

На правах рукописи



Бурнашев Рустам Арифович

**ПРОГРАММНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ
ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ
ДИНАМИЧЕСКИ ОБНОВЛЯЕМЫХ БАЗ ЗНАНИЙ**

Специальность 05.13.11 - Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Казань – 2020

Работа выполнена на кафедре технологий программирования Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Научный руководитель: **Еникеев Арслан Ильясович,**
кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры технологий программирования
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский)
федеральный университет»

Официальные оппоненты: **Куликов Геннадий Григорьевич,**
доктор технических наук, профессор, профес-
сор кафедры автоматизированных систем
управления ФГБОУ ВО «Уфимский государ-
ственный авиационный технический универси-
тет»

Гибадуллин Руслан Фаршатович,
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры компьютерных систем ФГБОУ ВО
«Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н.Туполева-
КАИ»

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное об-
разовательное учреждение высшего образова-
ния «Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»

Защита состоится «01» октября 2020 года в 14 часов 30 минут на заседа-
нии диссертационного совета КФУ.01.04, созданного на базе ФГАОУ ВО
«Казанский (Приволжский) федеральный университет», по адресу: 420008,
Казань, ул. Кремлёвская, 35.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в Научной биб-
лиотеке им. Н. И. Лобачевского Казанского (Приволжского) федерального
университета (420008, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлёвская, 35)
и на официальном сайте КФУ <http://www.kpfu.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2020 года.

Учёный секретарь
диссертационного совета
кандидат физико-математических наук, доцент

А.И.Еникеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Современные программные инструменты для автоматизации построения экспертных систем (ЭС)¹ значительно повышают эффективность применения вычислительной техники в различных сферах деятельности человека (здравоохранении, образовании, экономики, юриспруденции и др.), а именно за счёт расширения в них новых решений и задач, которые ранее решались традиционными подходами².

В настоящее время результаты исследований по созданию программных инструментов для построения экспертных систем востребованы в области программной инженерии, о чем свидетельствует широкий спектр их применения в самых различных областях науки и техники. Это подтверждают исследования учёных: Г.С. Осипова, В.Н. Вагина, Г.В. Рыбина, Л.Т. Кузина, Е.М. Бениаминова, Э.В. Попова, И.Б. Фоминых, М.Р. Романов, А.Н. Швецова, Д.В. Александрова, Е.В. Кисель, М.Д. Шапот, В.М. Лохина, В.Э. Вольфенгагена, М.Р. Квиллиана, М. Минского, Дж. А. Робинсона, С.Л. Гольдштейна, Н. Нильсона, М. Саймона и др.

Начиная с XX века, программные продукты в области искусственного интеллекта вносят существенный вклад в развитие современной науки, а количество разработанных программных приложений для автоматизации построения систем принятия решений невозможно определить, так как по мере развития компьютерных и информационных технологий существенно расширяется область их применения. Одними из таких современных программных приложений используемых в разработках являются CASE-средства (CA ERwin Modeling Suite, Rational Suite, ARIS ToolSet, Power Designer, BizAgi BPM Suit, ELMA BPM) и программные продукты обеспечивающие эффективность разработки экспертных систем (Nexpert Object, Exsys, XpertRule, Guru, Flex, Acquire, ReSolver).

Стоит отметить, что существует также ряд нерешённых проблем и сложностей, которые требуют новых методов, моделей и технических разработок, направленных на развитие и популяризацию программных инструментов в области искусственного интеллекта, в особенности экспертных систем (ЭС). Это исходит из того, что не все программные инструменты решают полностью проблемы, появляющиеся как с точки зрения удовлетворения пользовательского спроса, так и с точки зрения инструментов разработки экспертных систем.

В ходе проведённых научных исследований были определены актуальные в настоящее время проблемы, с которыми часто сталкиваются пользователи и разработчики программных продуктов:

1. Сложность структуризации входных данных, поступающих в режиме реального времени;

¹ Попов Э. В. Статические и динамические экспертные системы: Учебное пособие / Э.В. Попов, И. Б. Фоминых, Е.В. Кисель, М.Д. Шапот. — М.: Финансы и статистика, 1996. — 320 с.

² Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта / Г.С. Осипов // М.: Физматлит, 2011. — 296 с.

2. Сложность совместимости разнородных программных систем и систем управления базами данных (СУБД) в рамках единой интегрированной среды разработки экспертных систем (ИСПЭС);

3. Высокая стоимость программно - инструментальных средств построения экспертных систем и практическое отсутствие внедрения подобных отечественных разработок;

4. Недостаточная распространённость подобных программных инструментов с открытым исходным кодом (Open source).

В связи с этим, проблемы связанные с созданием программных инструментов для автоматизации построения экспертных систем на основе динамически обновляемых баз знаний³, определили ключевые моменты диссертационной работы⁴.

На основе представленных проблем предлагаются следующие перспективные направления развития исследований в этой области:

1. Создание новой интегрированной среды разработки экспертных систем, включающая в себя разнородные программные системы, позволяющей автоматизировать процесс построения экспертных систем (ЭС);

2. Решение проблемы совместимости программных систем Prolog, JavaScript, Python, PHP, а также с СУБД PostgreSQL и MySQL, объединённых в рамках единой ИСПЭС;

3. Построение UML-диаграммы вариантов использования (use-case) для описания принципа работы ИСПЭС;

4. Генерация графической информационной модели базы знаний (БЗ), которая представляет структуру и семантику информационной части в ИСПЭС;

5. Разработка программного модуля, обеспечивающего тестирование взаимодействия программных компонентов ИСПЭС;

В работе были использованы специализированные программные инструменты построения экспертных систем в рамках единой ИСПЭС, включающей в себя средства механизма логического вывода на основе системы Prolog и инструменты телеметрии⁵.

Объектом исследования являются программные инструменты и средства поддержки разработки экспертных систем с возможностью динамического обновления баз знаний.

Предметом исследования являются модели и методы создания интегрированной среды разработки экспертных систем, включающей в себя разнородные программные системы для автоматизации процесса построения экспертных систем.

³ Burnashev, R. A. Expert system building tools based on dynamically updated knowledge/ R.A. Burnashev, A.I. Enikeev //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2019. – Vol. 1352. – №. 1. – P. 012008.

⁴ Burnashev, R.A. Specialized case tools for the development of expert systems/R.A. Burnashev, A.V. Gubajdullin, A.I. Enikeev //World Conference on Information Systems and Technologies. – Springer, Cham, 2018. – P. 599-605.

⁵ Burnashev R.A. Specialized case tools for the development of expert systems/ R.A. Burnashev, A.V. Gubajdullin, A.I. Enikeev //Advances in Intellegent Systems and Computing. – 2018. – Vol.745. – P. 599-605

Цель диссертационной работы. Основной целью диссертационной работы явилось создание программных инструментов на принципах достижения совместимости разнородных программных систем, с целью эффективного построения экспертных систем на основе динамически обновляемых баз знаний.

