


На правах рукописи



Чувиков Дмитрий Алексеевич

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЕРТИЗЫ
АВАРИЙНЫХ СОБЫТИЙ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ
ПРОИСШЕСТВИЙ**

Специальность 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации» (технические системы)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

Научный руководитель: **Варламов Олег Олегович,**
доктор технических наук, старший научный сотрудник

Официальные оппоненты: **Балдин Александр Викторович,**
доктор технических наук, профессор, директор НОЦ «Электронный университет» ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана
Малиничев Дмитрий Михайлович,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационных сетей, систем и безопасности» ФГБОУ ВО «РГСУ»

Ведущая организация: Ордена Трудового Красного Знамени Акционерное Общество «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М.А. Карцева» (НИИВК)

Защита состоится «14» сентября 2017 года в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 217.047.01 во ФГУП «Научно-исследовательский и экспериментальный Институт автомобильной электроники и электрооборудования» по адресу: 105187, г. Москва, ул. Кирпичная д. 39.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «Научно-исследовательский и экспериментальный Институт автомобильной электроники и электрооборудования» Министерства промышленности и торговли РФ: www.niiae.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2017 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 217.047.01
доктор технических наук,
старший научный сотрудник



Варламов О.О.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время жизнедеятельность человека неразрывно связана с использованием различных транспортных средств (ТС). В России в 2016 году уровень автомобилизации составил 317 транспортных средств на 1000 человек. По прогнозам специалистов в ближайшей перспективе в России уровень насыщения автотранспортными средствами к 2020 году достигнет 550 единиц на 1000 жителей страны. Увеличение количества автомобилей приводит к появлению дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и пострадавших от ДТП. По данным ГИБДД, за январь-август 2016 года на территории России произошло 108 тысяч ДТП. Например, в Москве бывает от 1000 до 2500 ДТП и мелких аварий в день. Важным аспектом является вопрос установления степени виновности водителя в ДТП. Целью реконструкции и экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных происшествий является установление объективных обстоятельств и причин ДТП с определением механизма развития дорожной ситуации и оценкой (с технической стороны) действий их участников для создания технической основы к правовому решению. Для каждого конкретного случая необходимо учитывать все возможные факторы, которые могли оказать влияние на развитие дорожно-транспортной ситуации (ДТС). Чаще всего виновные в ДТП определяются сотрудником ГИБДД на месте, однако бывают спорные случаи, когда данные с места ДТП (фотоотчет, сбор видимых критериев, например, длина тормозного пути) собираются, а затем передаются в экспертно-криминалистический центр (ЭКЦ) для установления виновных в ДТП. Реконструкцию и экспертизу аварийных событий ДТП производит эксперт.

В настоящее время, расчеты спорных случаев ДТП для установления виновных выполняются экспертами вручную. Процесс реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП происходит следующим образом: существует совершенное событие, информацию о котором эксперт получает на основе фиксации видимых критериев, описаний очевидцев события и данных фотофиксации. Эксперту необходимо произвести реконструкцию всех процессов рассматриваемого события. Для этого используется имитационное моделирование (ИМ). Но, учитывая огромное количество параметров, их сочетаний, вариаций и взаимодействий, эксперт тратит много времени на поиск подходящих параметров для запуска системы имитационного моделирования (СИМ) реконструкции аварийных событий ДТП. Получить требуемый ряд входных параметров для СИМ можно из экспертной системы (ЭС) анализа и экспертизы ДТП. В противном случае для решения этой задачи будет необходим полный перебор всех возможных ситуаций. ЭС позволяет получить наиболее достоверный набор входных параметров для СИМ. СИМ на выходе выдает изображение или видеопоток произошедшего события.

Таким образом, эксперт получает «прогноз в обратную сторону» (реконструкцию событий). Одна из проблем ЭС – это субъективность модели знаний: ЭС использует только знания, которые были в нее заложены экспертом. При этом, с помощью СИМ можно получить объективную оценку и произвести верификацию этих знаний, используемых в ЭС. Объединение методов экспертного и имитационного моделирования позволяет автоматизировать работу эксперта ЭКЦ. Следовательно, тема работы является актуальной.

Целью диссертационной работы является создание методики, объединенных экспертных и имитационных моделей, а также алгоритмов и программно-моделирующих средств реконструкции и экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных происшествий для автоматизации принятия решений сотрудником экспертного центра.

Задачи исследования. Для достижения цели сформулированы и решены следующие задачи:

1. Выполнение комплекса обзорно-аналитических исследований подходов, методов и систем, используемых для экспертного и имитационного моделирования, а также проведение аналитического обзора научных трудов, посвященных реконструкции и экспертизе аварийных событий ДТП.

2. Разработка методики объединения экспертной системы, построенной на базе миварного подхода, и системы имитационного моделирования для решения класса задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП.

3. Исследование и разработка алгоритмов взаимодействия экспертной системы, построенной на базе миварного подхода, и системы имитационного моделирования для решения класса задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП.

4. Разработка моделей реконструкции и экспертизы ДТП, а также специального математического обеспечения в виде экспертной системы анализа и экспертизы ДТП для снижения количества ошибок и ускорения процесса экспертизы аварийных событий ДТП.

5. Проведение апробационных экспериментов на реальных задачах.

Методы исследования. Для решения поставленных задач в диссертации использовались методы системного анализа, дискретной математики, теории экспертного моделирования, имитационного моделирования, графов, систем, а также методы расследования и экспертизы ДТП.

Объектом исследования является процесс реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП.

Предметом исследования являются методы и информационные технологии формализации процессов реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП.

Научная новизна:

- Разработана методика объединения экспертной системы, построенной на базе миварного подхода, и системы имитационного моделирования в целях решения задач реконструкции и экспертизы ДТП.
- Разработаны алгоритмы совместной работы экспертной системы, построенной на базе миварного подхода, и системы имитационного моделирования, в частности последовательный алгоритм взаимодействия с учетом выбора доминирующей системы, последовательно-параллельный алгоритм с учетом выбора доминирующей системы и параллельный алгоритм.
- Разработаны модели реконструкции и экспертизы ДТП в формализме базы знаний (БЗ) двудольных ориентированных миварных сетей, включающие в себя формулы анализа тормозных качеств автомобиля, определения скоростных показателей автомобиля в условиях конкретной ДТС, формулы расчета различных случаев: скольжения автомобиля при торможении, движении автомобиля на криволинейных участках дороги, наезда автомобиля на пешехода при равномерном движении и неограниченной видимости.
- Разработана методика генерации интерфейсов для конструктора экспертных систем, основанного на концепции миварного подхода.
- Разработано специальное математическое обеспечение в виде экспертной системы «Анализ ДТП».

Практическая значимость:

1. Применение предложенной методики объединения ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ, а также алгоритмов совместной работы ЭС и СИМ при реконструкции и экспертизе аварийных событий дорожно-транспортных происшествий позволили снизить трудоемкость процесса экспертизы, снизить количество ошибок при расчете, снизить затраченное время на экспертизу, улучшить уровень достоверности и объективности экспертных исследований, снизить требования к квалификации экспертов за счет разработанного специального математического обеспечения экспертной системы анализа и экспертизы ДТП. Результаты работы используются в ЭКЦ ГУ МВД России по г. Москве и в АНО «Межрегиональный центр судебной экспертизы».

2. Использование экспертной системы «Анализ ДТП» в практической сфере деятельности экспертных учреждений, страховых компаний и т.п., способствует повышению уровня объективности результатов, полученных специалистами при реконструкции и экспертизе аварийных событий ДТП.

3. Использование методов расчетов, реализованных в виде программы для ЭВМ (экспертная система «Анализ ДТП») в учебном процессе ФГБОУ ВО «МАДИ» кафедры «Организация и безопасность движения» по дисциплинам «Экспертный анализ ДТП» и «Современные методы экспертного исследования

ДТП», а также кафедры «Автоматизированные системы управления» по дисциплине «Моделирование систем» позволяет повысить качество подготовки специалистов.

4. Экспертная система «Анализ ДТП» является адаптивной и представляет собой модель «белого ящика», то есть эксперт имеет доступ к изменению базы знаний: добавлению новых правил (формул) и параметров, изменению существующих имен параметров для индивидуализации системы. Это позволяет эксперту добавлять в систему новые «сценарии» ДТП.

5. Разработанная методика генерации интерфейсов для конструктора экспертных систем, основанного на концепции миварного подхода, позволяет упростить и ускорить процесс создания специализированных ЭС. Результаты работы используются в НИИ «Мивар».

