

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ)»

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)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук,
с.н.с. Варламов О.О.

Москва – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	7
ВВЕДЕНИЕ.....	8
ГЛАВА 1. ОБЗОРНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	16
1.1. Постановка задачи первой главы	16
1.1.1. Экспертное моделирование	16
1.1.2. Имитационное моделирование.....	26
1.2. Исследование предметной области анализа и экспертизы ДТП.....	38
1.2.1. Автотехническая экспертиза	39
1.2.2. Процедура исследования ДТП	41
1.2.3. Основные вопросы, на которые отвечает эксперт при судебной независимой экспертизе после ДТП	42
1.2.4. Основные проблемы, с которыми сталкивается сотрудник ЭКЦ при анализе ДТП.....	42
1.2.5. Исследование существующих СИМ для реконструкции ДТП.....	43
1.2.6. Исследование сред для разработки ЭС по различным предметным областям	47
1.2.7. Анализ научных трудов, посвященных реконструкции и экспертизе ДТП.....	48
1.3. Выводы первой главы.....	51
ГЛАВА 2. СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭС И СИМ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ЭКСПЕРТИЗЫ АВАРИЙНЫХ СОБЫТИЙ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ.....	53
2.1. Постановка задач второй главы.....	53
2.2. Концепция миварного подхода	53

2.3. Методика объединения ЭС и СИМ.....	57
2.4. Подходы объединения ЭС и СИМ	61
2.5. Варианты взаимодействия ЭС и СИМ.....	62
2.5.1. Передача данных между ЭС и СИМ через один СПД.....	62
2.5.2. Передача данных между ЭС и СИМ через несколько СПД...	64
2.5.3. Передача данных между пользователем и программным комплексом СЭИМ	65
2.6. Алгоритмы взаимодействия ЭС и СИМ	67
2.6.1. Последовательный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы.....	68
2.6.2. Последовательно-параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы	70
2.6.3. Параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ.....	73
2.7. Способы передачи информации между ЭС и СИМ	74
2.8. Модели совместимости ЭС и СИМ.....	75
2.9. Алгоритм проверки совместимости ЭС и СИМ	77
2.10. Универсальность методики объединения ЭС и СИМ.....	78
2.11. Выводы второй главы	79
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ, АЛГОРИТМОВ И СПЕЦИАЛЬНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО АНАЛИЗУ И ЭКСПЕРТИЗЕ ДТП.....	81
3.1. Постановка задачи третьей главы	81
3.2. Разработка специального математического обеспечения: ЭС «Анализ ДТП»	82
3.2.1. Формализация знаний для прототипа ЭС «Анализ ДТП».....	82

3.2.2. Разработка глобальной модели БЗ экспертной системы «Анализ ДТП»	84
3.2.3. Структура алгоритма работы ЭС «Анализ ДТП».....	88
3.2.4. Методика генерации интерфейсов для ЭС, созданных на КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi).....	92
3.2.5. Описание ЭС «Анализ ДТП».....	93
3.2.6. Проверка корректности работы ЭС «Анализ ДТП».....	95
3.3. Обоснование оптимальности использования ЭС «Анализ ДТП».....	99
3.4. Эффективность снижения количества ошибок в расчетах при использовании ЭС «Анализ ДТП»	102
3.5. Эффективность снижения временных затрат при использовании ЭС «Анализ ДТП»	104
3.6. Выводы третьей главы.....	106
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭС И СИМ НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАССЛЕДОВАНИЯ И ЭКСПЕРТИЗЫ ДТП	108
4.1. Постановка задачи четвертой главы	108
4.2. Происшествие №1: ДТП Toyota Carib и Lexus RX.....	109
4.3. Происшествие №2: ДТП Volkswagen Polo и LADA (BA3) 2114.....	116
4.4. Происшествие №3: ДТП Hyundai Accent и Suzuki SX4.....	125
4.5. Происшествие №4: ДТП Citroen C6, наезд на пешехода.....	134
4.6. Происшествие №5: ДТП Toyota Yaris, наезд на пешехода.....	143
4.7. Выводы четвертой главы.....	153
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	154
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	156
ПРИЛОЖЕНИЕ №1	174

ПРИЛОЖЕНИЕ №2	249
П.2.1. Задача №1: Определение безопасной дистанции грузового ТС .	249
П.2.2. Задача №2: Определение величины тормозного пути ТС	254
П.2.3. Задача №3: Определение возможности предотвращения ДТП...	258
П.2.4. Задача №4: Определение скорости ТС перед торможением	264
П.2.5. Задача №5: Определение добавочной скорости ТС в начале торможения.....	268
П.2.6. Задача №6: Установление факта нарушения ПДД по скоростному режиму.....	272
П.2.7. Задача №7: Определить коэффициент сцепления покрытия проезжей части с шинами ТС	277
П.2.8. Задача №8: Установление факта нарушения ПДД по скоростному режиму.....	279
П.2.9. Задача №9: Определение скорости ТС перед торможением	283
П.2.10. Задача №10: Определение максимальной скорости движения ТС на криволинейном участке.....	285
П.2.11. Задача №11: Определение критической скорости опрокидывания снаряженного ТС.....	288
П.2.12. Задача №12: Определение коэффициента сцепления покрытия на криволинейном участке дороги без поперечного уклона.....	291
П.2.13. Задача №13: Определение технической возможности водителя в избежании наезда на пешехода.....	293
П.2.14. Задача №14: Определение условия безопасного перехода полосы движения ТС пешеходом.....	298
П.2.15. Задача №15: Определение возможности водителя к предотвращению ДТП	305
ПРИЛОЖЕНИЕ №3	310

ПРИЛОЖЕНИЕ №4	313
---------------------	-----

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АТС – автомобильное транспортное средство

БЗ – база знаний

ГИБДД – Государственная инспекция по безопасности дорожного движения

ДП – дорожное полотно

ДТП – дорожно-транспортное происшествие

ДТС – дорожно-транспортная ситуация

ИИ – искусственный интеллект

ИМ – имитационное моделирование

ОС – операционная система

ПДД – правила дорожного движения

ПО – программное обеспечение

СИМ – система имитационного моделирования

СПД – сервис передачи данных

СППР – системы поддержки принятия решений

СУБД – система управления базами данных

СЭИМ – система экспертно-имитационного моделирования

ТС – транспортное средство

ЭВМ – электронно-вычислительная машина

ЭКЦ – экспертно-криминалистический центр

ЭС – экспертная система

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В настоящее время жизнь и жизнедеятельность человека неразрывно связаны с использованием различных транспортных средств (ТС) как в личной жизни, так и в сфере производства. Без постоянного развития автомобильного транспорта был бы невозможен технический и социальный прогресс человеческого общества в целом. 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 (примерно каждый второй житель будет водителем). Быстрое увеличение количества автомобилей неминуемо приводит к появлению дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и пострадавших от ДТП. Однако, увеличение числа автотранспорта это не единственная причина ДТП на дорогах. Основные причины – это превышение разрешенной скорости движения, нарушение правил обгона и опережения, несоблюдение требований дорожных знаков и сигналов светофора, неправильное маневрирование на проезжей части, несоблюдение дистанции и так далее. По данным опубликованным Государственной инспекцией по безопасности дорожного движения (ГИБДД), за январь-август 2016 года на территории Российской Федерации произошло 108 тысяч ДТП. К примеру, в день, в зависимости от времени года и погодных условий, в городе Москве бывает от 1000 до 2500 ДТП и мелких аварий. 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. Так же необходимо учитывать для каждого конкретного случая все возможные факторы, которые могли оказать влияние на развитие дорожно-транспортной

ситуации (ДТС). Стоит отметить, что обеспечение высокого уровня объективности выводов экспертов при расследовании ДТП, а также высокий уровень использования компьютерных технологий являются мерами, обеспечивающими качество экспертных исследований. Чаще всего виновный или виновные в ДТП определяются сотрудником Госавтоинспекции на месте, однако бывают спорные случаи ДТП, когда данные с места происшествия (фотоотчет, сбор видимых критериев, например, длина тормозного пути) собираются, а затем передаются в экспертно-криминалистический центр (ЭКЦ) для установления виновного или виновных в ДТП. Реконструкцию и экспертизу аварийных событий ДТП производит компетентный эксперт.