В соответствии с поставленной целью был решён ряд научно-технических задач, а именно:

1. Создана новая интегрированная среда разработки экспертных систем, включающая в себя разнородные программные системы, позволяющая автоматизировать процесс построения экспертных систем (ЭС);

2. Решена проблема совместимости программных систем Prolog, JavaScript, Python, PHP с СУБД PostgreSQL и MySQL, объединённых в рамках единой интегрированной среды разработки ЭС (ИСПЭС);

3. Построена UML-диаграмма вариантов использования (use-case), описывающая принципы работы ИСПЭС на основе динамически обновляемых баз знаний;

4. Выполнена генерация графической информационной модели базы знаний (БЗ), которая представляет структуру и семантику информационной части в ИСПЭС;

5. Разработан программный модуль, обеспечивающий тестирование взаимодействия программных компонентов ИСПЭС.

6. Проведена экспериментальная апробация разработанных программных инструментов и их компонентов при создании прототипов экспертных систем.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели в работе использованы методы в области искусственного интеллекта, модели и методы разработки систем принятия решений, методы представления и обработки знаний в экспертных системах, способы создания CASE-средств, алгоритмы поиска ассоциативных правил, а также технологии разработки и тестирования программного обеспечения.

Методологической базой диссертационной работы являются работы: Г.С. Осипова, В.Н. Вагина, Г.В. Рыбина, Л.Т. Кузина, Е.М. Бениаминова, Э.В. Попова, И.Б. Фоминых, М.Р. Романов, А.Н. Швецова, Д.В. Александрова, Е.В. Кисель, М.Д. Шапот, В.М. Лохина, В.Э. Вольфенгагена, М.Р. Квиллиана, М. Минского, Дж. А. Робинсона, С.Л. Гольдштейна, Н. Нильсона, М.Саймона и др.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Создана новая ИСПЭС, включающая в себя разнородные программные системы, позволяющая автоматизировать процесс построения экспертных систем (ЭС);

2. Решена проблема совместимости программных систем Prolog, JavaScript, Python, PHP с СУБД PostgreSQL и MySQL, объединённых в рамках единой интегрированной среды разработки ЭС (ИСПЭС);

3. Построена UML-диаграмма вариантов использования (use-case), описывающая принципы работы ИСПЭС на основе динамически обновляемых баз знаний;

4. Выполнена генерация графической информационной модели базы знаний (БЗ), которая представляет структуру и семантику информационной части в ИСПЭС;

5. Разработан программный модуль, обеспечивающий тестирование взаимодействия программных компонентов ИСПЭС.

Практическая значимость результатов работы заключается в создании эффективных программных инструментов и средств построения экспертных систем на основе динамически обновляемых баз знаний. Также подтверждаются использованием разработанного ИСПЭС в составе CASE-средства CA Erwin Data Modeler и Prolog интерпретатора Tau Prolog.

Полученные в ходе исследования результаты работы заключаются в возможности повышения качества построения экспертных систем за счёт внедрения программных инструментов в командные проекты по созданию программных продуктов в области искусственного интеллекта.

Изложенные в диссертации подходы, модели и алгоритмы могут быть применены разработчиками программного обеспечения при создании собственных программных инструментов для построения экспертных систем на основе динамически обновляемых баз знаний, а также при разработке и совершенствовании построения экспертных систем, используемых как в профессиональном образовании, так и в самообразовании преподавателей и студентов.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью применения методов, моделей и алгоритмов для создания программных инструментов, обеспечивающих повышение эффективности построения экспертных систем на основе динамически обновляемых баз знаний.

Реализации результатов диссертации. Результаты работы были внедрены в НИР «CASE-технологии для разработки экспертных систем» кафедры технологий программирования Казанского (Приволжского) федерального университета.

Также результаты подтверждены свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ, справкой о внедрении и использовании программных инструментов в образовательном процессе Казанского (Приволжского) федерального университета и Российского университета дружбы народов.

Научная специальность, которой соответствует диссертация.

Содержание работы соответствует паспорту научной специальности 05.13.11 Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, пункты 2, 3, 4 и 7. Сопоставление приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Сопоставление направлению и результаты исследований, предусмотренных специальностью 05.13.11

Направление	Результат работы
2. Языки программирования и системы программирования, семантика программ	Создана ИСПЭС, совмещающая в себе разные языки программирования (PHP, JavaScript, Python, Prolog)
3. Модели, методы, алгоритмы, языки и программные инструменты для организации взаимодействия программ и программных систем	Выполнена генерация ER-модели БЗ ИСПЭС с помощью CASE-средства CA Erwin Data Modeler Разработан программный модуль обеспечивающий тестирование взаимодействия программных компонентов ИСПЭС
4. Системы управления базами данных и знаний	Создан программный модуль на языке Prolog, обеспечивающий управление фактами и правилами БЗ
7.Человеко-машинные интерфейсы	Создан программный компонент, обеспечивающий создание правил и фактов экспертом предметной области

Апробация работы. Основные положения работы были представлены и доложены на следующих конференциях и семинарах:

1. XVI Международная конференция имени А.Ф. Терпугова «Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2017)» (29 сентября-3 октября 2017 г., г. Казань);
2. XXII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых учёных и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях» (15-17 ноября 2017 г., г. Рязань);
3. IX студенческая конференция по математическому моделированию и информационным технологиям «SMIT 2017» (27-28 апреля 2017 г., г. Казань);
4. II Международная конференция по новым тенденциям и технологиям управления «NCETCMT-2017» (21-22 февраля 2017 г., г. Аллахабад (Индия));
5. VI Всемирная конференция по информационным системам и технологиям WorldCIST'18 «Trends and Advances in Information Systems and Technologies» (27-29 марта 2018 г., г. Неаполь (Италия));
6. XXIII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых учёных и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях» (12-14 декабря 2018 г., г. Рязань);

7. IV Международный конгресс по информационно-коммуникационным технологиям «Fourth International Congress on Information and Communication Technology» (25-26 февраля 2019 г., г. Лондон (Великобритания));

8. Международная научно-практическая конференция по математическому моделированию, программированию и прикладной математике «International Scientific and Practical Conference on Mathematical Modeling, Programming and Applied Mathematics» (27-28 июля 2019 г., г. Великий Новгород, Россия);

9. Международная конференция по интеллектуальным тенденциям в системах, безопасности и устойчивости «World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WS4 2019)» (30-31 июля 2019 г., г. Лондон (Великобритания));

10. 40-я юбилейная международная конференция по архитектуре информационных систем и технологий «40th Anniversary International Conference on Information Systems Architecture and Technology – ISAT 2019» (15-17 сентября 2019 г., г. Вроцлав (Польша));

11. На совместном симпозиуме «Computer Science and Applied Mathematics» между Казанским (Приволжским) федеральным университетом и Университетом Киндай (Япония), (6-7 февраля 2020 г.);

12. На ежегодных итоговых научно-практических конференциях и кафедральных семинарах Казанского (Приволжского) федерального университета (2015–2020 г.).