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием известного математического аппарата, полнотой и корректностью исходных предпосылок, математической строгостью преобразований при получении аналитических зависимостей, отсутствием противоречий с известными фактами теории и практики экспертного и имитационного моделирования, а также подтверждена результатами практической реализации и экспериментальными данными: имитационными и экспертными.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Методика объединения экспертной системы, построенной на базе миварного подхода, и системы имитационного моделирования для решения класса задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП.

2. Алгоритмы (последовательный с учетом выбора доминирующей системы, последовательно-параллельный с учетом выбора доминирующей системы, параллельный) взаимодействия экспертной системы, построенной на базе миварного подхода, и системы имитационного моделирования для решения класса задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП.

3. Модели реконструкции и экспертизы ДТП в формализме двудольных ориентированных миварных сетей.

4. Методика создания специального математического обеспечения экспертной системы анализа и экспертизы ДТП, построенной на базе миварного подхода.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены на 13 Международных, Всероссийских научно-технических и научно-практических конференциях, в том числе на: «IS&IT» (Дивноморское, 2015, 2016); ИММОД (Москва, 2015); II Всероссийской научно-технической конференции «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования АСУ ВН», ВКА им. А.Ф. Можайского (Санкт-Петербург, 2015); XIV, XVII Международной научно-практической

конференции молодых ученых «Теория и практика применения информационных технологий в промышленности, строительстве и на транспорте», (Москва, 2015, 2017); НСКФ (Переславль-Залесский, 2016); МИКМУС (Москва, 2016); 75-й конференция МАДИ (Москва, 2017); XI Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества» (Москва, 2017).

Результаты работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «МАДИ» кафедры «Организация и безопасность движения» по дисциплинам «Экспертный анализ ДТП» и «Современные методы экспертного исследования ДТП», а также кафедры «Автоматизированные системы управления» по дисциплине «Моделирование систем». В деятельности НИИ «Мивар», ЭКЦ ГУ МВД России по городу Москве и АНО «Межрегиональный центр судебной экспертизы».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 43 научных работ, из них 17 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК и 2 монографии.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, содержащего 168 наименований, 4 приложений. Основная часть диссертации изложена на 173 страницах машинописного текста, включает 63 рисунка и 5 таблиц, общий объем приложений – 145 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность проблемы, сформулированы цели и задачи исследования, основные научные положения и результаты, а также практическая ценность и степень апробации работы.

В первой главе анализируется класс систем экспертного и имитационного моделирования. На основании исследованной литературы проведен ретроспективный анализ ЭС, проанализированы работы отечественных и зарубежных ученых, которые внесли весомый вклад в развитие экспертных систем, такие как: Попов Э.В., Поспелов Д.А., Рыбина Г.В., Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф., Стефанюк В.Л., Осипов Г.С., Курейчик В.М., Частиков А.П., Вагин В.Н., Варламов О.О., Винер Н., Тьюринг А., Ньюэлл А., Саймон Г., Шоу К., Фейгенбаум Э., Ледерберг Дж., Бученен Б., Хейс-Рот Ф., Уотермен Д., Ленат Д., Элти Дж., Кумбс М., Гоонатилак С., Кхеббал С., Маккарти Дж., Колмероз А., Вольфрам С. и др. Также исследована общая минимальная структура ЭС, приведены основные требования к разрабатываемым ЭС и проанализированы основные преимущества и недостатки использования ЭС.

Проведен анализ систем имитационного моделирования на основе работ отечественных и зарубежных ученых, которые внесли весомый вклад в развитие имитационного моделирования, такие как: Рыжиков Ю.И., Лычкина

Н.Н., Кобелев Н.Б., Борщев А.В., Девятков В.В., Юсупов Р.М., Бусленко Н.П., Емельянов А.А., Павловский Ю.Н., Мезенцев К.Н., Николаев А.Б., Маликов Р.Ф., Черненький В.М., Мухин О.И., Шеннон Р., Ричард Н., Дал Оле-Йохан, Мюрхаугом Б., Нюгор К., Прицкер А., Гордон Дж., Форрестер Дж. и др. Исследованы основные разновидности и инструментарии ИМ, приведены основные требования к разрабатываемым имитационным моделям, а также проанализированы основные преимущества и недостатки использования ИМ.

Исследована предметная область анализа и экспертизы ДТП, а именно – проблематика анализа ДТП и процедура исследования ДТП с точки зрения эксперта. Проанализированы основные вопросы, на которые отвечает эксперт при судебной независимой экспертизе после ДТП, а также основные проблемы, с которыми сталкивается сотрудник ЭКЦ при анализе ДТП. Исследованы существующие СИМ для реконструкции ДТП и среды для разработки ЭС. Установлено, что существует необходимость в разработке открытой системы (модель «белого ящика») для анализа и экспертизы ДТП. Исходя из анализа для разработки ЭС по анализу и экспертизе ДТП выбрана среда – КЭСМИ (Wi!Mi). Проведен аналитический обзор научных трудов, посвященных реконструкции и экспертизе ДТП: Степиной П.А., Куракиной Е.В., Лемешкина А.В., Калугин А.В., Шахова К.С., Кондратьева В.Д., Козлова И.В., Лапковского Р.Ю., Захарова А.А., Левашовой Т.В. и др.

Проведенный анализ показал, что поставленная цель и задачи диссертации обоснованы.

Во второй главе представлены следующие новые научные результаты: разработана методика объединения ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ в целях решения задач реконструкции и экспертизы ДТП; разработаны алгоритмы совместной работы ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ, в частности последовательный алгоритм взаимодействия с учетом выбора доминирующей системы, последовательно-параллельный алгоритм с учетом выбора доминирующей системы и параллельный алгоритм.

Исследован миварный подход, а также разработана новая методика объединения ЭС (построенной на базе миварного подхода) и СИМ (рис. 1), которая включает в себя 5 этапов:

1. Постановка задачи или подзадачи экспертизы аварийного события.
2. Определение возможности применения рассматриваемых подходов моделирования для решения поставленной задачи или отдельных подзадач (реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП), а также установление необходимой степени интеграции систем. Специалисту необходимо самостоятельно определить, применима ли методика объединения ЭС и СИМ для решения его задачи, а также он должен самостоятельно определить необходимую степень интеграции для решения поставленной задачи. Также

происходит проверка корректности и подлинности введенных данных для решения задачи – верификация данных.

3. Разработка критериев выбора наиболее подходящей системы или их комбинации, а также определение вариантов и алгоритмов взаимодействия ЭС и СИМ. Варианты взаимодействия влияют на время решения поставленной задачи. Выбор алгоритма взаимодействия ЭС и СИМ осуществляет специалист в зависимости от поставленной задачи.

4. Определение временных критериев для выбранного варианта взаимодействия ЭС и СИМ, то есть оценка временных затрат на решение поставленной задачи. В случае использования варианта взаимодействия передачи данных между ЭС и СИМ через один СПД (Сервис Передачи Данных) или через несколько СПД необходимо согласовать процесс передачи и преобразования данных. Занесение данных в системы.

5. Получение конечного результата.