В настоящее время, расчеты спорных случаев ДТП для установления виновных выполняются экспертами вручную. Отметим, что существуют специальные программные комплексы, которые предназначены для реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП, но они весьма дорогие, сложные в освоении и представляют собой модель «черного ящика». В диссертации исследована методика объединенных экспертных и имитационных моделей и алгоритмов для реконструкции и экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных происшествий, которые позволили снизить трудоемкость процесса экспертизы, снизить количество ошибок при расчете, улучшить уровень достоверности и объективности экспертных исследований, снизить требования к квалификации экспертов за счет разработанного специального математического обеспечения экспертной системы анализа и экспертизы ДТП.

Процесс реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП происходит следующим образом: существует совершенное событие, информацию о котором эксперт получает посредством фиксации видимых критериев, опираясь на повествования очевидцев события и данных, полученных при помощи фотофиксации события. Эксперту необходимо произвести реконструкцию всех процессов рассматриваемого события, что бы восстановить картину произошедшего. 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 главных 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 реализации цели в диссертационной работе сформулированы и решены следующие научные 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, основанных 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 городу Москве и в АНО «Межрегиональный центр судебной экспертизы».

2. Использование экспертной системы «Анализ ДТП» в практической сфере деятельности экспертных учреждений, страховых компаний и тому подобное, 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, а именно добавлению новых правил (формул) и параметров, а также к изменению существующих имен параметров для индивидуализации системы. Это позволяет эксперту добавлять в систему новые «сценарии» рассматриваемых 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 о научной новизне и практической значимости, приведенные в диссертационной работе, были доложены и обсуждены на 13 Международных, Всероссийских научно-технических и научно-практических конференциях: на Международной научно-практической конференции «Современное общество, образование и наука» (Тамбов, 2015); на международной научной конференции «Новые технологии в образовании» (Ямайка, 2015); в рамках международного конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «International Congress on Intelligent Systems and Information Technologies (ICAI) 2015 (IS&IT`15)» (Дивноморское, 2015); на 7-й всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2015 (Москва, 2015); на II Всероссийской научно-технической конференции «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения», Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского (Санкт-Петербург, 2015); в рамках XIV Международной научно-практической

конференции молодых ученых «Теория и практика применения информационных технологий в промышленности, строительстве и на транспорте», посвященной 85-летию МАДИ (Москва, 2015); в рамках международного конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «International Congress on Intelligent Systems and Information Technologies (ICAI) 2016 (IS&IT`16)» (Дивноморское, 2016); в рамках Национального Суперкомпьютерного Форума «НСКФ-2016» (Переславль-Залесский, 2016); на международной Инновационно-ориентированной Конференции Молодых Ученых и Студентов «МИКМУС-2016» (Москва, 2016); на 75-й научно-методическая и научно-исследовательская конференция МАДИ (Москва, 2017); на международной научно-практической конференции «Наука, образование, общество» (Тамбов, 2017); в рамках XI Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества» (Москва, 2017); в рамках XVII Международной научно-практической конференции молодых ученых «Теория и практика применения информационных технологий в промышленности, строительстве и на транспорте», посвященной 40-летию факультета «Управления» (Москва, 2017).

Также 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» (Приложение №3).

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

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения с основными выводами и результатами по работе, списка литературы и 4 приложений.

ГЛАВА 1. ОБЗОРНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Постановка задачи первой главы

В первой главе выполняется 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.

1.1.1. Экспертное моделирование

Выделим отдельным классом системы экспертного моделирования. Данные системы способны имитировать процессы рассуждения человека. Исходными данными для них являются декларативные и процедурные знания, поэтому их также называют системами, основанными на знаниях (knowledge-based system) или экспертными системами [97].

Гаврилова Т.А. и Хорошевский В.Ф в книге «Базы знаний интеллектуальных систем» дают следующее определение экспертным системам: «Это сложные программные комплексы, аккумулирующие знания специалистов в конкретных предметных областях и тиражирующие этот эмпирический опыт для консультаций менее квалифицированных пользователей» [29].

Стоит отметить, что некоторые эксперты ставят в один ряд с ЭС системы поддержки принятия решений (СППР). СППР также являются компьютерными автоматизированными системами, которые возникли в результате слияния управленческих информационных систем и систем управления базами данных (СУБД). Но важно учитывать, что СППР – это не экспертные системы, но они могут создаваться с применением технологий ЭС, то есть с использованием баз знаний, методов логического вывода.

Основная цель использования экспертной системы – это получение знаний, которые человеку не очевидны. Применяться подобные системы могут практически в любой сфере. Основным фактором необходимости применения экспертной системы является наличие большого сложного производства, где существует сложная система задач, потребность в прогнозе обстановки или анализе определенных входных данных.

1.1.1.1. Ретроспективный анализ ЭС

Уже в 1940-х годах специалисты в области искусственного интеллекта (ИИ) стремились разработать программы для электронно-вычислительных машин (ЭВМ) с целью решения различных интеллектуальных задач. Пионерами в области создания и использования интеллектуальных систем являются Норберт Винер (англ. *Norbert Wiener*) и Алан Тьюринг (англ. *Alan Turing*). При разработке интеллектуальных систем первые попытки свелись к созданию универсальных программ, которые были способны моделировать сложные процессы мышления, а также решать задачи при помощи различных эвристических методов. Например, среди таких программ были «Logic Theorist» (1956 г.), созданная для доказательства теорем и исчисления высказываний. Стоит отметить, что «Logic Theorist» считается первой программой ИИ [55]. Программа «NSS» (Newell, Shaw, Simon) для игры в шахматы (1957 г.). Эти компьютерные программы, были разработаны выдающимися учеными Алленом Ньюэллом (англ. *Allen Newell*), Гербертом Саймоном (англ. *Herbert Simon*) и Клиффордом Шоу (англ. *Cliff Show*). Стоит отметить, что программы «Logic Theorist» и «NSS» привели к созданию в дальнейшем программы «General Problem Solver» (1959 г.), которая моделировала общие стратегии решения задач, используемые человеком. «General Problem Solver» является первой программой, в которой предусматривалось планирование стратегии решения задач.

Вначале 1960-х годах, специалистами в области ИИ был сформулирован важный вывод: эффективность программы при решении задач зависит не только от формализмов и алгоритмов вывода решения, но в первую очередь от знаний, которые в нее заложены. Подобные программы получили название, такое как экспертные системы.

В 1965 году в Стэнфордском университете Эдвард Фейгенбаум (англ. *Edward Feigenbaum*), Джошуа Ледерберг (англ. *Joshua Lederberg*) и примкнувший к ним Брюс Бученен (англ. *Bruce Buchanan*) начали работы по созданию первой экспертной системы под названием DENDRAL. Ставилась цель создать компьютерного помощника, который мог бы определять путем расчета молекулярную структуру химических соединений [159].

В 1977 году Фейгенбаумом Э. в докладе на Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту впервые были введены термины «экспертная система» и «инженерия знаний» (англ. *knowledge engineering*) [156].

В СССР тематика ЭС активно стала развиваться с середины 80-х годов. Росту интереса в значительной мере способствовал выход переведенных книг по ЭС в 1987 году, таких как «Построение экспертных систем» (англ. *«Building Expert Systems»*) Хейса-Рота Ф. (англ. *Hayes-Roth F.*), Уотермена Д. (англ. *Waterman D.*) и Лената Д. (англ. *Lenat D.*) [99], а также «Экспертные системы: концепции и примеры» (англ. *«Expert Systems Concepts and Examples»*) Элти Дж. (англ. *Alty J.*) и Кумбса М. (англ. *Coombs M.*) [148].

В 1986 году состоялся первый научный семинар «Экспертные системы» под руководством Попова Э.В., стоит отметить, что уже в 1987 году им была издана одна из первых отечественных книг по ЭС [75], а в 1990 году издан фундаментальный трехтомный справочник по ИИ [76], один из томов которого был посвящен прикладным ЭС.

Большой вклад в развитие и разработку методов создания экспертных и гибридных интеллектуальных систем внесли известные отечественные ученые: Попов Э.В. [75-78], Поспелов Д.А. [79-81], Рыбина Г.В. [82-85],

Гаврилова Т.А. [29-30, 102], Хорошевский В.Ф. [29,100], Стефанюк В.Л. [94-95], Осипов Г.С. [68-69], Курейчик В.М. [31, 73-74], Частиков А.П. [101-103], Вагин В.Н. [4, 12], Варламов О.О. [17-18, 21, 23, 25-27] и другие.