Личное участие соискателя учёной степени в получении результатов, изложенных в диссертации. Все выполненные в диссертации результаты исследований получены автором самостоятельно.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, выводов по каждой главе, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованной литературы и пяти приложений. Основная часть диссертации изложена на 150 страницах машинописного текста, 14 таблицах, 49 рисунках и содержит список литературы, включающий в себя 130 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновываются актуальность, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, определены основные задачи и пути их решения для достижения поставленной цели.

Первая глава. «Анализ программных инструментов и проблем при построении экспертных систем». В главе проведён обзор CASE-инструментов автоматизации создания программных продуктов: CA ERwin Modeling Suite, Rational Suite, ARIS ToolSet, Power Designer, BizAgi BPM Suit, ELMA BPM, а также приложений направленных на построение экспертных систем: Nexpert Object, Exsys, XpertRule, Guru, Flex, Acquire, ReSolver.

Рассмотренные CASE-средства были условно разделены на четыре группы:

1. Программные инструменты, охватывающие весь жизненный цикл создания программного обеспечения (IBM Rational, CA ERwin Modeling Suite);
2. Программные комплексы, автоматизирующие разработку программного продукта (Power Designer);
3. Технические средства анализа и имитационного моделирования БЗ (Aris Toolset);
4. Программные системы управления базой знаний (BizAgi, Elma, CA ERwin DM).

Поскольку в работе одной из поставленной задачи является автоматизация построения экспертных систем на основе ИСПЭС, то наилучшим вариантом для управления БЗ представляется CASE-средство CA Erwin DM, обеспечивающее автоматическую генерацию ER-модели и управление БЗ.

Следующим шагом была решена задача совместимости разнородных программных систем.

Большинство онлайн Prolog интерпретаторов являются удалёнными серверами с установленной версией интерпретатора, которые получают программный код, выполняют его и возвращают результаты.

Одними из таких Prolog интерпретаторов являются системы, используемые в научных исследованиях: SWISH⁶, Rextester⁷, Execute Prolog Online (GNU Prolog v1.4.4)⁸, PRIMAT.ORG⁹ и Tau Prolog¹⁰.

Перечисленные программные системы активно используются в учебном процессе высших учебных заведений для ознакомления студентов с логическими и функциональными языками программирования.

В работе автором был использован новейший полноценный интерпретатор Prolog'a, который выпускается под лицензией BSD¹¹ 3-Clause (с открытым исходным кодом (Open source)) – Tau Prolog, реализованный на JavaScript и работающий прямо в веб браузере, обеспечивая тем самым гибкость модификации компонентов ЭС.

Современная библиотека Tau Prolog, содержит все необходимые методы подключения, обработки и вывода результата из БЗ ИСПЭС.

Для подключения и чтения фактов и правил из БЗ ИСПЭС использован метод `session.consult()`. Метод `session.query()` применялся для поиска знаний в БЗ ИСПЭС.

Для вывода результата из БЗ ИСПЭС был использован метод `session.answer()`, который проверяет - удовлетворена ли цель в рамках запроса к БЗ, а также, какие значения делают её истинной (true) или ложной (false).

⁶ URL: <https://swish.swi-prolog.org/>

⁷ URL: https://rextester.com/l/prolog_online_compiler

⁸ URL: https://www.tutorialspoint.com/execute_prolog_online.php

⁹ URL: http://primat.org/index/prolog_swi_online/0-147

¹⁰ URL: <http://tau-prolog.org/>

¹¹ URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Лицензия_BSD

Например, для обращения к БЗ используются предикаты (rule1-rule3), которые указаны в левой части, а в правой части записаны условия (правила), которые могут выполняться в зависимости от правил и фактов, хранимых в БЗ.

Ниже представлен фрагмент клиентского кода для записи фактов и правил на языке Prolog в БЗ ИСРЭС прототипа ЭС «Вакцинация», на основе которой выполняется обработка знаний и последующий вывод с помощью предикатов – целей (rule 1-rule3).

```
rule1(Y, Answer) :- temp(X, Y), Y > 37, id(Id, Answer).
rule2(Y, Answer) :- temp(X, Y), Y < 37, id(Id, Answer).
// ...
rule3(Y, Answer) :- vh(Id, Answer).
```

На основе набора правил выполняется подключение с помощью предикатов (vh,temp) к фактам, записанным в БЗ ИСРЭС.

```
// ...
<script id="bz.pl" type="text/prolog">
    temp('00111', 36).
    temp('00112', 36).
    // ...
    vh('00113', 'Hepatit A').
    vh('00114', 'Hepatit A').
    // ...
</script>
var session = pl.create();
session.consult("bz.pl");
// ...
```

Для вызова метода pl.create() для соответствующей БЗ, мы использовали объект session, который содержит метод consult(). Представленный метод выполняет подключение к Prolog модулю компонента ИСРЭС.

Так, для выполнения поиска знаний был использован метод query() :

```
session.query ("vh(Id, Answer), Answer = 'Hepatit A'").
```

С помощью метода answer() для переменной сеанса, Prolog модуль выполняет вычисление ответа для цели, выполняя поиск фактов или правила в БЗ ИСРЭС.

На основе изложенных выше методов автором работы были разработаны компоненты ИСРЭС (компонент редактирования экспертной системы, БЗ экспертной системы, компонент для внесения новых знаний), направленные на обеспечение совместимости разнородных программных систем и повышающие эффективность построения экспертных систем за счет применения программных инструментов с открытым исходным кодом (Open Source).

На основе предложенных методов разработан программный модуль, который содержит SQL скрипты с применением необходимых функций (подключение к СУБД, обработка и предоставление данных и др.) для эффективной работы ИСРЭС.

```

// ...
function initEditor() {
    $("#prolog-data").append(`<div>${
        prologCommands[i]}</div>`);
    $("#prolog-db").val(prologData);
    // ...
}
function runPrologQueryLocal() {
    let query = $("#prolog-command").val();
    session.query(query);
    session.answer(outputProlog);
    // ...
}
function runPrologQuery(query) {
    session.query(query);
    session.answer(outputProlog);
    // ...
}
}

```

Если выполняемый поиск по БЗ ИСПЭС завершается успешно (true), то объект передаётся в обратный вызов с помощью механизма логического вывода, в противном случае метод answer возвращает пустое значение (false).

В ходе проведенного обзора предметной области и существующих проблем, были определены следующие шаги достижения поставленной цели, изложенные в соответствующих главах работы.

Глава 2. «Проектирование программных инструментов для автоматизации построения экспертных систем». В главе подробно рассмотрены процессы применения программных инструментов для автоматизации построения экспертных систем.

На основе анализа этапов создания экспертных систем была построена UML-диаграмма вариантов использования (use-case), описывающая принципы работы интегрированной среды разработки экспертных систем (ИСПЭС) на основе динамически обновляемых баз знаний.

Для эффективности разработки экспертных систем было использовано CASE-средство CA Erwin Data Modeler. CASE-средство обеспечило возможность автоматической генерации ER-модели БЗ с прямым (Forward Engineering) и обратным (Reverse Engineering) проектированием ИСПЭС.