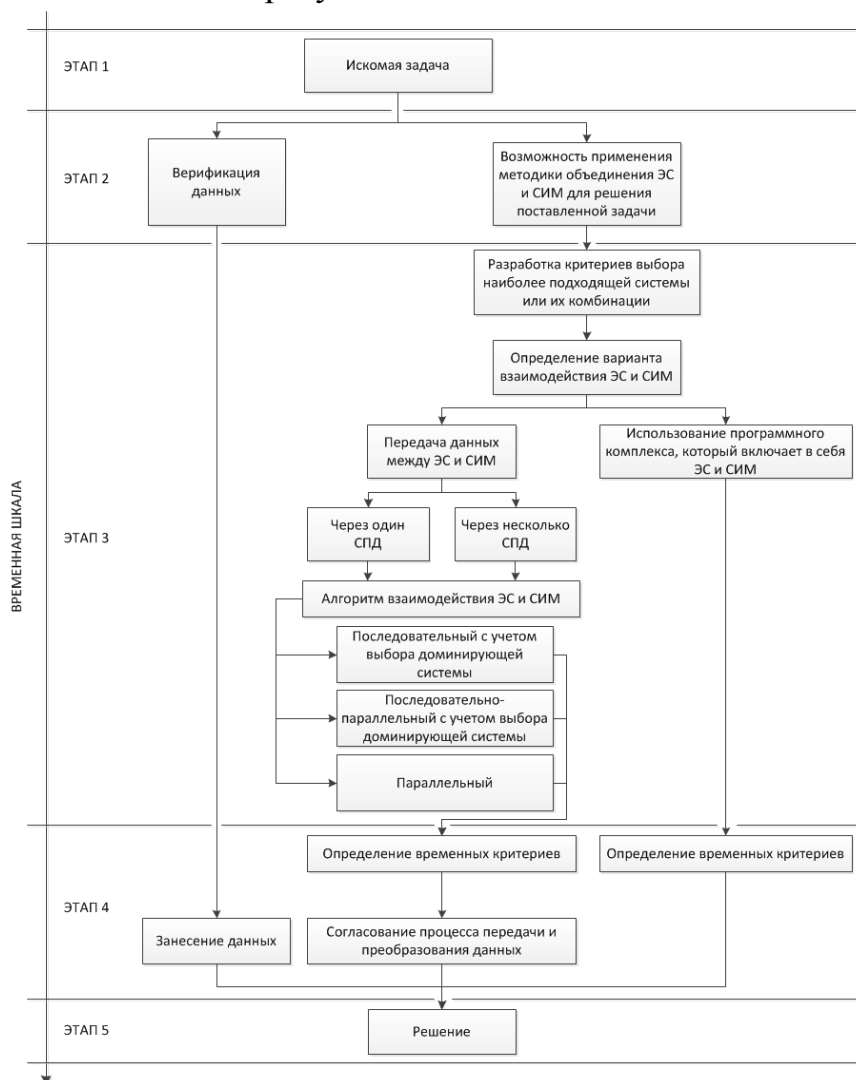


Рис. 1. Методика объединения экспертной системы и системы имитационного моделирования

Пусть R_{∂}^m – выбранный вариант взаимодействия ЭС и СИМ, где m – система комплексного взаимодействия ЭС и СИМ, ∂ – вид взаимодействия.

Σ_r – критерий выбора ЭС, СИМ или их комбинации, где r является выбранным критерием. K^z – класс задач, которые могут решаться совместно ЭС и СИМ, где z – искомая задача. Получим:

$$R_{\partial}^m = \Sigma_r(K^z), \text{ где } \partial = \begin{cases} A \\ BC \\ D \end{cases}, m = \begin{cases} S \\ P \end{cases}.$$

Здесь: A – вид взаимодействия через один СПД; BC – вид взаимодействия через нескольких специалистов; D – вид взаимодействия через пользователя; S – система взаимодействия через один СПД или несколько СПД; P – система взаимодействия через программный комплекс, который включает в себе ЭС и СИМ.

Общие временные затраты на передачу данных между ЭС и СИМ: $\Sigma t_A = t(R_A^S)$ – через один СПД; $\Sigma t_{BC} = t(R_{BC}^S)$ – через несколько СПД; $\Sigma t_D = t(R_D^P)$ – через пользователя, на ввод данных в программный комплекс, который включает в себе ЭС и СИМ.

Минимальное затраченное время на решение задачи с использованием объединения ЭС и СИМ, t_{res} :

$$t_{res} = \min(\Sigma t_A, \Sigma t_{BC}, \Sigma t_D)$$

Формула варианта взаимодействия, реализующего минимальное затраченное время, будет:

$$R_{res} = R_{\partial}^m(t_{res}) = t^{-1}(t_{res})$$

Исследованы модели совместимости ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ. Множество параметров ЭС обозначим $P_{exp} = \{P_{exp1}, P_{exp2}, \dots, P_{expn}\}$. Множество P_{exp} содержит множество входных и выходных параметров ЭС P_{exp}^{in} и P_{exp}^{out} соответственно. Выполняется следующее соотношение $P_{exp}^{in} \subseteq P_{exp}$, $P_{exp}^{out} \subseteq P_{exp}$. Множество $P_{sim} = \{P_{sim1}, P_{sim2}, \dots, P_{simm}\}$ соответствует параметрам СИМ и $P_{sim}^{in} \subseteq P_{sim}$, $P_{sim}^{out} \subseteq P_{sim}$, где P_{sim}^{in} и P_{sim}^{out} являются множествами входных и выходных параметров СИМ. Существует три типа моделей совместимости ЭС и СИМ: при доминирующей ЭС – прямая модель $P_{exp}^{out} \rightarrow P_{sim}^{in}$; при доминирующей СИМ – обратная модель: $P_{sim}^{out} \rightarrow P_{exp}^{in}$; при равнозначном отношении ЭС и СИМ – равнозначная модель: $P_{exp} \leftrightarrow P_{sim}$. Обозначим множество прямых и обратных моделей через $M_{exp \rightarrow sim}$ и $M_{exp \leftarrow sim}$ соответственно. Тогда: $[P_{exp} \leftrightarrow P_{sim}] \in M_{exp \rightarrow sim} \cap M_{exp \leftarrow sim}$. К прямой и обратной модели применимы – последовательный алгоритм и последовательно-параллельный с учетом выбора доминирующих систем. К равнозначной модели применим параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ.

На рис. 2 представлен последовательный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы. Специалисту необходимо определить какая система будет доминирующей в решении поставленной задачи. В алгоритме происходит запуск первостепенной (доминирующей) системы (ЭС или СИМ), далее ее завершение и запуск второстепенной системы, получение конечного результата и выход из второстепенной системы.

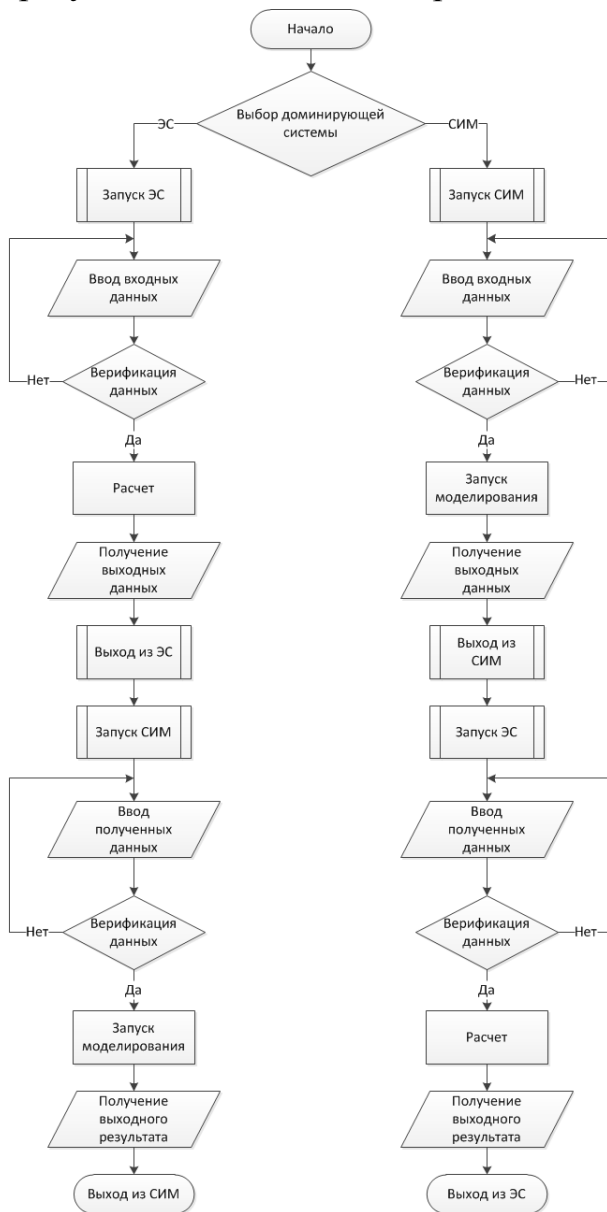


Рис. 2. Последовательный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы

Суммарное время, затраченное на выполнение последовательного алгоритма, составляет:

$$t_{SE} = t_{dom} + \sum_{i=1}^m t_{ver_exp_i} + \sum_{j=1}^n t_{ver_sim_j} + t_{op} + t_{in_exp} + t_{in_sim} + t_{out_exp} + t_{out_sim},$$

Где: t_{dom} – время, затраченное на выбор доминирующей системы; $t_{ver_exp_i}$, $t_{ver_sim_j}$ – время, затраченное на верификацию i -ых и j -ых данных ЭС или СИМ

соответственно; t_{in_exp} , t_{in_sim} , t_{out_exp} , t_{out_sim} – время, затраченное на запуск, выход из ЭС или СИМ соответственно; t_{op} – суммарное время, затраченное на операции расчета ЭС и СИМ; i, j – номер операции ЭС и СИМ соответственно; m, n – количество операций ЭС и СИМ соответственно.