В конце 1980-х годов усиливающаяся специализация и практическое применение традиционных продукционных ЭС вступили в противоречие с возрастающей сложностью задач. И уже в начале 1990-х годов продукционный подход не мог вместить огромное количество правил и знаний экспертов, что привело к так называемой гибридизации. В 1989 году Поспелов Д.А. сформулировал парадигму гибридных ЭС следующим образом: «Интеллектуальный интерфейс + База знаний + Решатель + Пакет прикладных программ» [80]. Стоит отметить, что именно последняя составляющая и делает ЭС гибридной. А термин «Гибридные интеллектуальные системы» (англ. *hybrid intelligent systems*) появился только в 1992 году. Авторы Гоонатилак С. (англ. *Goonatilake S.*) и Кхеббал С. (англ. *Khebbal S.*) вкладывали в него смысл гибридов интеллектуальных методов, таких как экспертные системы, нейросети и генетические алгоритмы [158]. ЭС представляли символьные, а искусственные нейронные сети и генетические алгоритмы – адаптивные методы ИИ. Однако стоит отметить, что новый термин касался достаточно узкой области интеграции – ЭС и нейросети. В своей работе «Гибридные интеллектуальные системы: Теория и технология разработки» Колесников А.В. дает следующее определение гибридной интеллектуальной системе: под гибридной интеллектуальной системой принято понимать систему, в которой для решения задачи используется более одного метода имитации интеллектуальной деятельности человека [46].

Стоит отметить, что для решения трудно формализуемых задач, а в частности, для работы со знаниями для создания специализированных ЭС были созданы специальные языки программирования: LISP (1958 г., Джон Маккарти (англ. *John McCarthy*)), Prolog (1972 г., Ален Колмероэ (англ. *Alain Colmerauer*)), FRL, KRL, SMALLTALK, OPS5, PLANNER, QA4, MACSYMA,

REDUCE, РЕФАЛ, CLIPS. К числу наиболее популярных традиционных языков программирования для создания интеллектуальных систем следует также отнести С++ и Паскаль. По причине того, что создание ЭС является сложным процессом, были созданы универсальные инструментарии для создания ЭС по заданной предметной области. Таким инструментарием являются оболочки для создания ЭС.

Стоит отметить, что существует специальное различие пяти поколений ЭС:

1. Первое поколение ЭС – характеризует, прежде всего, повторяющийся логический вывод эксперта. Свойственен ряд ограничений: узкая область экспертизы, в основном используется вид личностных знаний эксперта, проблема модификации ЭС в процессе ее эксплуатации.

2. Второе поколение ЭС – характеризует появление так называемых «оболочек» ЭС, которые предназначены для автоматического получения знаний из внешней среды.

3. Третье поколение ЭС – характеризует появление гибридных или интегрированных ЭС, которые способны самообучаться и адаптироваться в процессе функционирования непосредственно в самой системе.

4. Четвертое поколение ЭС – характеризует появление динамических систем, которые имеют ярко выраженные адаптивные свойства, динамизм БЗ и подсистему логического вывода.

5. Пятое поколение ЭС – характеризует появление распределенных сетей из совместно функционирующих систем. Особенностью является синтез нескольких ЭС, когда решение (полученные данные) одной ЭС выступает в качестве исходных данных для другой.

Стоит отметить, что если 1-3 поколения ЭС относятся к статистическим системам, то 4 и 5 поколения к динамическим [31, 78].

Сегодня на мировом рынке самой известной экспертной системой является суперкомпьютер компании IBM – Watson [115]. Он способен понимать вопросы, сформулированные на естественном языке, и находить на

них ответы в базе данных. Наиболее востребована экспертная система Watson в медицине при постановке диагнозов и создании новых лекарств, в кулинарии, в аналитике и так далее.

Также нельзя не упомянуть о достаточно крупной экспертной системе Wolfram Alpha, запущенной в 2009 году, автором которой является британский физик, математик, программист, писатель Стивен Вольфрам (англ. *Stephen Wolfram*). ЭС Wolfram Alpha предназначена для математических вычислений, статистики, анализа данных и так далее.

В качестве примера ЭС, которые используют современные голосовые интерфейсы для пользователя, можно привести такие, как Siri (Speech Interpretation and Recognition Interface) от Apple Inc. и Cortana от Microsoft.

Если рассматривать положение ЭС в современной России, то стоит сказать о экспертной платформе Deductor, созданной компанией BaseGroup Labs. Deductor включает в себя интеграцию данных, визуализацию, очистку, систему Data Mining алгоритмов (поиск скрытых закономерностей, машинное обучение [129], математическая статистика). Также существует отечественная оболочка для создания ЭС – КЭСМИ (Wi!Mi), главное отличие которой от других оболочек – это линейная сложность логического вывода и выполнение более 5 000 000 продукционных правил в секунду [13, 136, 153] (более подробно она рассматривается в разделе 1.2.6).

С учетом того, что российские интеллектуальные системы только создаются и функционируют в полном варианте не более 10 лет, то среди них не более 5% можно отнести к экспертным. Они создаются для каждой конкретной организации индивидуально с формированием собственной базы знаний и методик принятия решений.

Также стоит заметить, что в настоящее время современные ЭС способны решать огромный спектр задач: оценивать потенциальные месторождения полезных ископаемых, осуществлять обработку естественного языка [1, 25], диагностировать заболевания, анализировать изображения [25], ведутся работы по созданию систем управления для

автономных интеллектуальных робототехнических комплексов нового поколения на базе ЭС [23] и так далее. Они также эффективно используются в банковском деле, бухгалтерском учете и так далее.

1.1.1.2. Общая структура ЭС

Обобщенная минимальная структура ЭС представлена на рисунке 1.1. Следует отметить, что реальные ЭС могут иметь более сложную структуру. Однако, блоки, отмеченные на рисунке 1.1 всегда присутствуют в любой действительной ЭС, так как это является определенным стандартом в ЭС.

Рассмотрим процесс функционирования ЭС: пользователь, который хочет получить необходимую информацию, через пользовательский интерфейс посылает свой запрос к ЭС, далее решатель, пользуясь базой знаний, генерирует и выдает пользователю подходящий результат, при этом решатель объясняет ход своих рассуждений при помощи подсистемы объяснений.

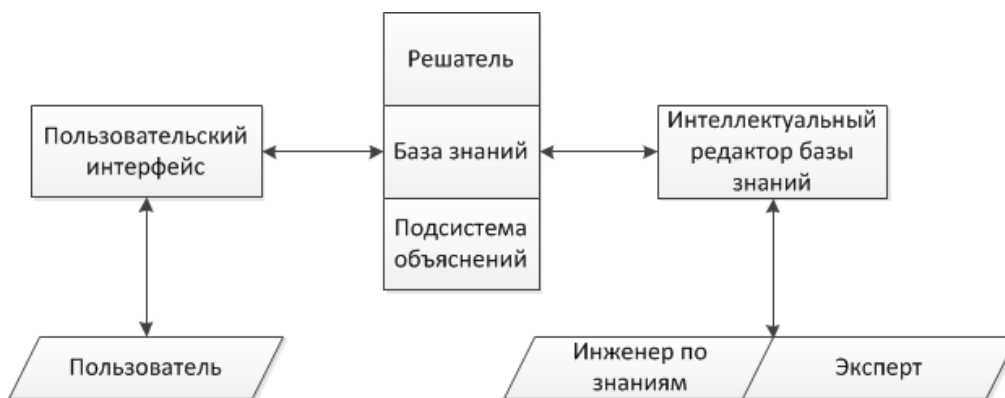


Рисунок 1.1. Общая минимальная структура экспертной системы

Дадим определение терминам, которые представлены на рисунке 1.1:

- **Пользователь** – это специалист, для которого предназначена ЭС. Как правило, у такого специалиста квалификация в заданной предметной области недостаточно высока, поэтому он нуждается в помощи и поддержки в своей деятельности со стороны ЭС.
- **Инженер по знаниям** – это специалист в области искусственного интеллекта, являющийся в роли промежуточного буфера между экспертом и

БЗ. В научной литературе также можно встретить такие синонимы как: когнитолог, инженер-интерпритатор, аналитик.

- Эксперт – это лицо, обладающее специальными знаниями в заданной предметной области или областях.

- Пользовательский интерфейс – это модуль, который предназначен для реализации диалога между пользователем и ЭС как на стадии ввода информации, так и при получении результата.

- Решатель – это программный модуль, который необходим для моделирования хода рассуждений эксперта на основании, имеющихся знаний в БЗ. В научной литературе также можно встретить такие синонимы как: дедуктивная машина, машина вывода, блок логического вывода.