Также был разработан программный инструмент, отвечающий за формирование требований к программной среде, в которой будет функционировать ИСПЭС. Для реализации этой задачи был использован алгоритм поиска ассоциативных правил, который был реализован в виде вспомогательного программного инструмента системы принятия решения по созданию приложений для соответствующей области применения.

С целью повышения эффективности построения экспертных систем автором также были выделены ключевые этапы разработки ИСПЭС. Эти этапы были включены в жизненный цикл создания ИСПЭС.

На рисунке 1 представлены этапы, направленные на автоматизацию построения экспертных систем на основе ИСРЭС.

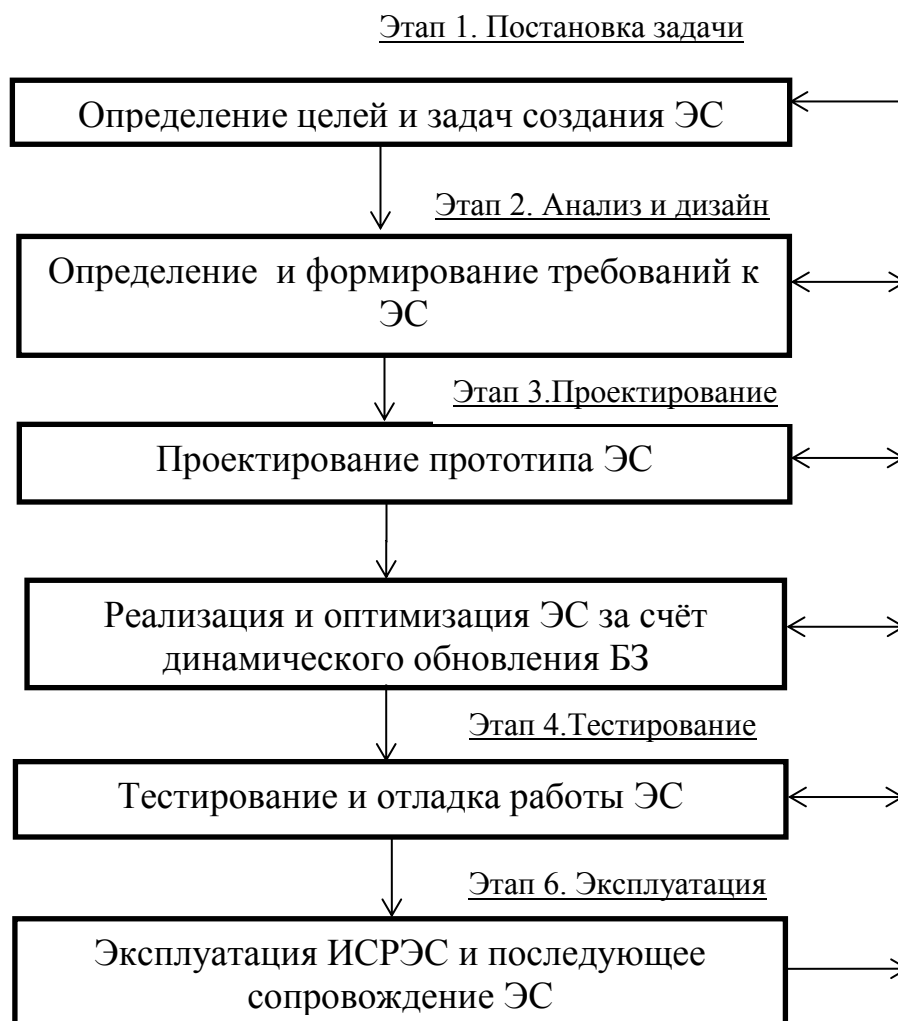


Рисунок 1 – Этапы жизненного цикл создания ИСРЭС

На основе представленных этапов разработки ИСРЭС была построена UML-диаграмма вариантов использования (use-case).

Шаг 1. Были определены пользователи и их роль при работе с ИСРЭС, прецеденты и варианты использования системы;

Шаг 2. Сформированы диаграммы классов программных компонентов ИСРЭС. Была выделена основная сущность системы, для которой сформированы классы или иерархия классов;

Шаг 3. Составлена связь между программными компонентами ИСРЭС для последующего взаимодействия разнородных программных систем.

Шаг 4. На основании диаграммы классов определены объекты, которые должны участвовать в ИСРЭС;

Шаг 5. Созданы схемы взаимодействия и алгоритм работы программных модулей ИСРЭС.

Сформированная UML-диаграмма (рисунок 2) позволяет наглядно определить принцип работы ИСРЭС, а также оценить последствия изменений, вносимых в БЗ, тем самым создавая гибкую технологию

модификации прототипа экспертной системы с одной группы задач на другую. При модификации прототипа экспертной системы формат БЗ и интерфейс механизма логического вывода остаются неизменными.