На рис. 3 представлен последовательно-параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы. Специалисту необходимо определить доминирующую систему. В алгоритме во время работы первостепенной (доминирующей) системы (ЭС или СИМ) осуществляется запуск второстепенной, не выходя из первостепенной системы, далее получение конечного результата и выход из обеих систем.

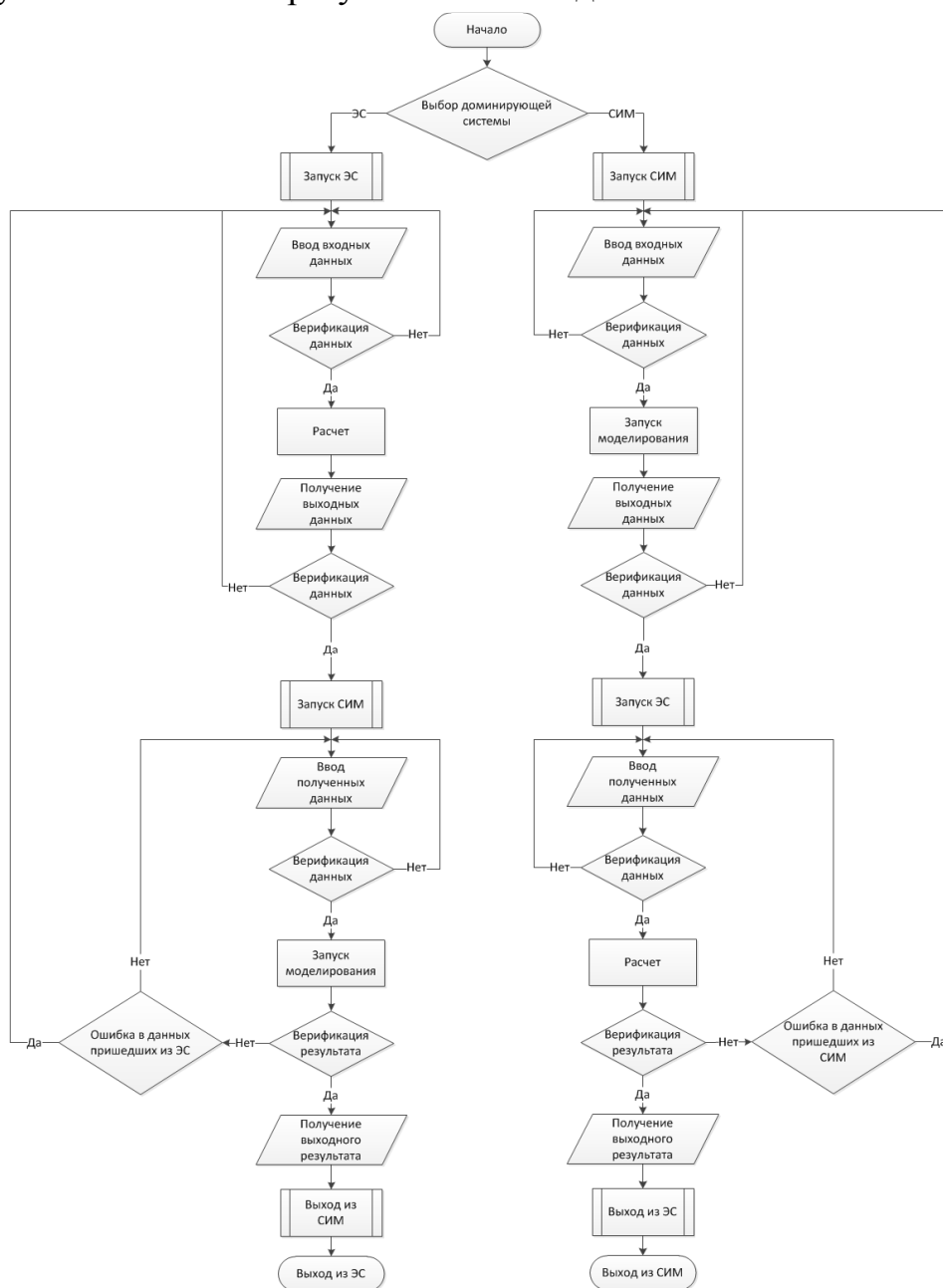


Рис. 3. Последовательно-параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы

Суммарное время, затраченное на выполнение последовательно-параллельного алгоритма при выборе доминирующей ЭС: $t_{SE_PAR} = t_{dom} + t_{in_exp} +$

$$+ \sum_{k=1}^s \left[\sum_{j=1}^{n_{exp_k}} \left(\sum_{i=1}^{m_{exp_{jk}}} (t_{op_exp1_{ijk}} + t_{ver_exp1_{ijk}}) + t_{op_exp2_{jk}} + t_{ver_exp2_{jk}} \right) + t_{in_sim_k} + \sum_{j=1}^{n_{sim_k}} \left(\sum_{i=1}^{m_{sim_{jk}}} (t_{op_sim1_{ijk}} + t_{ver_sim1_{ijk}}) + t_{op_sim2_{jk}} + t_{ver_sim2_{jk}} \right) \right] + t_{op} + t_{out_exp} + t_{out_sim}.$$

А при выборе доминирующей СИМ: $t_{SE_PAR} = t_{dom} + t_{in_sim} +$

$$+ \sum_{k=1}^s \left[\sum_{j=1}^{n_{exp_k}} \left(\sum_{i=1}^{m_{exp_{jk}}} (t_{op_exp1_{ijk}} + t_{ver_exp1_{ijk}}) + t_{op_exp2_{jk}} + t_{ver_exp2_{jk}} \right) + t_{in_exp_k} + \sum_{j=1}^{n_{sim_k}} \left(\sum_{i=1}^{m_{sim_{jk}}} (t_{op_sim1_{ijk}} + t_{ver_sim1_{ijk}}) + t_{op_sim2_{jk}} + t_{ver_sim2_{jk}} \right) \right] + t_{op} + t_{out_exp} + t_{out_sim},$$

Где: $t_{op_exp1_{ijk}}$, $t_{op_sim1_{ijk}}$, $t_{op_exp2_{ijk}}$, $t_{op_sim2_{ijk}}$ – суммарное время, затраченное на i -ый, j -ый, k -ый номер операции расчета введенных (1) и полученных (2) данных ЭС или СИМ соответственно; $t_{ver_exp1_{ijk}}$, $t_{ver_sim1_{ijk}}$, $t_{ver_exp2_{ijk}}$, $t_{ver_sim2_{ijk}}$ – суммарное время, затраченное на верификацию введенных (1) и полученных (2) данных i -ого, j -ого, k -ого номера операции ЭС и СИМ соответственно; k – номер операции проверки ошибок ЭС и СИМ; s – количество операций проверки ошибок ЭС и СИМ.

На рис. 4 представлен параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ. Здесь нет необходимости в определении доминирующей системы. ЭС и СИМ работают вместе и при нехватке данных обращаются друг к другу.

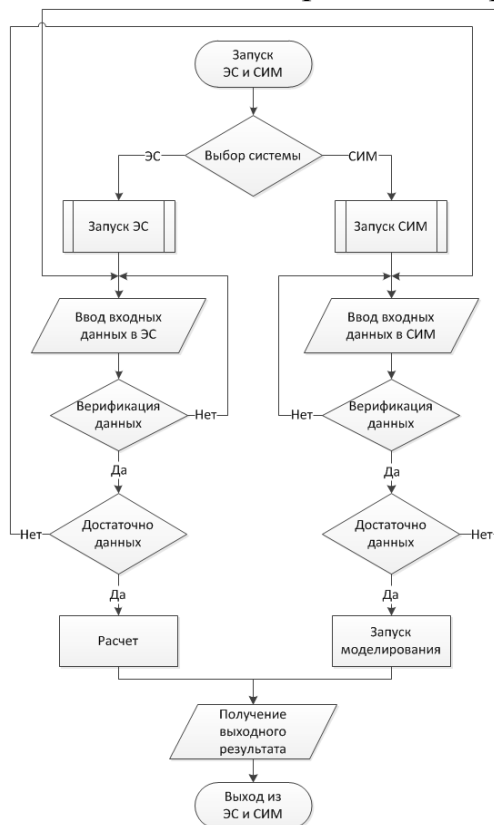


Рис. 4. Параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ

Суммарное время, затраченное на выполнение параллельного алгоритма, составляет:

$$t_{PAR} = t_{sel} + \sum_{i=1}^m \left[\sum_{j=1}^{n_i} (t_{op_{ji}} + t_{ver_{ji}}) + t_{op_i} \right] + t_{op} + t_{in_out},$$

где: t_{sel} – суммарное время, затраченное на выбор системы (ЭС или СИМ); $t_{op_{ji}}$ – суммарное время, затраченное на i -ые, j -ые операции расчета ЭС и СИМ; $t_{ver_{ji}}$ – суммарное время, затраченное на верификацию i -ых, j -ых данных ЭС и СИМ; t_{op_i} – суммарное время, затраченное на другие i -ые операции расчета ЭС и СИМ; t_{in_out} – суммарное время, затраченное на запуск и выход из ЭС и СИМ; m – количество обращений к ЭС или СИМ соответственно; n – количество операций ЭС и СИМ соответственно.