- База знаний – это ядро ЭС, совокупность знаний по заданной предметной области, записанных на машинный носитель в форме, понятной эксперту и пользователю.

- Подсистема объяснений – это программный модуль, который позволяет получить ответы на два основных вопроса: «Как была получена та или иная рекомендация?» и «Почему система приняла такое решение?». Ответ на вопрос «как» – это представление всего процесса получения решения с указанием используемых фрагментов БЗ, другими словами это процесс представления всех шагов цепи умозаключения. Ответ на вопрос «почему» – это ссылка на умозаключение, которое предшествовало полученному решению, другими словами это отход на один шаг назад.

- Интеллектуальный редактор базы знаний – это программный модуль, который позволяет инженеру по знаниям создавать БЗ в диалоговом режиме. Также модуль включает в себя систему вложенных меню, шаблонов языка представления знаний, подсказок и других сервисных средств, которые предназначены для облегчения работы с базой.

Еще раз следует отметить, что представленная схема на рисунке 1.1 является общей минимальной структурой ЭС, что означает обязательное присутствие указанных на ней блоков в реальной системе [126].

1.1.1.3. Требования к разрабатываемым ЭС

Перед тем как рассматривать требования к разрабатываемым ЭС, сперва необходимо определиться: оправданно ли создание ЭС. Перечислим основные критерии обоснованности разработки ЭС:

1. Задача имеет практическое значение и решаема.
2. В заданной предметной области существуют эксперты.
3. Разрабатываемое решение позволит принести прибыль.
4. Утрата человеческого опыта или существует слишком мало экспертов в заданной предметной области.
5. Спрос в определенном опыте эксперта.
6. Необходимость использование опыта эксперта в неблагоприятной среде (опасной для жизни).

Определив основные критерии обоснованности разработки ЭС, необходимо сформулировать основные требования к разрабатываемым ЭС:

1. ЭС не должна давать противоречащие друг другу ответы для одинаковых запросов по смыслу.
2. Ни один из входных запросов не должен приводить к сбою ЭС.
3. Возможность добавления новых знаний.
4. Наличие механизма пояснений по полученному ответу.
5. Наличие простого пользовательского интерфейса.
6. Наличие возможностей прогнозирования ситуации.
7. Алгоритмы и методы, используемые при разработке ЭС должны отвечать современному развитию науки и техники.

1.1.1.4. Преимущества и недостатки использования ЭС

В таблице 1.1 представлены основные преимущества и недостатки использования ЭС.

Таблица 1.1. Преимущества и недостатки использования экспертных систем

Преимущества	Недостатки
ЭС обеспечивает согласованные решения – система может обеспечить последовательные ответы для повторяющихся решений, процессов и задач.	ЭС очень трудно отлаживать, проверять на корректность внесенные данные.
ЭС обеспечивает разумные объяснения – система имеет возможность уточнить причины, почему был сделан вывод, и почему именно он считается наиболее логичным выбором среди других альтернатив. Если все же есть какие-либо сомнения в заключение определенной проблемы, то система предложит несколько вопросов для пользователя, чтобы обработать логический вывод.	Недостаток «здравого смысла» – ЭС необходимо постоянно обучать и поддерживать актуальность знаний, которыми она оперирует. В противном случае системе не хватит «знаний», необходимых для вывода правильного результата.
ЭС позволяют преодолеть человеческие ограничения – система не имеет человеческих ограничений и может работать круглосуточно и непрерывно.	Универсальность ЭС – чем больше число задач может решить одна ЭС, тем беднее окажутся ее возможности при решении конкретной задачи.
ЭС легко адаптируется к новым условиям – в отличие от людей, которые часто имеют проблемы в адаптации к новым условиям.	Неспособность предоставить осмысленное объяснение решения.
В ЭС можно объединить знания многих экспертов.	Трудность передачи «глубоких» знаний предметной области.
ЭС способна накапливать знания, и хранить их длительное время.	Дорогостоящее внедрение и расходы на техническое обслуживание ЭС.

Разработка и внедрение ЭС является важным направлением, так как это повышает надежность и эффективность технической эксплуатации сложной системы в целом. А также позволяет использовать результаты, например, мониторинга и автоматизировать процедуры решения различных задач для информационной поддержки пользователя. Таким образом, использование ЭС позволяет повысить эффективность работы на производстве, что является важным фактором [52].

1.1.2. Имитационное моделирование

Выделим отдельным классом системы имитационного моделирования (ИМ) [3, 111, 121, 138]. Но перед тем как перейти к понятию ИМ, необходимо предварительно дать определение термину «модель». Термин «модель», является ключевым компонентом в определении ИМ. Под «моделью» реальной системы, к примеру, Роберт Шеннон (англ. *Robert Shannon*) понимает представление группы объектов или идей в некоторой форме, отличной от их реального воплощения [164]. Другими словами под «моделью» можно понимать определенный образ (к примеру, абстрактное устройство), воспроизводящий или имитирующий строение и действия какого-либо другого образа (устройства). Стоит понимать, что модель всегда является упрощением реального объекта, следовательно, она никогда не сможет заменить его полностью.

ИМ является весьма широким и недостаточно четко определенным понятием. Роберт Шеннон дает следующее определение ИМ: «Имитационное моделирование есть процесс конструирования модели реальной системы и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить (в рамках ограничений, накладываемых некоторым критерием или совокупностью критериев) различные стратегии, обеспечивающие функционирование данной системы» [165]. Таким образом, можно сделать следующий вывод: Роберт Шеннон понимает под процессом имитационного моделирования, как процесс, включающий и конструирование модели, и аналитическое применение модели для изучения некоторой проблемы.

Для формулировки отличия ИМ от аналитического подхода воспользуемся определением, которое предложил Мухин О.И. [62]: «Имитационное моделирование – способ моделирования с обязательным наличием счетчика, который позволяет моделировать процесс по шагам». Необходимо также дать точное определение системе имитационного

моделирования. Под СИМ стоит понимать комплекс программных средств для создания имитационной модели и ее симуляции или имитации.

Основная идея имитационного моделирования – это возможность экспериментировать с системами в тех случаях, когда делать это на реальном объекте практически невозможно или нецелесообразно. Имитационное моделирование является одним из самых мощных инструментов исследования сложных систем, управление которыми связано с принятием решений в условиях неопределенности. Данный подход позволяет рассматривать большое число альтернатив, а также осуществлять более точное прогнозирование [164].

1.1.2.1. Ретроспективный анализ ИМ

Известный специалист в области имитационного моделирования Ричард Нанс (англ. *Richard E. Nance*) в своей работе [160] определял пять основных этапов развития имитационного моделирования. Рассмотрим их:

- Этап 1 (1955 - 1960). В этот период программы для задач компьютерного моделирования разрабатывались на основе таких универсальных языков, как Fortran и Algol. Создание моделей при помощи этих языков выглядело следующим образом: в компьютер вводили систему уравнений с детерминированными и случайными коэффициентами, задавали шаг времени, с помощью датчика случайных чисел изменяли случайные коэффициенты, а результаты решения подвергали статистической обработке. Проблема состояла в том, что так как шаг времени выбирали для самого быстрого процесса, то после моделирования получали множество ненужных данных о шагах, когда изменений в системе нет, вследствие чего разработка модели часто отставала от развития объекта моделирования, а ее доработка отнимала много времени [64].

- Этап 2 (1961 - 1965). Этот период характерен появлением первых языков моделирования, таких как: GPSS, SIMSCRIPT, SIMULA, CSL и SOL. Ярким примером первого языка ИМ является язык моделирования

дискретных систем – GPSS (General Purpose Simulating System). Этот язык появился впервые еще в 1961 году, он выдержал множество модификаций для самых различных операционных систем (ОС) и компьютеров и в то же время сохранил почти неизменными внутреннюю организацию и основные блоки [163]. Развитие языков моделирования положило начало использования объектно-ориентированных принципов в моделировании.

- Этап 3 (1965 - 1970). Этот период характерен появлением второго поколения языков моделирования, таких как: GPSS V, SIMSCRIPT II.5 и SIMULA 67. Среди языков имитационного моделирования этого периода особое место занимает SIMULA-67. SIMULA-67 разработан в Норвежском вычислительном центре Оле-Йохан Далем (англ. Ole-Johan Dahl), Бьерном Мюрхаугом (англ. Bjorn Myhrhaug) и Кристеном Ньюгордом (англ. Kristen Nygaard) [154]. Разработчики языка SIMULA-67 положили начало объектно-ориентированному представлению систем.