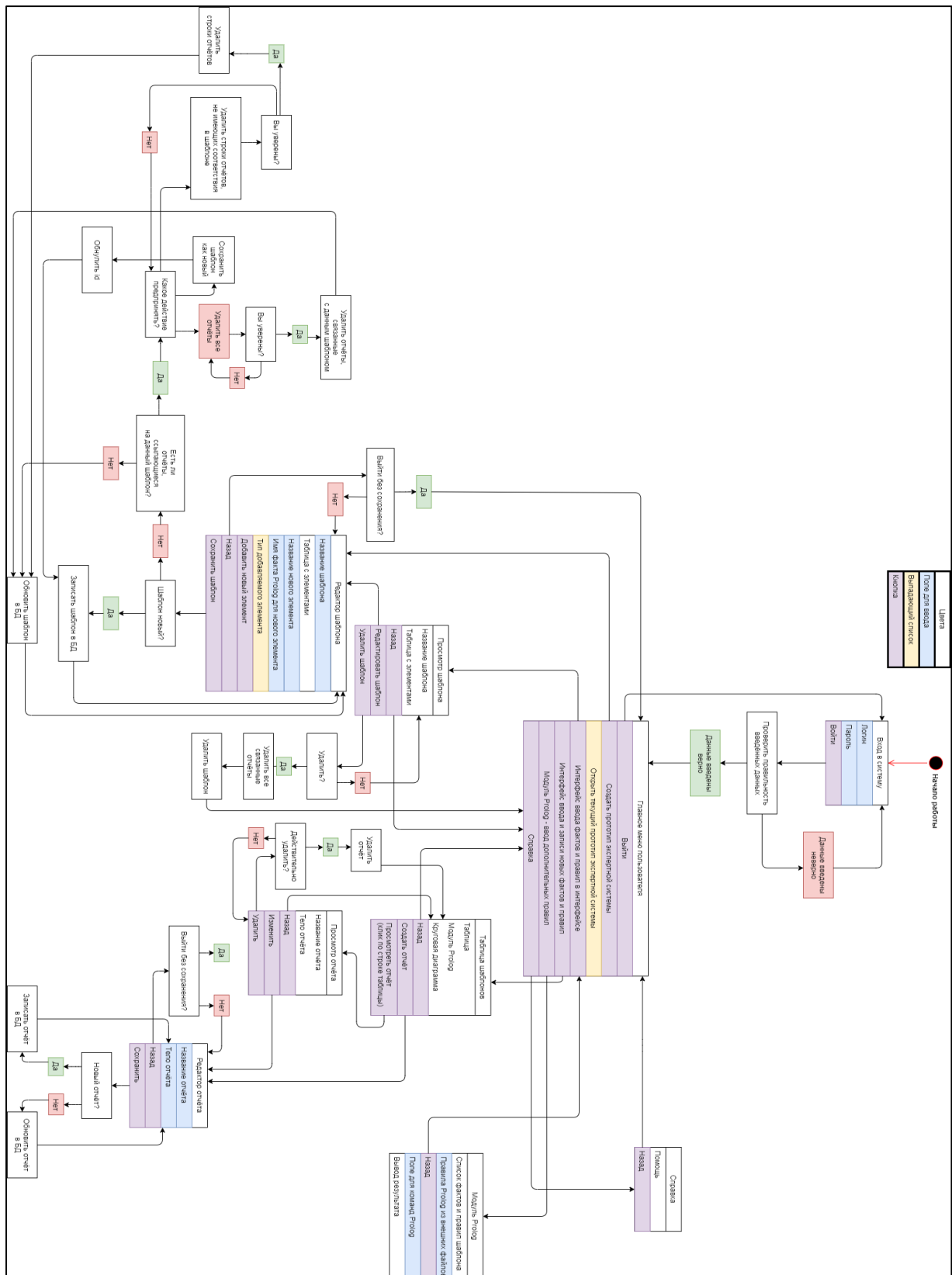


Рисунок 2 – UML-диаграмма для описания функционирования ИСРЭС

Изменение осуществляется путём расширения БЗ, посредством включения новых Prolog фактов и правил, которые обеспечивают получение новых знаний.

В работах автора^{12,13} приведена разработанная ИСРЭС, на основе сформированной UML-диаграммы в платформе draw.io.

Для повышения эффективности создания ЭС на основе ИСРЭС было использовано CASE-средство CA Erwin Data Modeler¹⁴, предназначенное для проектирования ER-модели и модификации БЗ ИСРЭС.

На основе сущностей, атрибутов/полей была сформирована модель (логическая и физическая) БЗ ИСРЭС, представленная на рисунке 3.

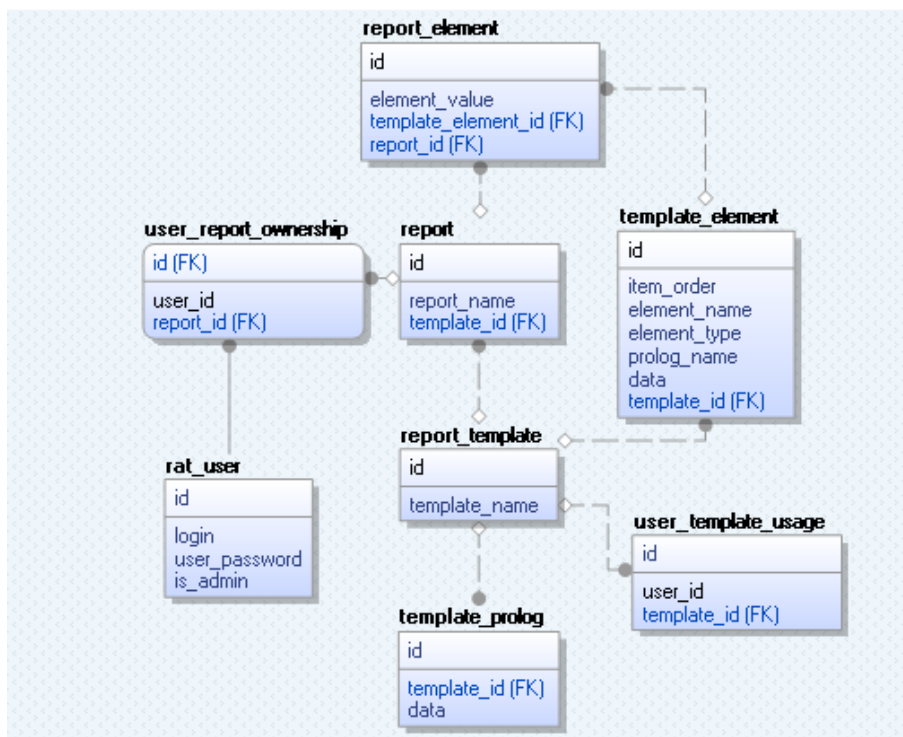


Рисунок 3 – Проектирование (Reverse Engineer) ER-модели БЗ ИСРЭС

Для обеспечения совместимости функционирования программных инструментов был разработан программный инструмент на языке программирования Python с применением современных библиотек (pandas, seaborn, matplotlib) в области анализа данных и прогнозирования. Разработанный программный инструмент отвечает за формирование требований к программной среде. Одними из основных элементов программного инструмента являются применение средств телеметрии (Python библиотеки: os, platform, system, proc, wmi и др.), а также алгоритм поиска ассоциативных правил (Python библиотека: apyori, matplotlib и др.).

¹² Gabdrahmanov R.T. Formulation of the Task of Constructing an Expert System for the Diagnosis of Leukemia / R.T. Gabdrahmanov, A.H. Hussein, R.A. Burnashev, A.I. Enikeev // Proceedings of the 3rd World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability, WorldS4. – 2019. – P. 7-11

¹³ Burnashev R.A. Illustration of experimental version of the expert system/ R.A. Burnashev, A.I. Enikeev // International Journal of Pharmaceutical Research. – 2020. – Vol.12, Is.1. – P.775-780

¹⁴ Агаманов Ю. С., Гончарук В. С., Гордеев С. Н. Обзор базовых возможностей ERwin Data Modeler // Молодой ученый. – 2017. – №. 9. – С. 26-28.

Так обеспечение выполнения поставленной задачи во многом зависит от эффективности процесса приобретения и обработки знаний.

Средства телеметрии (рисунок 4), отвечают за автоматический сбор программно–аппаратных характеристик программной среды, в которой функционируют разработанные программные инструменты. Для структуризации и анализа данных была использована Python библиотека pandas.