Для каждой задачи специалист определяет алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ, но существует класс задач, для которых один из алгоритмов является наиболее предпочтительным. Если при решении такого класса задач время использования одной системы (ЭС или СИМ) значительно больше времени эксплуатации второй системы (ЭС или СИМ), то рекомендуется использовать последовательный алгоритм взаимодействия с учетом выбора доминирующей системы или последовательно-параллельный алгоритм взаимодействия с учетом выбора доминирующей системы. А именно при последовательном решении рекомендуется использовать последовательный алгоритм взаимодействия с учетом выбора доминирующей системы, а при параллельном решении задачи, рекомендуется – последовательно-параллельный алгоритм взаимодействия с учетом выбора доминирующей системы. Соответственно в классе задач, когда ЭС и СИМ являются равнозначными, и нет необходимости в определении доминирующей системы, рекомендуется использовать параллельный алгоритм взаимодействия.

В главе исследованы основные виды передачи информации между ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ: параметрический, событийный, статистический и вид передачи информации, как повествование.

Разработан алгоритм проверки совместимости ЭС и СИМ (рис. 5). Если ЭС соответствует заданной предметной области и сочетается с СИМ, то ЭС и СИМ совместимы для решения поставленной задачи.

Выделены критерии этапа совместимости ЭС и СИМ: соответствие заданной предметной области, соответствие заданной задачи и возможность передачи данных между ЭС и СИМ.

В диссертации исследуется использование методики объединения ЭС (построенной на базе миварного подхода) и СИМ на примере проблематики реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП, однако, ее можно применять в робототехнике, в следственной деятельности, в анализе поведения

толпы, в оптимизации городского пассажирского транспорта, что доказано публикациями и апробировано.

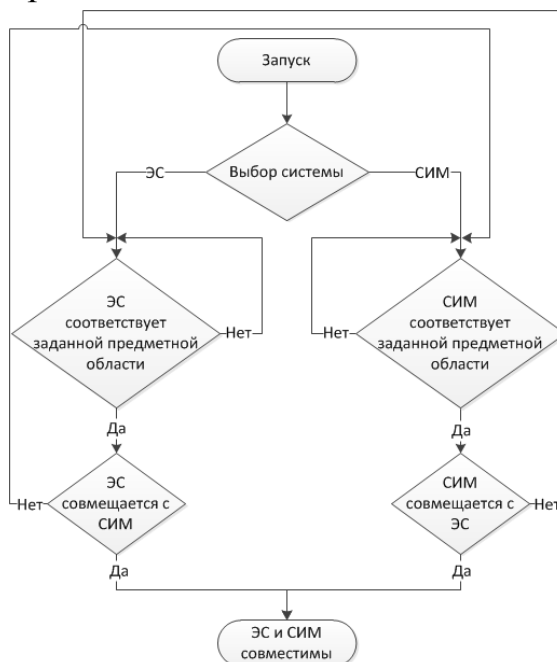


Рис. 5. Алгоритм проверки совместимости ЭС и СИМ

Установлено, что для автоматизации принятия решений сотрудником экспертного центра необходимо решить следующую задачу: разработать специальное математическое обеспечение в виде экспертной системы анализа и экспертизы ДТП для снижения количества ошибок и ускорения процесса экспертизы аварийных событий ДТП.

В третьей главе диссертации решена задача разработки моделей реконструкции и экспертизы ДТП, а также специального математического обеспечения в виде экспертной системы анализа и экспертизы ДТП под названием «Анализ ДТП».

При помощи системы КЭСМИ (Wi!Mi), в основе которой лежат концепции миварного подхода, разработана база знаний ЭС по анализу и экспертизе ДТП. Создана глобальная модель реконструкции и экспертизы ДТП в формализме БЗ двудольных ориентированных миварных сетей Q являющаяся множеством локальных моделей $Q = A \cup B \cup C \cup D \cup E$: тормозные качества автомобиля (множество моделей A), скорость автомобиля (множество моделей B), случаи скольжения автомобиля при торможении (множество моделей C), движение автомобиля на криволинейных участках дороги (множество моделей D), наезд на пешехода при равномерном движении и неограниченной видимости (множество моделей E). Структура ЭС «Анализ ДТП» состоит из 16 классов, 144 параметров, 93 отношений, 352 правил, в которые входит 109 ограничений. Структура классов ЭС «Анализ ДТП» представлена на рис. 6(А), а вид этой структуры в системе КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi) представлен на рис. 6(Б).

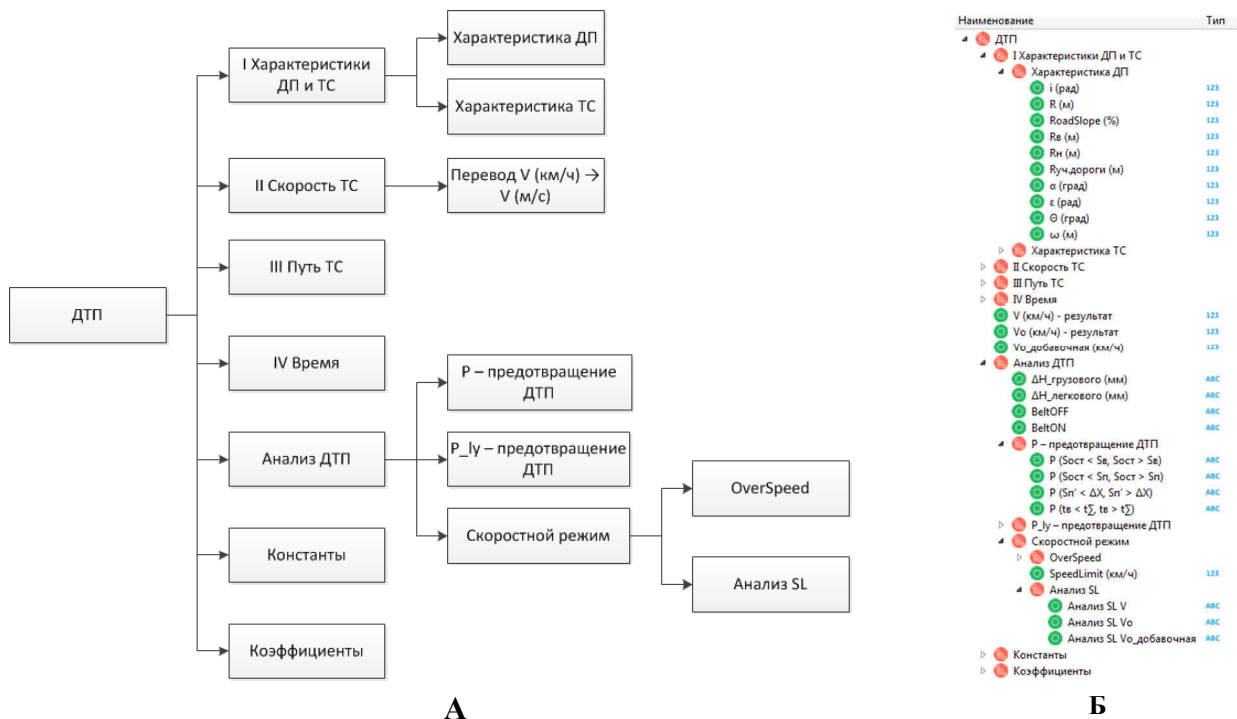


Рис. 6. А) Структура классов ЭС «Анализ ДТП»;
Б) Вид структуры классов ЭС «Анализ ДТП» в системе КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi)

Параметрами модели является множество $P_{\text{exp}} = \{P_1, P_2, \dots, P_{144}\}$: P_1 – величина замедления j_{max} ; P_2 – ускорение свободного падения g ; P_3 – коэффициент сцепления шины с поверхностью дороги f ; P_4 – поправочный коэффициент эффективности торможения K_9 ; P_5 – скорость автомобиля перед началом торможения V_0 ; ... P_{144} – длина тормозного пути S_4 .