- Этап 4 (1971 - 1978). На этом этапе происходит развитие уже разработанных языков и средств моделирования, ориентированное на повышение эффективности процессов моделирования, а также превращения моделирования в более простой и быстрый метод исследования сложных систем. В качестве примера можно привести такой язык ИМ, как SLAM, разработанный профессором Аленом Прицкером (англ. Alan Pritsker) в начале 1970-х годов.

- Этап 5 (1979 - 1986). Этап перехода от программирования к развитию моделей. Основной акцент был перенесен на идентификацию интегрированных средств ИМ. С появлением имитационных моделей изменилась концепция самого моделирования, которая теперь рассматривается как единственный процесс построения и исследования моделей. Теперь на первое место ставится формальное понятие модели, которое не только объясняет динамику системы, но и служит предметом математических исследований.

Ричард Нанс анализировал развитие имитационного моделирования с 1955 по 1986 год. Продолжим рассматривать, дополнив новыми этапами, развитие имитационного моделирования с 1986 по 2017 год [111].

- Этап 6 (1987 - 1994). Этап характерен переходом программного обеспечения (ПО) для ИМ на персональные компьютеры (ПК) с использованием средств графического интерфейса для визуализации и анимации процессов моделирования. Системы автоматизации моделирования, которые были разработаны в 60-70-е годы (Simula, SLAM, НЕДИС и другие) были слишком сложны для широкого пользователя из-за сложности текстовой формы описания модели и отсутствия программных реализаций эффективных численных методов. По этой причине в 1990-х годах появились такие сред ИМ как: Arena, Extend, MicroSaint, COVERS (Concurrent Verification and Simulation), Enterprise Dynamics и так далее. Эти среды ИМ имели пользовательский интерфейс, входные и выходные анализаторы, а также они позволяли представлять результаты моделирования в виде диаграмм или анимационных пиктограмм. Еще одной важной особенностью 6 этапа стало использование технологии объектно-ориентированного моделирования. Это позволило резко расширить границы применимости и повторного использования уже созданных моделей. Средства моделирования на этом этапе позволяли создавать модели, для расчета которых требовались значительные вычислительные ресурсы. Также стоит отметить, что в 1989 году была основана Федерация европейских обществ по проблемам моделирования – EUROSIM.

- Этап 7 (1995 - 1998). Этап характерен началом разработки средств технологической поддержки процессов распределенного ИМ на мультипроцессорных компьютерах и сетях. В начале 1990-х годов была сформулирована новая парадигма в области вычислений, заключающаяся в изложении и обобщении результатов по практическому созданию завершенной моделирующей среды, ориентированной на использование распределенных и параллельных вычислительных средств [90].

- Этап 8 (1999 - 2005). Этот период характерен развитием и усовершенствованием разработанных средств моделирования. Например, в 2000 году появляется инструмент AnyLogic (наследник инструмента COVERS), который поддерживал все три известных метода моделирования: системная динамика, дискретно-событийное (процессное) моделирование, агентное моделирование. Программный продукт AnyLogic внес огромный вклад в развитие ИМ в целом. Уже в 2003 году при помощи AnyLogic стало возможным разрабатывать модели в таких областях, как [8]: производство, логистика, здравоохранение, бизнес-процессы и так далее.

- Этап 9 (2006 - 2010). Этап характерен появлением систем моделирования с повышенной реалистичностью. А именно одним из векторов направления развития ИМ является виртуальная реальность. Термин «виртуальная реальность» появился еще в конце 1970-х годов, так называли трехмерные макромодели реальности, которые создавались с помощью компьютера и давали эффект присутствия человека в виртуальном мире. Первоначально подобные модели применялись в военной области в обучающих целях, например для имитации управления самолетом, танком. Именно в этот период становится популярным разработка и применение различных игровых движков (трехмерных игровых ядер) для решения задач, связанных с реалистичным моделированием [122, 135, 143, 145-146, 152].

- Этап 10 (2011 - 2017). Этот этап характерен применением облачных вычислений в ИМ. Сегодня в области ИМ можно наблюдать волну активности по переводу имеющихся приложений в среду Web. Также стоит отметить, что требования к ИМ в плане графической составляющей становятся выше. Для демонстрации модели, 3D графика становится немаловажным фактором в представлении информации для конечного пользователя.

Стоит отметить, что еще в 60–80 годы в СССР ИМ было весьма востребованным направлением. Именно тогда был создан ряд научных школ по ИМ в Москве, Киеве, Санкт-Петербурге, Новосибирске и других городах

[34]. Разработаны такие системы ИМ, как СЛЭНГ, НЕДИС и так далее. Стоит отметить, что особый вклад в развитие ИМ внес профессор, доктор технических наук Черненький В.М. Под его научным руководством развивались методы ИМ в направлении создания и развития программных СИМ и методик описания процессов функционирования информационных систем. В рамках направления были разработаны: языки и системы имитационного моделирования СТАМ (разработчики системы Черненький В.М., Федоров Б.С., Лисин В.И.), СТАМ-КЛАСС (разработчики системы Черненький В.М., Большаков С.А., Горшков С.В., Спиридонов С.Б.) [105], СТАМ-ПРОЦЕСС (разработчики системы Семкин П.С., Мартынюк Н.А.).

В конце 70-х и начале 80-х годов уже более тысячи пользователей в СССР освоили методы ИМ, используя такие пакеты прикладных программ, как ПМДС (GPSS/360) и ПМДС 2.0 (GPSS V). Таким образом, советской школе ИМ удалось получить мировое признание. Но, к сожалению, все это в прошлом, так как глобальные политические и экономические изменения, которые произошли в Советском Союзе, привели к потере этих позиций.

С 2000-х годов в России и странах СНГ, с улучшением экономической ситуации, интерес к ИМ снова стал возрастать. Стали появляться отечественные системы ИМ, например, Actor Pilgrim, AnyLogic, MvStudium и так далее. Идеи и мысли, заложенные отечественными специалистами, представляют значительный интерес и за рубежом. Большой вклад в развитие ИМ внесли такие известные отечественные ученые, как: Рыжиков Ю.И. [72, 86-89], Лычкина Н.Н. [53-54], Кобелев Н.Б. [42-44], Борщев А.В. [7-8, 150-151], Девятков В.В. [33-34, 44], Юсупов Р.М. [72, 149], Бусленко Н.П. [9-11], Емельянов А.А. [37-38], Павловский Ю.Н. [70-71], Мезенцев К.Н. [58-60], Николаев А.Б. [66-67], Маликов Р.Ф. [56-57], Черненький В.М. [104-106] и другие.

Стоит отметить, что в России ИМ стало особенно активно развиваться в последние годы. Например, вопросам практического использования результатов ИМ сложных процессов и систем уделяется особое внимание

[119] на многих конференциях, в частности на отечественной конференции «Имитационное моделирование» (ИММОД) [7, 34, 72, 133] или на конференции «Компьютерное моделирование» (КОМОД). А в 2011 году в России было создано Национальное общество имитационного моделирования (НП «НОИМ»), призванное решать важные проблемы применения методов имитационного компьютерного моделирования в науке, в технике и технологиях, в системах поддержки принятия решений, в управлении рисками. Президентом НП «НОИМ» является член-корреспондент РАН, доктор технических наук Юсупов Р.М. С 2015 года Национальное общество имитационного моделирования принято в постоянные члены Европейской ассоциации обществ имитационного моделирования (EUROSIM).

Новые исследования и разработки в области ИМ в России проводятся в таких институтах и организациях РАН как Вычислительный центр РАН, ИПУ РАН, ИСА РАН, ИППИ РАН, ИПИ РАН, СПИИРАН, институтах СО РАН и других. Также стоит перечислить ряд российских разработок в области ИМ, конкурентоспособных на мировом рынке: имитационная платформа Фантомат (разработчик: департамент имитационного моделирования компании IBS), инструмент моделирования AnyLogic (разработчик: The AnyLogic Company, бывшая XJ Technologies), распределенная система ИМ для локальной сети в среде QNX (разработчик: Институт вычислительной математики и математической геофизики, г. Новосибирск), система ИМ СМО (разработчик: Томский политехнический университет, автор – Ослин Б.Г.) и так далее [72].

1.1.2.2. Разновидности и инструментарии ИМ

На сегодняшний день на рынке информационных технологий существует достаточно большое количество программных продуктов аналитического типа, ориентированных на имитационное моделирование.

