнал Труды НГТУ. – 2015. – №2 (109). – С. 89-97.
7. Лазарев, В.А. Теоретические основы построения системы интеллектуальной поддержки автоматизированного тестирования [Текст] / В.А. Лазарев, П.В. // Сборник трудов международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Молодежь и современные информационные технологии" МСИТ-2015. – 2015 – Томск: ТПУ. – том 1. – С. 211-212.
8. Лазарев, В.А. Научно практические вопросы применения продукционной модели в предметной области автоматизированного тестирования [Текст] / В.А. Лазарев // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии» ИСТ-2016. – 2016. – Н. Новгород: НГТУ. – С. 334.
9. Лазарев, В.А. Научно-практические вопросы построения систем интеллектуальной поддержки в предметной области автоматизации тестирования [Текст] / В.А. Лазарев, П.В. Мисевич // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии» ИСТ-2017. – 2017. – Н. Новгород: НГТУ. – С. 191.

- 10.Лазарев, В.А. Инструментарии интеллектуальной поддержки систем автоматизации тестирования [Текст] / В.А. Лазарев, П.В. Мисевич // материалы всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение». – 2017. – Москва. – С. 30-31.
- 11.Лазарев, В.А. Научно практические вопросы построения информационного обеспечения инструментариев интеллектуальной поддержки систем автоматизации тестирования ПО [Текст] / В.А. Лазарев // Материалы международной научно-технической конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации» ПТСПИ-2017. – Владимир-Суздаль, 2017. – С. 21.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ и баз данных:

- 12.Лазарев, В.А. Модуль интеллектуальной поддержки автоматизированного тестирования. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017618198. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности РФ (Роспатент) от 25 июля 2017 г.