Правилами модели является множество $R_{\text{exp}} = \{R_1, R_2, \dots, R_{352}\}$:

$$R_1(P_1, P_2) : P_3 = \frac{P_1}{P_2} \Leftrightarrow f = \frac{j_{\text{max}}}{g}; \quad R_4(P_2, P_3, P_4) : P_1 = \frac{P_3 \cdot P_2}{P_4} \Leftrightarrow j_{\text{max}} = \frac{f \cdot g}{K_9};$$

$$R_7(P_2, P_3, P_{144}) \in P_5 = \sqrt{2 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_{144}} \Leftrightarrow V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot f \cdot S_4}; \dots$$

$$R_{352}(P_1, P_5) : P_{144} = \frac{P_5^2}{2 \cdot P_1} \Leftrightarrow S_4 = \frac{V_0^2}{2 \cdot j_{\text{max}}}.$$

Множество ограничений модели $C_{\text{exp}} = \{C_1, C_2, \dots, C_{109}\}$, где $C_{\text{exp}} \subseteq R_{\text{exp}}$:

$$C_1(P_3) : 0,08 \leq P_3 \leq 0,8 \Leftrightarrow 0,08 \leq f \leq 0,8; \quad C_2(P_4) : 1 \leq P_4 \leq 1,6 \Leftrightarrow 1 \leq K_9 \leq 1,6;$$

$$C_3(P_1) : P_1 \geq 0 \Leftrightarrow j_{\text{max}} \geq 0; \dots C_{109}(P_{144}) : P_{144} \geq 0 \Leftrightarrow S_4 \geq 0.$$

По набору параметров и правил $\{P_{\text{exp}}, R_{\text{exp}}\}$ строится миварная сеть. Сеть состоит из следующих элементов двудольного ориентированного графа: вершин первого типа (параметры P_{exp}), вершин второго типа (правила R_{exp}) и ребер графа, которые их связывают между собой (рис. 7).

ЭС «Анализ ДТП» является адаптивной и представляет собой модель «белого ящика», то есть эксперт имеет доступ к изменению БЗ, добавлению новых правил (формул) и параметров, а также к изменению существующих имен параметров для индивидуализации системы, что делает ее весьма гибкой.

Таким образом, эксперт может добавлять в систему новые «сценарии» рассматриваемых ДТП.

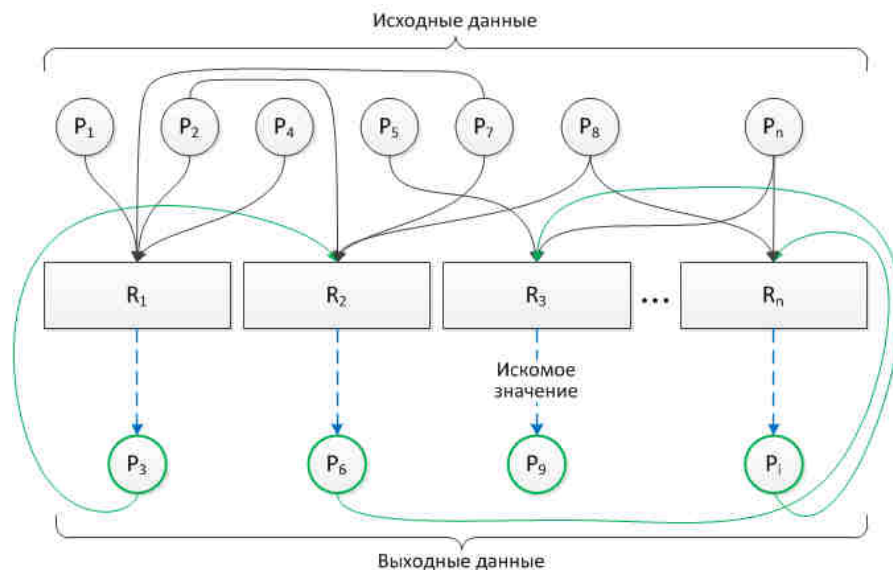


Рис. 7. Алгоритм работы ЭС «Анализ ДТП»

Представлена методика генерации интерфейсов для ЭС, созданных на КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi) в виде программного модуля. Необходимость разработки подобного модуля обусловлена тем, что КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi) не имеет функционала генерации отдельных интерфейсов для специализированных ЭС. ЭС «Анализ ДТП» (рис. 8), позволяет снизить трудоемкость процесса расчета спорных ДТС, снизить возникновение ошибок при расчете, повысить достоверность и объективность полученных результатов, снизить требования к квалификации экспертов, повысить скорость и качество расчетов при экспертизе аварийных событий ДТП.

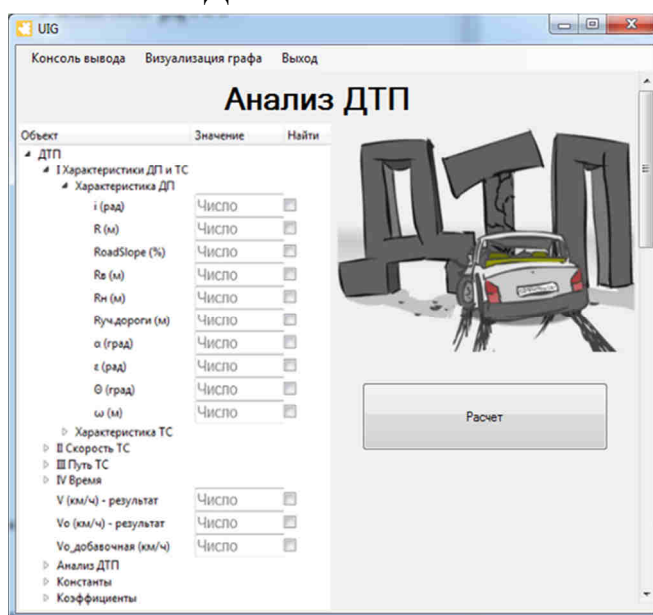


Рис. 8. Приложение ЭС «Анализ ДТП»

Обоснованы преимущества использования ЭС «Анализ ДТП». Вероятность совершить ошибку i -го типа специалистом ЭКЦ, который

производит экспертизу аварийных событий ДТП вручную, равна p_i , а вероятность совершить ту же самую ошибку с использованием ЭС равна q_i , причем: $p_1 \geq q_1, p_2 \geq q_2, \dots, p_n \geq q_n$. Стоит отметить, что бывают ошибки процессуальные, логические, фактические и так далее. Таким образом, автоматизируя часть ручного труда (такого как, расчет значения по формулам, перевод единиц измерения и так далее), можно утверждать, что вероятность совершить ошибку того или иного типа, используя ЭС меньше, чем вероятность ошибиться при расчетах вручную. То есть $p_i \geq q_i$.

В работе выводится вероятность возможности совершения хотя бы одной ошибки, где H – случайная величина, характеризующая ошибки, которые совершает специалист ЭКЦ при экспертизе аварийных событий ДТП вручную, E – случайная величина, характеризующая ошибки, которые совершает специалист ЭКЦ при экспертизе аварийных событий ДТП, используя ЭС. Получим:

$$P(H > 0) = 1 - P(H = 0) = 1 - P(H_1 = 0) \cdot P(H_2 = 0) \cdot P(H_3 = 0) \cdot \dots \cdot P(H_n = 0) = \\ = 1 - (1 - p_1) \cdot (1 - p_2) \cdot (1 - p_3) \cdot \dots \cdot (1 - p_n),$$

$$P(E > 0) = 1 - P(E = 0) = 1 - P(E_1 = 0) \cdot P(E_2 = 0) \cdot P(E_3 = 0) \cdot \dots \cdot P(E_n = 0) = \\ = 1 - (1 - q_1) \cdot (1 - q_2) \cdot (1 - q_3) \cdot \dots \cdot (1 - q_n).$$

Так как $\begin{cases} p_1 \geq q_1, \\ p_2 \geq q_2, \\ \dots \\ p_n \geq q_n. \end{cases}$, таким образом, приходим к следующему неравенству:

$P(H > 0) \geq P(E > 0)$. Это означает, что специалист ЭКЦ при ручном расчете совершит хотя бы одну ошибку с большей вероятностью, чем специалист, использующий ЭС.