ИМ условно может быть представлено различными разновидностями или направлениями, соответственно имеющими свои методологии:

- Численное моделирование – является разновидностью имитационного моделирования. Изначально оно появилось в теории случайных процессов и математической статистике как способ вычисления статистических характеристик случайных процессов путем многократного воспроизведения течения процесса с помощью модели этого процесса [10]. Этот подход к исследованию реального процесса был назван методом статистических испытаний (статическое моделирование). Статистическое моделирование в зависимости от области применения подразделяется на несколько направлений [57]:

- о Вероятностное моделирование (методы Монте-Карло) [92] – это направление развивается как способ решения математических задач, например, таких как: вычисление интегралов, решение систем линейных уравнений, решение дифференциальных уравнений.

- о Вероятностно-имитационное моделирование – применение теории вероятностей и в частности методов Монте-Карло для построения имитационных моделей в молекулярной, статистической, химической кинетике, в передаче и защите информации, в моделях массового обслуживания, финансовой математики, математической биологии и так далее.

- о Моделирование методами математической статистики – характерно применением математической статистики для статистического оценивания и прогнозирования, корреляционно-регрессионного и многомерного статистического анализа, а также для оптимизации систем, определения экстремума функций большого числа переменных и так далее.

- Динамические системы – это такие системы, которые нацелены на исследование и изучение сложных объектов, поведение которых описывается системами алгебра-дифференциальных уравнений. В основе методологии

моделирования динамических систем и построения объектно-ориентированных моделей в технических системах лежит агрегативный подход, который был заложен в 1960-1970-х годах советским ученым Н.П. Бусленко. Под динамической системой стоит понимать любой объект, процесс или явление, для которого однозначно определено понятие состояния как совокупности некоторых величин и задан закон, который описывает изменение начального состояния с течением времени, двигающуюся в пространстве и изменяющуюся во времени.

- Дискретно-событийное моделирование – подход к моделированию, предлагающий абстрагироваться от непрерывной природы событий и рассматривать только основные события моделируемой системы, такие, как: «ожидание», «обработка заказа», «движение с грузом», «разгрузка» и другие. Дискретно-событийное моделирование основано Джеффри Гордоном (англ. *Geoffrey Gordon*) в 1960-х годах, который спроектировал и реализовал на IBM системе GPSS (Global Purpose Simulation System).

- Системная динамика – парадигма моделирования, где для исследуемой системы строятся графические диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени, а затем созданная на основе этих диаграмм модель имитируется на компьютере [91]. При помощи системной динамики строят модели бизнес-процессов, производства, динамики популяции и так далее. Метод был основан Джем Форрестером (англ. *Jay Forrester*) в 1950-х годах.

- Агентное моделирование – метод имитационного моделирования, который возник в 1990-х годах, исследующий поведение децентрализованных агентов и то, как такое поведение определяет поведение всей системы в целом. Под «агентом» понимается некая сущность, обладающая активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, взаимодействовать с окружением, а также самостоятельно изменяться. Агентный подход

позволяет исследовать задачи коллективного взаимодействия и эффективно решать задачи прогнозирования.

- Ситуационное моделирование – разновидность моделирования, которое начало развиваться еще с 1960-х годов. Это метод исследования ситуаций, включающий в себя построение модели реальной ситуации и проведение с ней различного рода мысленных экспериментов: прогнозирования направлений ее развития и (или) «проигрывание» на ней предполагаемых решений по управлению ситуацией с целью выбора оптимального [57]. В своих работах Поспелов Д.А. уделяет внимание понятию ситуация [79, 81]. Одним из направлений ситуационного моделирования является разработка компьютерных и игровых имитационных моделей своеобразных тренажеров, позволяющих проводить обучения по производственным, транспортным, педагогическим и другим ситуациям. В основе данных тренажеров лежит имитационная модель, которая позволяет обучающимся применять определенный набор инструментов воздействия и управления внутри ситуационной модели. Тренажеры такого рода (виртуальные игровые симуляторы) [146] уже получили широкое распространение в зарубежной практике [118, 122, 124, 131].

В таблице 1.2 представлены направления ИМ и примеры СИМ.

Таблица 1.2. Направления имитационного моделирования и примеры систем имитационного моделирования

Направление ИМ	Пример СИМ
Численное моделирование	Microsoft Excel, MATLAB и другие.
Динамические системы	Dynamo, PowerSim, MIMIC, APTON MIDAS, PACTOLUS, CSSL, СЛАМ, GASP, НЕДИС, МИКС, MATLAB, Simulink, Multisim VisSim, LabView, Easy5, MvStudium и другие.
Дискретно-событийное моделирование	GPSS, Simula, Arena, AutoMod, AnyLogic, Extend, ProModel, QUEST, SIMFACTORY II.5, SIMPLE++, eM-Plant, Taylor ED, WITNESS и другие.
Системная динамика	Vensim, iThink, Powersim, AnyLogic и другие.

Агентное моделирование	NetLogo, StarLogo, AnyLogic и другие.
Ситуационное моделирование	NaturalMotion Endorphin, CryEngine, Virtual CRASH и другие.

1.1.2.3. Требования к разрабатываемым имитационным моделям

Рассмотрим основные требования к разрабатываемым имитационным моделям:

1. Целенаправленность – модель должна быть разработана под решение задачи, для которого есть критерий оптимальности, то есть, введены ограничения на переменные и сформулированы зависимости между этими переменными.

2. Проста – модель должна быть «легка в понимании» для пользователя.

3. Достоверность – модель гарантирует отсутствие получения некорректных данных.

4. Вариативность – модель должна быть многовариантна по возможностям решения поставленной задачи.

5. Обновляемость – модель позволяет обновлять данные в реальном времени.

6. Изменяемость – наличие механизма в модели постепенного усложнения или изменения последовательности решения.

Рассмотрим условия, когда ИМ целесообразно применять:

- Не существует законченной математической постановки заданной задачи (например, модель многофазных, многоканальных систем массового обслуживания).

- Наличие аналитических методов, которые достаточно сложны и трудоемки. Применение ИМ даст более простой способ решения.

- Когда существует необходимость в наблюдении за ходом процесса в течение определенного периода времени.

- Когда существует трудность в постановки эксперимента и в наблюдении за ним в реальных условиях (например, наблюдение за поведением космических кораблей в открытом космосе).
- Необходимость в сжатии временной шкалы, как с целью замедления процессов, так и с целью ускорения (например, задачи связанные с транспортной логистикой).

1.1.2.4. Преимущества и недостатки использования ИМ

В таблице 1.3 представлены основные преимущества и недостатки использования ИМ.

Таблица 1.3. Преимущества и недостатки использования имитационного моделирования

Преимущества	Недостатки
Возможность моделировать системы, которые уже существуют. Или создавать модели систем, которые находятся на этапе концептуального представления, то есть такие системы, которые находятся еще на этапе планирования или разработки.	Создание имитационной модели требует специальной профессиональной подготовки и, следовательно, высокого уровня квалификации специалистов-практиков. Таким образом, качество исследования зависит не только от точности модели, но и от уровня мастерства проектировщика модели.
Возможность наблюдения за реальной системой в процессе эксплуатации. Это позволяет проанализировать всевозможные развития событий.	ИМ представляет собой весьма дорогостоящий процесс, требующий существенных затрат и временных ресурсов.
Применение ИМ существенно сокращает продолжительность испытаний по сравнению с натурным экспериментом (если он возможен), вследствие этого ИМ сокращает денежные затраты и экономит ресурсы.	В процессе моделирования не представляется возможным получить точный результат. Оценка точности может быть выполнена путем анализа чувствительности модели к изменению определенных параметров.
ИМ позволяет определить оптимальность каких-либо долгосрочных процессов за считанные минуты, путем сжатия временной шкалы.	ИМ в действительности не отражает полного положения вещей.

1.2. Исследование предметной области анализа и экспертизы ДТП

На сегодняшний день наблюдается значительное увеличение дорожно-транспортных происшествий в мегаполисах [5, 96]. Одна из причин – увеличение количества автотранспорта. Быстрое увеличение количества автомобилей неминуемо приводит к появлению ДТП и пострадавших от ДТП. Общая статистика столкновений ТС, показывает, что более 70% аварий возникает из-за ошибок водителей, при этом сопутствующими причинами могут оказаться неблагоприятные дорожные условия, отсутствие средств организации движения, неправильное поведение пешеходов и так далее.