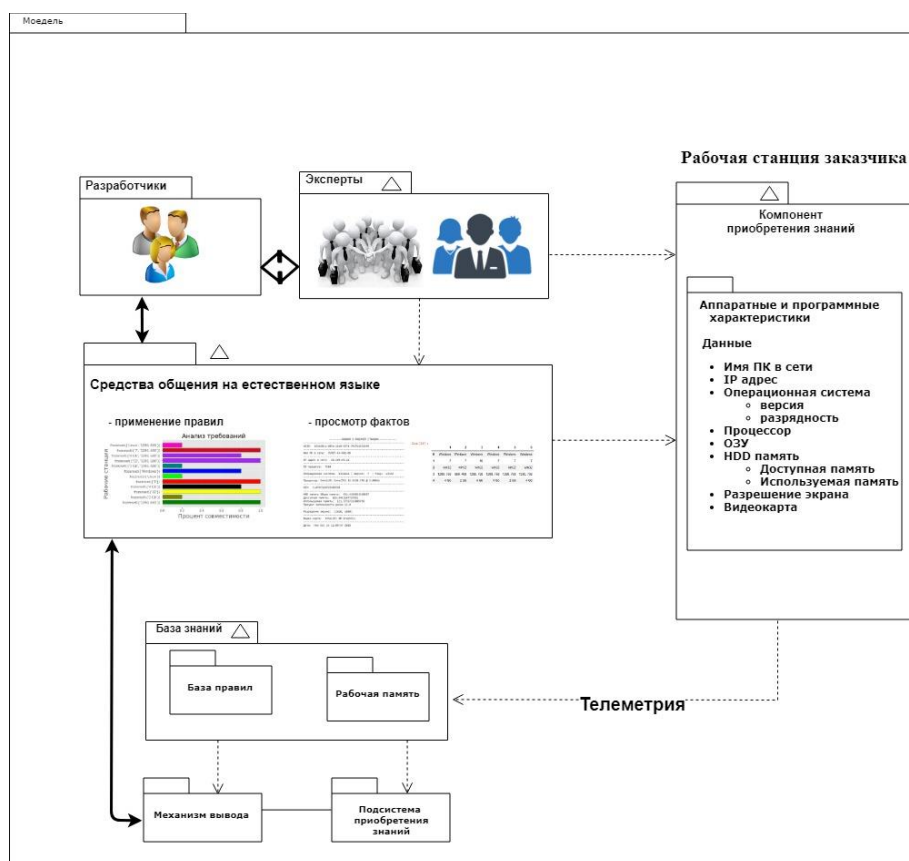


Рисунок 4 – Применение средств телеметрии

Для выполнения анализа данных был использован алгоритм поиска ассоциативных правил.

Пример. Ниже представлен фрагмент кода реализации программного инструмента формирования требований:

```
ra = pd.DataFrame ({
    'PC name': [socket.getname()],
    'IP': [socket.gethostname()],
    'OS': [platform.system()],
    'OS version': [platform.release()],
    'CPU capacity': [sys.platform],
    'CPU': [proc.Name],
    'RAM': [system_ram],
    'Date': [time.ctime()],
})
index = (['result'])
// Конкатенация данных с применением функции concat():
result=pd.concat(frames)
```

Алгоритм поиска ассоциативных правил¹⁵ был использован в поиске зависимости между фактами в базе знаний.

Ассоциативным правилам присуща простота интерпретации, возможность создания простого механизма их использования, что явилось причиной широкой востребованности методов поиска таких правил в различных приложениях: анализе потребительской корзины, анализе содержимого Интернет – ресурсов¹⁶.

Существует целый ряд базовых понятий в обучении на ассоциативных правилах: support (поддержка), confidence (достоверность), lift (поддержка).

Support

Для проверки при транзакции (передачи) одного элемента множества Result, применяется(1.1):

$$supp(X) = \frac{|\{t \in T, X \in t\}|}{|T|}, \quad (1.1)$$

где

X – элемент данных, для определения схожести в наборе множеств во всех транзакциях;

T – количество транзакций.

Для проверки нескольких элементов при транзакции(1.2):

$$supp(x_1 \cup x_2) = \frac{\sigma(x_1 \cup x_2)}{|T|}, \quad (1.2)$$

где

σ – количество транзакций, содержащих x_1 и x_2

T – количество транзакций.

Пример. Сбор и анализ требований программных и аппаратных характеристик:

$$supp = \frac{ra}{T}, \quad (1.3)$$

где

ra – данные о программных и аппаратных характеристиках;

T – количество транзакций.

На основе рассмотренного примера получен результат, представленный в виде диаграммы (рисунок 4) на языке программирования Python:

$$supp = 80\% (OS), \quad (1.4)$$

где

OS – информация об операционной системы.

Confidance

Данный показатель предназначен для проверки всего множества элементов Result, применяется(1.5):

$$conf(x_1 \cup x_2) = \frac{supp(x_1 \cup x_2)}{supp(x_1)}, \quad (1.5)$$

¹⁵ Zaki M. J. Mining non-redundant association rules //Data mining and knowledge discovery. – 2004. – V. 9. – №. 3. – С. 223-248.

¹⁶ Yin X., Han J. CPAR: Classification based on predictive association rules //Proceedings of the 2003 SIAM International Conference on Data Mining. – Society for Industrial and Applied Mathematics, 2003. – С. 331-335.

где в $\text{conf}(x_1 \cup x_2)$ проверяется правило, а именно в каких транзакциях выполняется правило «А», в элементах от А to G таблицы с программными и аппаратными характеристиками «Results»:

$$\text{supp}(X \cup Y) \quad (1.6)$$

Lift

Показатель Lift применяется в выявлении, насколько элементы items, зависят друг от друга в таблице «Results» (1.7):

$$\text{lift}(x_1 \cup x_2) = \frac{\text{supp}(x_1 \cup x_2)}{\text{supp}(x_1) \times \text{supp}(x_2)} \quad (1.7)$$

Далее представлен пример, разработанной на основе Prolog экспертной системы, которая дает рекомендации разработчикам программного обеспечения при формировании требований к программной среде (рисунок 5).

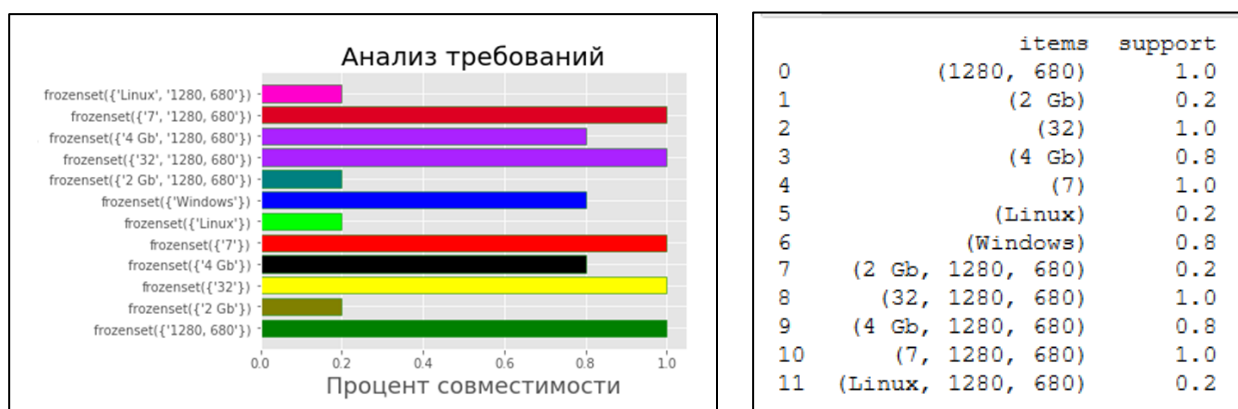


Рисунок 5 – Программный инструмент формирования требований

Этот способ основан на поиске ассоциативных правил¹⁷, с помощью которых выявляются зависимости между фактами (данными) в базе знаний и предоставлении информации рекомендательного характера для определения совместимости программных систем.