Проведен эксперимент при участии 194 специалистов (рис. 9), представленный в виде диаграммы совершенных ошибок специалистами при ручном расчете (H) и расчете при использовании ЭС «Анализ ДТП» (E).



Рис. 9. Диаграмма совершенных ошибок специалистами при ручном расчете и расчете при использовании ЭС «Анализ ДТП»

Эксперты при ручном расчете совершают больше ошибок, чем эксперты, использующие ЭС «Анализ ДТП». Эффективность снижения количества ошибок в расчетах при использовании ЭС «Анализ ДТП» составляет EF_A :

$$EF_A = \frac{H - E}{194} = \frac{37 - 16}{194} \cdot 100 = 12,89\% \approx 13\%$$

Проведен эксперимент при участии 46 специалистов, доказывающий, что автоматизация деятельности эксперта при реконструкции и экспертизе аварийных событий ДТП снижает временные затраты на расчет (рис. 10).

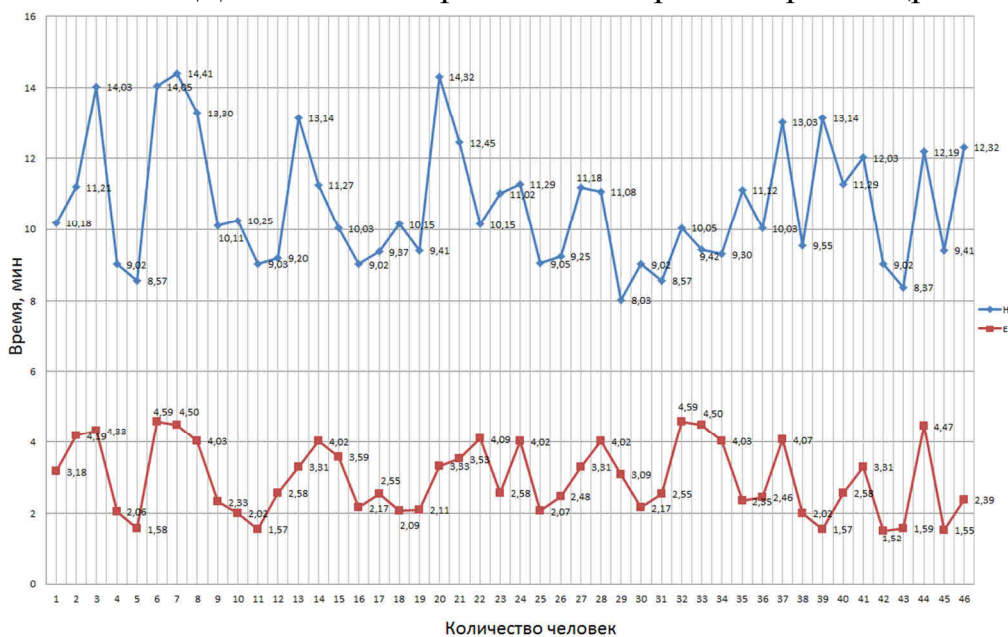


Рис. 10. Диаграмма временных средних затрат при решении задач специалистами при ручном расчете и расчете при использовании ЭС «Анализ ДТП»

Эксперты при ручном расчете тратят больше времени, на поиск формул, выбор алгоритма решения и на сам процесс расчета, чем эксперты, использующие ЭС «Анализ ДТП». Эффективность снижения временных затрат при использовании ЭС «Анализ ДТП» составляет EF_t :

$$EF_t = 100 - \frac{E}{H} \cdot 100 = 100 - \frac{137,04}{491,43} \cdot 100 = 72,11\% \approx 72\%$$

Также в главе рассматривается 15 различных примеров решения задач при помощи ЭС «Анализ ДТП» по таким темам, как: тормозные качества автомобиля, скорость автомобиля, случаи скольжения автомобиля при торможении, движение автомобиля на криволинейных участках дороги, наезд на пешехода при равномерном движении и неограниченной видимости.

Для доказательства эффективности методики объединения ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ в решении класса задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП, в четвертой главе были проведены апробационные эксперименты на реальных задачах.

Четвертая глава диссертации посвящена проведению апробационных экспериментов на реальных задачах, подтверждающих практическую ценность

и достоверность выполненных расчетов в данной работе. Исследовано взаимодействие экспертной системы «Анализ ДТП» и сторонней системы имитационного моделирования Virtual CRASH 3.0 на примере решения реальных задач. Таким образом, демонстрируется применение методики объединения ЭС и СИМ на реальных задачах, что доказывает практическую ценность данной работы. Рассматривается пять происшествий, три из которых – ДТП между двумя ТС, два – ДТП с участием пешехода. Применение данной методики позволяет ускорить процесс экспертизы и анализа ДТП, а также повысить надежность полученных результатов.

В заключении приведены основные результаты и выводы диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе решена актуальная новая научная задача создание методики, объединенных экспертных и имитационных моделей, а также алгоритмов и программно-моделирующих средств для реконструкции и экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных происшествий для автоматизации принятия решений сотрудником экспертного центра.

Получены следующие основные результаты и выводы:

1. Выполнен комплекс обзорно-аналитических исследований подходов, методов и систем, используемых для экспертного и имитационного моделирования, а также проведен аналитический обзор научных трудов, посвященных реконструкции и экспертизе аварийных событий ДТП. Обоснована возможность объединения ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ при реконструкции и экспертизе аварийных событий ДТП.

2. Разработана новая методика объединения ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ, позволяющая сократить затраченное время на решение задачи реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП.

3. Разработаны новые алгоритмы совместной работы ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ, в частности последовательный алгоритм взаимодействия с учетом выбора доминирующей системы, последовательно-параллельный алгоритм с учетом выбора доминирующей системы и параллельный алгоритм взаимодействия, позволяющие упростить решение задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП. Предложен алгоритм проверки совместимости ЭС и СИМ, позволяющий определить соответствие систем.

4. Разработаны новые модели в формализме БЗ двудольных ориентированных миварных сетей, включающие в себя формулы анализа тормозных качеств автомобиля, определения скоростных показателей автомобиля в условиях конкретной ДТС, формулы расчета различных случаев:

скольжения автомобиля при торможении, движении автомобиля на криволинейных участках дороги, наезда автомобиля на пешехода при равномерном движении и неограниченной видимости для принятия решений при анализе и экспертизе ДТП.

5. Разработана новая методика генерации интерфейсов в виде программного модуля для конструктора экспертных систем, основанных на концепции миварного подхода, позволяющая создать универсальную программную оболочку для ЭС.

6. Создано новое специальное математическое обеспечение – экспертная система анализа и экспертизы ДТП под названием «Анализ ДТП», построенная на базе миварного подхода, для автоматизации принятия решений сотрудником экспертного центра при реконструкции и экспертизе аварийных событий ДТП, позволяющая снизить трудоемкость процесса расчета спорных ДТС, снизить возникновение ошибок при расчете, повысить достоверность и объективность полученных результатов, снизить требования к квалификации экспертов, повысить скорость и качество расчетов.

7. Показано взаимодействие ЭС «Анализ ДТП», построенной на базе миварного подхода, и СИМ «Virtual CRASH 3.0» на примере решения апробационных экспериментов, связанных с проблематикой реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП. Таким образом, демонстрируется применение методики объединения ЭС и СИМ на реальных задачах, что доказывает практическую ценность данных исследований.

Совокупность полученных в диссертационной работе теоретических и практических результатов позволяет сделать следующий вывод: поставленные задачи решены, цель исследований достигнута.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях из перечня ВАК РФ:

1. Чувилов Д.А. Методика объединения экспертной системы и системы имитационного моделирования // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2017. – № 3. – С. 11-18.

2. Чувилов Д.А. Применение экспертного моделирования в получении новых знаний человеком // Радиопромышленность. – 2017. – № 2. – С. 72-80.

3. Чувилов Д.А. Имитационное моделирование как средство представления дополнительной информации для принятия решений человеком // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2017. – № 4. – С. 44-53.

4. Чувилов Д.А. Универсальные алгоритмы взаимодействия экспертной системы и системы имитационного моделирования // Т-Comm. – 2017. – №4(11). – С.34-40.

5. Чувилов Д.А. Использование экспертной системы «Анализ ДТП» и системы имитационного моделирования Virtual CRASH 3.0 для решения задач,

поставленных перед экспертно-криминалистическим центром // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2017 – № 5. – С. 23-34.