Целью экспертизы или анализа ДТП 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 [63]. Виновный или виновные в ДТП определяется сотрудником Госавтоинспекции на месте, однако бывают спорные случаи ДТП, когда этого сделать нельзя. В этом случае данные с места происшествия (фотоотчет, сбор видимых критериев, например, длина тормозного пути) собираются, а затем передаются в ЭКЦ для установления виновного или виновных в ДТП. Реконструкцию и экспертизу аварийных событий ДТП производит компетентный эксперт. Расчеты спорных ситуаций при определении виновного, эксперт производит вручную. Также стоит отметить, что существуют специальные программные комплексы, которые предназначены для анализа и имитации ДТП. Однако, как правило, такие комплексы весьма дорогие, сложны в освоении и представляют собой модель «черного ящика». Более подробно об этих программных комплексах будет рассмотрено в разделе 1.2.5. Таким образом, в диссертации предлагается в качестве исследования для демонстрации

преимущества объединения экспертного и имитационного моделирования создать ЭС по предметной области анализа и экспертизы ДТП, причем таким образом, что бы выходные параметры, полученные из ЭС, можно было внести в определенную СИМ с целью предоставления дополнительной визуальной информации для принятия решений человеком-экспертом. Что позволит ускорить процесс экспертизы и анализа ДТП в целом.

1.2.1. Автотехническая экспертиза

Автотехническая экспертиза – это определенный вид экспертизы, проводимой на основании специальных познаний в области судебной автотехники и криминалистики экспертом, с целью установления фактических данных о ДТП.

Автотехническая экспертиза подразделяется на пять основных видов:

1. Экспертиза технического состояния транспортного средства.
2. Исследование дорожных условий.
3. Экспертиза условий (обстоятельств) ДТП.
4. Экспертиза оценки автомобиля или другого транспортного средства.
5. Транспортно-трассологическое исследование.

Основными задачами автотехнической экспертизы столкновений являются:

- Восстановление картины дорожно-транспортной ситуации (ДТС), предшествующей столкновению. Выяснение и анализ очевидных и скрытых факторов, которые могли спровоцировать аварию (состояние дороги, состояние ТС участника ДТП, соответствие параметров движения ТС и так далее).
- Определение показателей ДТП на месте происшествия. Например, механизм и место столкновения, подвижность транспортных средств в момент аварии, траектория движения автомобилей и так далее.

- Определение места первого контакта и взаимного расположения автомобилей на проезжей части.

- Определение начальных скоростей автомобилей.

- Наличие у водителей технической возможности предотвратить ДТП.

После того, как эти задачи будут решены, может быть сделан вывод о соответствии действий участников ДТП требованиям правил дорожного движения (ПДД). Стоит отметить, что эксперту должны быть представлены все материалы ДТП, необходимые для проведения исследования. К этим материалам относятся:

- Постановление следователя или определение суда о назначении экспертизы;

- Справка по ДТП.

- Протокол осмотра места происшествия, куда входит также схема ДТП на момент осмотра инспектором.

- Протоколы осмотра транспортного средства.

- Показания участников ДТП, свидетелей ДТП и протоколы допросов.

Стоит отметить, что в большинстве случаев предоставленные на экспертизу материалы содержат неполную, а иногда и противоречивую информацию. Назовем основные причины, по которым это происходит:

- В состав оперативной группы могут не войти специалисты-эксперты, способные квалифицированно составить протокол осмотра места ДТП, а также правильно изобразить схему ДТП и правильно заполнить протокол осмотра ТС.

- К моменту прибытия оперативной группы на место ДТП часть следов может быть смыта дождем, затерта проезжающим транспортом и так далее.

- Оперативная группа может работать в условиях большой интенсивности движения на участке ДТП, или в темное время суток, при неблагоприятных погодных условиях, что значительно снижает качество выполняемой ими работы.

- Неправильные, а иногда и противоречивые показания участников ДТП.

1.2.2. Процедура исследования ДТП

Процедуру исследования ДТП можно разделить на три основных этапа:

- Этап 1 – эксперт должен определить момент сближения ТС до первого контакта. На этой стадии определяющими данными являются такие критерии как:

- о Положение ТС на проезжей части.
- о Направление движения.
- о Длина тормозного и полного остановочного пути ТС.
- о Скорость до начала торможения.
- о Скорость в момент первого контакта.

- Этап 2 – эксперту необходимо определить момент первого контакта до разъединения ТС. На данной стадии рассматриваются следующие критерии:

- о Степень травмирования водителя и пассажиров.
- о Расположение на автомобиле мест повреждений.
- о Координаты мест повреждений.
- о Размеры повреждений.
- о Характер деформаций и разрушений.

- Этап 3 – экспертом определяется момент разъединения ТС до их полной остановки. На этой стадии ТС со скольжением перемещается по направлению вектора скорости, приобретенной им после разъединения. Стоит отметить, что в заключительной фазе ТС может двигаться по криволинейной траектории в соответствии с положением управляемых колес. Эксперту необходимо установить эту траекторию.

1.2.3. Основные вопросы, на которые отвечает эксперт при судебной независимой экспертизе после ДТП

Рассмотрим основные вопросы, на которые должен ответить эксперт при судебной независимой экспертизе после ДТП:

- Как быстро перемещался автомобиль в момент столкновения?
- Какова длина тормозного и полного остановочного пути ТС при заданных условиях?
- Как быстро ТС проехало заданный отрезок пути?
- Была ли возможность затормозить при заданных условиях: скорости движения, состоянии проезжей части, расстояния до препятствия?
- Обнаружение места столкновения наезд на пешехода, наезд на другое ТС, наезд на какое-либо препятствие?
- Был ли занос ТС, если да, то почему произошел занос. Почему произошло опрокидывание автомобиля?
- Могли ли участники ДТП предотвратить его? Была ли техническая возможность у водителя предотвратить ДТП?

1.2.4. Основные проблемы, с которыми сталкивается сотрудник ЭКЦ при анализе ДТП

Рассмотрим основные проблемы, с которыми сталкивается сотрудник ЭКЦ при анализе ДТП:

1. Трудоемкость процесса расчета спорных ДТС. К каждому ДТП нужен индивидуальный подход, так как в каждом случае есть ряд нюансов, которые необходимо учитывать для выявления виновного или виновных в произошедшем ДТП.

2. Сложность реконструкции ДТС для выявления виновного или виновных. Проблема заключается в том, что для восстановления картины события эксперту требуется определить неизвестные ему скоростные характеристики ТС в момент происшествия, например это может быть начальная скорость автомобиля непосредственно перед торможением или

скорость ТС в момент первого контакта и тому подобное. Также для более детальной реконструкции события необходимы подробные фотоматериалы происшествия.

3. Фактор ошибки. Ошибки бывают разного типа:

- Процессуального характера – эксперт нарушает процедуру производства экспертизы.
- Логического характера – нарушение какого-либо закона, правил и схем логики экспертом.
- Фактического характера – ошибки, возникающие из-за незнания предмета и фактического положения дел.

4. Отсутствие простого программного решения для проведения анализа и экспертизы ДТП.

1.2.5. Исследование существующих СИМ для реконструкции ДТП

Рассмотрим специальные программные средства для анализа и экспертизы ДТП.

PC-CRASH 10.2 – программа разработанная австрийской компанией DSD - Dr. Steffan Datentechnik GmbH - Linz, Austria, которая является единым комплексом предназначенным для реконструкции механизма ДТП. Программа PC-CRASH обеспечивает возможность динамического моделирования движения ТС (в виде трехмерной модели), динамического моделирования столкновений ТС и динамического изображения реконструированного механизма ДТП в аксонометрической проекции. PC-CRASH применяет несколько различных моделей расчета, включая импульсно-толчкообразную модель аварии, модель удара на основе жесткости, кинетическую модель для реалистичной имитации траектории движения и простую кинематическую модель для изучения времени и дистанции. Важным достоинством программы является возможность определения скоростей движения ТС перед столкновением (на основании моделирования механизма столкновения) по известным исходным данным:

месту столкновения, взаимному положению ТС в момент столкновения, конечным положениям после столкновения, режимам движения ТС после столкновения до места остановки. Расчет столкновения автомобилей в PC-CRASH основываются на гипотезе Кудлиха-Слибара [35]. Стоит отметить, что в 2012 году программа PC-CRASH рекомендована РФЦСЭ (Российский Федеральный Центр Судебной Экспертизы) при Минюсте России к использованию в судебной автотехнической экспертизе.