Глава 3. «Построение и тестирование прототипов экспертных систем». В главе представлены результаты исследования, связанные с построением и тестированием прототипов экспертных систем на основе ИСРЭС (рисунок 6). ИСРЭС включает в себя следующие разработанные компоненты:

- Компонент управления пользователями;
- Компонент создания новой экспертной системы;
- Компонент редактирования экспертной системы;
- БЗ экспертной системы;
- Компонент для приобретения новых знаний;
- Компонент для поддержки пользователей (справочная информация, объяснительный компонент и др.).

¹⁷ Бурнашев Р.А. Применение экспертных систем в CASE-средствах разработки программных продуктов/Р.А. Бурнашев //XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2018. – Т. 7. – №. 4(44). – С. 85-91



Рисунок 6 – Программный инструмент разработки ЭС

На основе ИСРЭС была осуществлена разработка экспериментальных экспертных систем в области образования и здравоохранения. Для проверки эффективности взаимодействия разнородных программных систем друг с другом было выполнено тестирование ИСРЭС в платформе Cypress.io¹⁸ (далее - платформа).

Можно выделить следующие удобства при работе с данной платформой:

1. Возможность интегрирования платформы в проект ИСРЭС;
2. Для тестирования компонентов платформа предоставляет встроенный браузер Google Chrome;
3. Платформа комбинирует другие виды тестирования;
4. При тестировании компонентов ИСРЭС платформа способна обращаться к каждому объекту интерфейса.

Для проверки процесса взаимодействия компонентов друг с другом в ИСРЭС были запрограммированы программные скрипты на языке программирования JavaScript.

С помощью данной платформы выполнено следующее:

1. Выполнено тестирование взаимодействия клиент–серверных компонентов ИСРЭС;
2. Выполнено автоматизированное тестирование взаимодействия программных систем друг с другом.

На основе проведённых исследований были запрограммированы программные скрипты (для создания ЭС (create.js), обновления (insert.js) и проверки Prolog правил (check.js)) на языке программирования JavaScript.

Пример построения прототипа медицинской экспертной системы «Вакцинация». Для построения прототипа были выполнена следующая последовательность действий:

1. Создан сценарий входа в ИСРЭС (выполняется команда запуска ИСРЭС);

¹⁸ URL: <https://www.cypress.io/>

2. Проверка открытия соответствующего компонента ИСРЭС (выполняется команда проверки интерфейса ИСРЭС);

3. Аутентификация пользователя выполнившего вход в ИСРЭС (выполняется команда ввода логина и пароля);

4. Создание прототипа экспертной системы «Вакцинация» (выполняется команда запуска «Создать ЭС» (создание полей интерфейса (id, температура, история болезни и др.));

5. Сохранение созданного прототипа экспертной системы (выполняется команда «Сохранить»).

На основе перечисленных шагов разработан программный скрипт «Создать ЭС» (create.js), представленный ниже:

Шаг 1. Выполняется команда запуска ИСРЭС

```
describe('MyTestSuite',function(){  
  it('Verify Title Of The Page-Positive', function(){  
    cy.visit('URL')  
  })  
})
```

Шаг 2. Выполняется команда проверки интерфейса ИСРЭС

```
cy.title().should('eq','Expert system building tools')  
})it('Expert system create',function() {
```

Шаг 3. Выполняется команда ввода логина и пароля

```
  cy.get('#login').type('')  
  cy.get('#password').type('')
```

Шаг 4. Создание прототипа экспертной системы

```
  cy.get('#template-name').type('Expert System')  
  cy.get('#new-item-name').type('Patient ID Card')  
  // ...  
  cy.get('#new-item-name').type('Temperature')
```

Шаг 5. Выполняется команда «Сохранить».

```
  cy.get('.save-button').click()
```

С помощью соответствующего программного скрипта посылается запрос на сервер, для получения ответа на отправленные данные, которые отслеживаются в платформе Cypress.io. При возникновении сбоя в функционировании ИСРЭС, платформа выдаёт соответствующее оповещение об ошибке. Оповещение будет содержать информацию о том, сколько тестов было выполнено, какое действие совершено и что содержится в ошибках (рисунок 7).

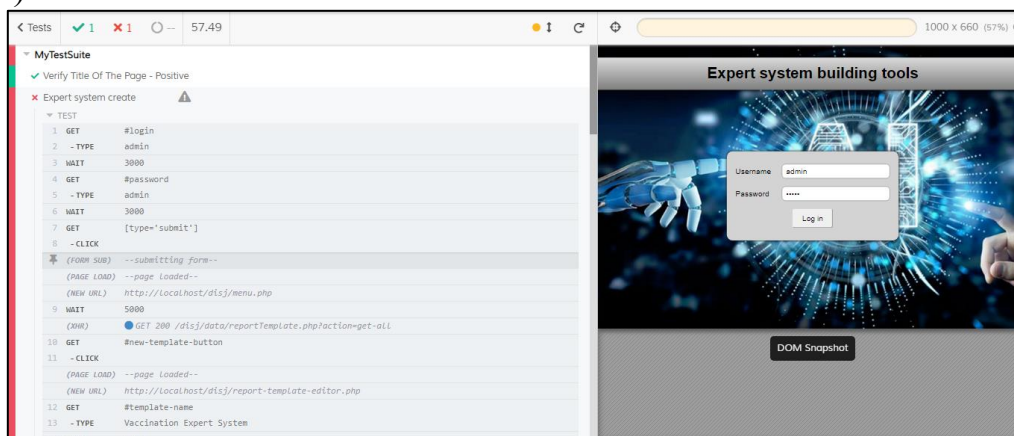


Рисунок 7 – Тестирование ИСРЭС в платформе Cypress.io

Основные результаты работы

Основные научные результаты диссертационной работы:

1. Выполнен обзор CASE-инструментов автоматизации создания программных продуктов.
2. Исследованы существующие проблемы, возникающие при построении экспертных систем.
3. Предложены способы и методы интеграции программных систем с реляционными СУБД при построении ЭС с динамически обновляемыми базами знаний.
4. Исследованы задачи обеспечения совместимости программных систем Prolog, JavaScript, Python, PHP, а также с СУБД PostgreSQL и MySQL для создания ИСПЭС.
5. Создана новая интегрированная среда разработки экспертных систем позволяющая автоматизировать построение ЭС.
6. Построена UML-модель для описания ИСПЭС на основе динамически обновляемых баз знаний.
7. С помощью CASE-средства CA Erwin Data Modeler выполнена автоматическая генерация модели БЗ ИСПЭС, с прямым (Forward Engineering) и обратным (Reverse Engineering) проектированием.
8. Выполнено тестирование взаимодействия разнородных программных систем друг с другом в платформе Cypress.io.
9. На основе ИСПЭС выполнено построение прототипов экспертных систем в области образования и здравоохранения.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 26 печатных изданиях, 4 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 15 – в периодических научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, 6 – в прочих изданиях. Также получено свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ.

СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных журналах, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science:

1. Burnashev R.A. Data Structuring and Data Processing for the Information Intellectual Applications/R.A. Burnashev, N.S. Yalkaev, A.I. Enikeev, V.O. Georgiev //Journal Of Fundamental And Applied Sciences. - 2017. - Vol.9, Spec. Is.. – P. 1403-1416;
2. Kamalov A.M. Development of the expert system prototype «MedExpert» for differential disease diagnostics/A.M. Kamalov, R.A. Burnashev //Astra Salvensis. – 2017. – Vol.2017, Is.. – P. 55-64;
3. Zainullina A. R. Development of the Prototype Expert System "Data Base Recommender"/ A. R. Zainullina, G. V.Larionov, R. A. Burnashev //Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 9. – P.1417-1429;
4. Burnashev R.A On the case tools in the software development life cycle/R.A. Burnashev, A.I. Enikeev //Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. - 2018. - Vol.10, Is.10 Special Issue. - P. 1729-1734;

5. Burnashev R.A. The using CASE tools in the software development life cycle / R.A.Burnashev, A.I. Enikeev // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7. No 3.27 – P. 631-634;
6. Lin D. The Problems of Creating Expert Systems Using Artificial Neural Networks and Their Use in Medicine//D. Lin, R.A. Burnashev, A.I. Enikeev //IIOAB Journal. – 2018. – Vol.9, Is.2. – P.136-142;
7. Enikeev A. I. Transformational Technique of Interactive Systems Development/ Arslan I. Enikeev, Victor O. Georgiev, Rustam A. Burnashev // HELIX. – 2018. – Vol.8, Is.1. – P. 2295-2300;
8. Burnashev R.A. Specialized case tools for the development of expert systems/ R.A. Burnashev, A.V. Gubajdullin, A.I. Enikeev //Advances in Intellegent Systems and Computing. – 2018. – Vol.745. – P. 599-605;
9. Burnashev R. A. Expert system building tools based on dynamically updated knowledge/ R.A. Burnashev, Ismail Amer, A.I. Enikeev //Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1352. – №. 1. – P. 012008;
10. Hussein A. H. System of Diagnosis of Acute Nazhopharingitis Using Artificial Neural Networks/A.H. Hussein, M. H. Salman, R. A. Burnashev //Proceedings of the 3rd World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability, WorldS4. – 2019. – P. 344-348;
11. Gabdrahmanov R.T. Formulation of the Task of Constructing an Expert System for the Diagnosis of Leukemia / R.T. Gabdrahmanov, A.H. Hussein, R.A. Burnashev, A.I. Enikeev // Proceedings of the 3rd World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability, WorldS4. – 2019. – P. 7-11;
12. Burnashev R.A. Illustration of experimental version of the expert system/ R.A. Burnashev,A.I. Enikeev // International Journal of Pharmaceutical Research. – 2020. – Vol.12, Is.1. – P.775-780;
13. Burnashev R.A. Research on the Development of Expert Systems Using Artificial Intelligence/ R.A. Burnashev, R.G Gabdrahmanov, I.F.Amer, G.Z. Vakhitov, A.I. Enikeev // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol.1051. – P. 233-242;
14. Enikeev A.I. Software tools and techniques for the expert systems building/A.I. Enikeev, R.A. Burnashev,G.Z. Vakhitov //Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol.1041. – P. 191-199;
15. Burnashev R. A Construction of specialized Computer Aided Software Engineering (CASE) tools for the development of expert systems//R.A.Burnashev, A.V. Gubaydullin, A.I.Enikeev// 3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme. – 2020. – Vol. 9(1). – P. 61-77.

Публикации в научных журналах из списка рекомендованных ВАК РФ:

16. Бурнашев Р.А. Концептуальные основы и варианты макетной реализации сборочного генератора программного обеспечения сложных систем/ Р.А.Бурнашев, М.А.А. Аль-Саеди, Д.Н. Галанин, В.О. Георгиев// «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс». – 2017. – №. 4(38). – С. 158-165;
17. Бурнашев Р.А. Концепции учебно - макетной реализации сборочного генератора ПО сложных систем/ Р.А. Бурнашев, М.А.А. Аль-Саеди, Д.Н. Галанин, В.О. Георгиев /Научно-технический вестник Поволжья. – 2017. – № 3. – С. 91 – 96;
18. Бурнашев Р.А. Разработка специализированного CASE средства «DBR» по подбору СУБД / Ф.О Амер Исмаил, Р.А. Бурнашев, А.И. Еникеев А. И.//XXI век:

Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2018. – Т.7. – №. 2(42). – С. 22-25;

19. Бурнашев Р.А. Применение экспертных систем в CASE-средствах разработки программных продуктов/Р.А. Бурнашев //XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2018. – Т. 7. – №. 4(44). – С. 85-91.

Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ:

20. Бурнашев Р.А. Программа для автоматизации построения экспертных систем на основе динамически обновляемых баз знаний: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019618648 Российская Федерация, 03.07.2019; правообладатели Р.А. Бурнашев, А.И. Еникеев, И.С. Курасов, ФГАОУ ВО КФУ; заявка № 2019617582 от 24.06.2019. – 1 с.

Публикации в прочих изданиях:

21. Burnashev R.A. Structuring of Textual Data and its Processing with Database Management Systems in the Development of Computer Assisted Testing Systems for Students/R.A.Burnashev, A.I. Enikeev//International Journal of Soft Computing. – 2016. – Vol. 11. Issue 7 – P. 444-447;

22. Бурнашев Р. А. Решение проблемы совместимости между логическим языком программирования Prolog и СУБД PostgreSQL/ Р.А. Бурнашев, А. Губайдуллин// Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. – 2017. – С. 180-181;

23. Бурнашев Р.А. Разработка прототипа экспертной системы «DBEexpert» по подбору СУБД при разработке программного обеспечения/ Р.А. Бурнашев, М.Морозова, А.Мистриков, В.Георгиев//Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2017):Материалы XVI Международной конференции имени А.Ф.Терпугова (29 сентября – 3 октября 2017 г.). – Томск: Изд-во НТЛ. – 2017. – Ч. 2. – С. 158-163;

24. Камалов А.М. Разработка прототипа экспертной системы «Medexpert» дифференциальной диагностики заболеваний/ А.М. Камалов, Р.А. Бурнашев //Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2017):Материалы XVI Международной конференции имени А.Ф.Терпугова (29 сентября – 3 октября 2017 г.). – Томск: Изд-во НТЛ. – 2017. – Ч. 2. – С. 189-192;

25. Burnashev R.A. Data structuring and data processing for the information intellectual applications/ R.Burnashev, N.Yalkaev, V.Georgiev //Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2017):Материалы XVI Международной конференции имени А.Ф.Терпугова (29 сентября – 3 октября 2017 г.). – Томск: Изд-во НТЛ. – 2017. – Ч. 2. – С. 145-150;

26. Бурнашев Р.А. CASE средства автоматизации приобретения знаний для эффективного построения экспертных систем/ Р.А. Бурнашев// Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов. – Т.1. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. – 2018. – С. 222-224.