6. Сторожев В.И., Болнокин В.Е., Чувилов Д.А., Нгуен Динь Чунг. Методика получения нечетко-множественных оценок для оптимизированного размера операционного заказа в мультимодальной транспортной сети // Фундаментальные исследования. – 2017. – №5. – С. 78-82.

7. Чувилов Д.А., Петерсон А.О. Сравнительный анализ инструментальных сред для разработки экспертных систем в различных предметных областях // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2016. – № 8. – С. 20-27.

8. Чувилов Д.А. Применение миварного логического ядра в решении задач, связанных с ситуационным трехмерным моделированием // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2016. – Т. 8. – №6. – С.53-58.

9. Чувилов Д.А., Теплов Е.В., Сараев Д.В., Варламов О.О., Джха П. Методика автоматизации системы диспетчерского контроля на основе экспертной системы городского пассажирского транспорта // Радиопромышленность. – 2016. – № 4. – С. 80-90.

10. Чувилов Д.А. Исследование когнитивных возможностей IBM Watson при помощи инструмента Node-RED и библиотеки AlchemyAPI // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2016. – № 11. – С. 40-49.

11. Варламов О.О., Лазарев В.М., Чувилов Д.А., Джха П. О перспективах создания автономных интеллектуальных роботов на основе миварных технологий // Радиопромышленность. – 2016. – № 4. – С. 91-100.

12. Chuvikov D.A., Nazarov K.V. Designing algorithms for solving physics problems on the basis of mivar approach // International Journal of Advanced Studies. – 2016. – Т. 6. – № 3. – С. 31-50.

13. Чувилов Д.А., Юрчик П.Ф., Москалев А.Г., Голубкова В.Б. Оценка применимости трехмерных игровых ядер для создания систем дистанционного обучения // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2015. – № 10. – С. 14-23.

14. Чувилов Д.А. Применение процедурной анимации в решении интеллектуальных задач и проблем, связанных с ситуационным трехмерным моделированием // Радиопромышленность. – 2015. – № 3. – С. 184-190.

15. Чувилов Д.А. Применение физического движка в решении задач, связанных с ситуационным трехмерным моделированием в реальном времени // Радиопромышленность. – 2015. – № 3. – С. 191-199.

16. Чувилов Д.А. Применение графического движка в решении интеллектуальных задач, связанных с ситуационным трехмерным моделированием // Радиопромышленность. – 2015. – № 3. – С. 200-209.

17. Жданович Е.А., Чернышев П.К., Юфимычев К.А., Елисеев Д.В., Чувилов Д.А. Вычисление произвольных алгоритмов функционирования сервисных роботов на основе миварного подхода // Радиопромышленность. – 2015. – № 3. – С. 226-242.

В монографии:

18. Чувилов Д.А. Разработка игрового виртуального симулятора // – М.: БИБЛИО-ГЛОБУС, 2017. – 164 с.

19. Чуви́ков Д.А. Разработка электронного образовательного ресурса (ЭОР) «МИВАР». «МИВАР» - логический искусственный интеллект. – Саарбрюкен: LAP LAMBERT, 2015. – 65 с.

В других изданиях:

20. Чуви́ков Д.А. Применение экспертного и имитационного моделирования для решения интеллектуальных задач // Вестник научных конференций. – 2017. – № 3-4(19). – С. 116-117.

21. Чуви́ков Д.А. Использование системы «Анализ ДТП» при экспертизе и анализе аварийных событий дорожно-транспортных происшествий // Научный альманах. – 2017. – № 3-3 (29). – С. 240-243.

22. Чуви́ков Д.А. Использование среды Wi!Mi 2.1 для создания интеллектуальных систем // Научный альманах. – 2017. – №1-3(27). – С.137-140.

23. Чуви́ков Д.А. Особенности объединение экспертной системы и технологии имитационного моделирования // Автоматизация и управление в технических системах. – 2017. – № 1. URL: auts.esrae.ru/22-397

24. Чуви́ков Д.А., Назаров К.В. Автоматическое конструирование алгоритмов решения задач по физике в миварном конструкторе экспертных систем Wi!Mi // Автоматизация и управление в технических системах. – 2017. – № 2. URL: auts.esrae.ru/23-398

25. Чуви́ков Д.А., Джха П. Автоматизация системы диспетчерского контроля на основе экспертной системы городского пассажирского транспорта // Автоматизация и управление в технических системах. – 2017. – № 2. URL: auts.esrae.ru/23-399

26. Чуви́ков Д.А. Универсальный подход объединения экспертной системы и системы имитационного моделирования // XI Международная отраслевая научно-техническая конференция «Технологии информационного общества». – 2017. – С. 463-464.

27. Чуви́ков Д.А., Сараев Д.В. Моделирование поведения автономного робота-гида в среде V-REP с использованием миварного конструктора алгоритмов // МИКМУС-2016. Сборник трудов конференции. – 2017. – С. 302-305.

28. Варламов О.О., Чуви́ков Д.А. Создание автономных интеллектуальных медицинских роботов на основе миварных технологий // МИКМУС-2016. Сборник трудов конференции. – 2017. – С. 223-226.

29. Варламов О.О., Чуви́ков Д.А. Миварные технологии как средство создания систем автоматизации разумной деятельности человека // Автоматизация и управление в технических системах. – 2016. – № 1. URL: auts.esrae.ru/18-369

30. Чуви́ков Д.А. Применение миварного логического ядра в решении задач, связанных с имитационным моделированием // Автоматизация и управление в технических системах. – 2016. – № 1. URL: auts.esrae.ru/18-362

31. Чуви́ков Д.А. Роль использования синтеза систем имитационного и экспертного моделирования // Труды Конгресса «IS&IT'16». – Т. 2. – 2015. – С. 125-128.

32. Чуви́ков Д.А., Назаров К.В. Автоматическое конструирование алгоритмов решения задач по физике в программной среде КЭСМИ // Труды Конгресса «IS&IT'16». – Т. 2. – 2016. – С. 38-41.
33. Чуви́ков Д.А., Петерсон А.О. Применение миварных технологий в интеллектуальном имитационном моделировании // Автоматизация и управление в технических системах. – 2015. – № 4.1. URL: auts.esrae.ru/16-346
34. Чуви́ков Д.А., Феоктистов В.П. Применение 3D технологий в Web при решении интеллектуальных задач // Автоматизация и управление в технических системах. – 2015. – № 1 (13). – С. 130-138.
35. Чуви́ков Д.А., Феоктистов В.П., Остроух А.В. Исследование 3D форматов хранения данных в интеллектуальных системах виртуальной реальности // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 3-3. – С. 416-420.
36. Чуви́ков Д.А. Применение технологии WebGL при решении интеллектуальных задач // Современное общество, образование и наука. Сборник научных трудов конференции: в 16 частях. – 2015. – С. 151-153.
37. Чуви́ков Д.А. Роль процедурной анимации в решении интеллектуальных задач, связанных с ситуационным трехмерным моделированием // Труды Конгресса «IS&IT'15». – Т. 2. – 2015. – С. 170-173.
38. Чуви́ков Д.А., Варламов О.О. Использование миварного подхода в решении задач, связанных с имитационным моделированием // ИММОД-2015. – М.: ИПУ РАН, – 2015. – Т. 1. – С. 280-284.
39. Елисеев Д.В., Сергушин Г.С., Хадиев А.М., Чуви́ков Д.А. Развитие алгоритма миварной машины логического вывода // Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения. Тезисы докладов. – 2015. – С. 97.
40. Чуви́ков Д.А. Применение миварного логического ядра в решении задач, связанных с имитационным трехмерным моделированием // Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения. Тезисы докладов. – 2015. – С. 213.
41. Чуви́ков Д.А., Казакова Н.А., Варламов О.О., Хадиев А.М. Анализ технологий трехмерного моделирования и создания 3D объектов для различных интеллектуальных систем // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 2 (10). – С. 84-97.
42. Чуви́ков Д.А., Феоктистов В.П. Сравнительный анализ 3D форматов хранения данных в интеллектуальных системах и системах виртуальной реальности // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 4(12). – С. 3-14.
43. Chuvikov D.A., Kazakova N.A., Varlamov O.O., Golovizin A.V. 3D modeling and 3D objects creation technology analysis for various intelligent systems // International Journal of Advanced Studies. – 2014. – Т. 4. – № 4. – С. 16-22.