Программное обеспечение PC-CRASH является хорошим примером демонстрации объединения ЭС и СИМ в единый программный комплекс. Однако стоимость лицензии рассматриваемого программного комплекса весьма высока, он сложен в освоении и представляют собой модель «черного ящика», то есть добавить какие-то дополнительные формулы для расчета, эксперту не представляется возможным. Также учитывая тот факт, что 1 апреля 2015 года Министерством связи и массовых коммуникаций РФ был подписан Приказ №96 «Об утверждении плана импортозамещения программного обеспечения». В плане указано, что доля импорта программного обеспечения для транспортной отрасли составляет 80% на 2014 год, прогнозируется, что на 2020 год максимальная доля импорта составит 65%. PC-CRASH является «иностранным» программным обеспечением, то есть импортным, этот факт делает данное ПО менее привлекательным для использования его в экспертизе ДТП в России. CARAT-4 (Computer Assisted Reconstruction of Accidents in Traffic) – компьютерная программа, разработанная швейцарской компанией IBV Informatik GmbH, которая позволяет выполнять, имеющие место в работе эксперта расчеты по анализу и реконструкции ДТП. Программа CARAT позволяет моделировать движение ТС и других объектов в динамическом и кинематическом режимах, вести анализ столкновений, представлять результаты моделирования в виде отдельного файла данных, динамических таблиц или диаграмм, в виде 2D и 3D анимации. Математическая модель столкновения, используемая в программе CARAT основана на гипотезе

Кудлиха-Слибара (англ. *Kudlich-Slibar*) [32, 35], дополняя ее уравнениями, так называемого метода эквивалентных деформаций энергий по Бургу-Цайдлеру (англ. *Burg-Zeidler*) [32]. CARAT является коммерческим, а также закрытым программным средством, доступ к которому открыт только для специализированного круга людей [6].

Virtual CRASH 3.0 – это программа, разработанная американской компанией vCRASH, которая позволяет реконструировать дорожные происшествия. Программа также позволяет моделировать движение ТС и других объектов в динамическом и кинематическом режимах. Расчет столкновения автомобилей в Virtual CRASH основываются также на гипотезе Кудлиха-Слибара [35]. Отдельное внимание уделено в Virtual CRASH моделированию биомеханики, при помощи физической модели столкновений программа может моделировать ДТП с участием пешеходов, велосипедистов и мотоциклистов. При моделировании ДТП программа позволяет детально настроить состояние рассматриваемого автомобиля: настроить коэффициент скольжения шины ТС, уровень жесткости подвески ТС и так далее. Программа также позволяет смоделировать место ДТП: рельеф местности, растительность, разнообразные препятствия и так далее. Также Virtual CRASH предоставляет обширную базу данных трехмерных моделей ТС, которая постоянно обновляется. Уровень визуализации результата отвечает современному развитию науки и техники.

Программное обеспечение Virtual CRASH является хорошим примером демонстрации локальной СИМ ориентированной конкретно на моделирование ДТП. Стоит учитывать, что в отличие от PC-CRASH программа способна моделировать ДТП, но не способна производить подробные расчеты и определять четкие параметры, необходимые для анализа ДТП. Virtual CRASH является хорошей программой для реконструкции ДТП и ДТС по уже подготовленным параметрам.

Существуют и другие программы экспертизы ДТП, такие как: австрийская программа *Analysar Pro 17*, разработанная Гратзером В. (англ.

Gratzer W.), американская программа AR Pro 11 (Accident Reconstruction Professional) и так далее.

К сожалению подобных отечественных систем очень мало. В качестве примера можно привести систему «Экспертиза ДТП», разработанная компанией Autosoft. «Экспертиза ДТП» позволяет воспроизводить ДТС любой сложности с использованием различных видов объектов: участки дорог с различной конфигурацией и разметкой, различные ТС, светофоры различной конфигурации и так далее. Однако стоит отметить, что в плане графического моделирования ДТП программа сильно устарела, в отличие от зарубежных аналогов. Если иностранные системы позволяют моделировать ДТП в 3D, то программа «Экспертиза ДТП» может предложить только анимацию 2D схемы ДТС. Кроме того, на начало 2017 года компания Autosoft временно сняла с продажи программу «Экспертиза ДТП».

В большинстве случаев эксперты производят необходимый расчет при анализе ДТП вручную, или прибегают к внутренним самодельным программам, которые не отвечают в полной мере требованиям эксперта. Также большинство рассматриваемых программных средств экспертизы ДТП представляют собой модель «черного ящика». Что сильно усложняет работу эксперта. Например, существуют различные случаи ДТП, когда эксперту необходимо применить нестандартную формулу расчета скорости ТС. Эксперт не может добавить новую формулу расчета в систему, так как она закрытая. В этом случае эксперту приходится производить расчет вручную, вследствие чего тратится больше времени на подготовку отчета, а также повышается вероятность совершения ошибки.

Таким образом, есть необходимость в разработке открытой системы экспертизы ДТП, которая бы позволяла эксперту вносить дополнительные формулы расчета в систему, а также изменять структуру системы для решения различных задач в области расследования и экспертизы ДТП.

1.2.6. Исследование сред для разработки ЭС по различным предметным областям

Данное исследование проводится с целью определения подходящей системы для разработки ЭС по предметной области анализа и экспертизы ДТП. Необходимо определиться универсальный инструментарий разработки ЭС, который будет отвечать главному требованию: универсальности разработки – возможность разрабатывать ЭС по разным предметным областям, где задача пользователя заключается не в программировании, а в формализации и вводе знаний с использованием предоставленных средой возможностей. Для этого проведен анализ оболочек для создания ЭС в различных предметных областях в работе [139]. В качестве объектов исследования были проанализированы такие среды разработки экспертных систем, как: Clips [102, 157, 162], Visual Prolog [2], Exsys Corvid [61, 109, 128-129, 144, 155], КЭСМИ (Wi!Mi) [21, 26, 129].

Было определено, что для построения большинства экспертных систем рекомендуется КЭСМИ (Wi!Mi). Аббревиатура КЭСМИ, расшифровывается как Конструктор Экспертных Систем Миварный. Отличительная черта данного программного обеспечения (ПО) от других в том, что оно, прежде всего, ориентировано на российский рынок, а также данная среда позволяет проводить структурный анализ корректности и полноты входных данных, и позволяет визуализировать в виде графовой структуры логический вывод, что является важным критерием выбора. Также главным отличием от других сред разработки ЭС, является то, что система КЭСМИ (Wi!Mi) имеет линейная сложность логического вывода и способна выполнять более 5 000 000 продукционных правил в секунду [13, 136, 153]. Данный программный продукт является универсальным, он позволяет разрабатывать ЭС по разным предметным областям. Важным аспектом выбора системы является доступность программного продукта, которая не зависит ни от каких внешних факторов, ведь рассматриваемый продукт является полностью отечественной разработкой. Стоит учесть, что КЭСМИ (Wi!Mi)

по сравнению с остальными программными продуктами гораздо легче в освоении и не требует наличия знаний программирования у разработчика ЭС.

В основе КЭСМИ (Wi!Mi) лежит подход к описанию и формализации любых типов знаний – миварный [36, 108, 113].

1.2.7. Анализ научных трудов, посвященных реконструкции и экспертизе ДТП

Проблематике реконструкции и экспертизе аварийных событий ДТП посвящено достаточно много научных трудов. Проведем общий аналитический обзор этой научной области.

В диссертационной работе [98] «Интеграция систем ситуационного, имитационного и экспертного моделирования» Филипповича А.Ю. представлено описание методики интеграции методов ситуационного, имитационного и экспертного моделирования, предназначенной для создания комплексной системы моделирования полиграфического ситуационного центра. Филиппович А.Ю. в своей работе рассматривает узконаправленную методику интеграции систем, направленную на моделирование полиграфического ситуационного центра. Не смотря на то, что в работе Филипповича А.Ю. рассматривается другая предметная область, его исследования в области интеграции систем ситуационного, имитационного и экспертного моделирования дали толчок к разработке методики объединения ЭС и СИМ для класса задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП. Предложенные методы Филипповичем А.Ю. не учитывают этапы верификации данных, а также рассчитаны на интеграцию ситуационного моделирования, что усложняет систему и увеличивает временные затраты на ее использование. Применяемые алгоритмы взаимодействия ЭС и СИМ, рассматриваются только на локальном уровне взаимодействия конкретных экспертных и имитационных моделей.

В данной диссертации исследуются взаимодействия ЭС и СИМ на глобальном уровне, то есть исследуется взаимодействие именно экспертной

системы и системы имитационного моделирования с использованием разных моделей на примере реконструкции аварийных событий ДТП. Методика объединения ЭС и СИМ, предложенная в данной диссертации учитывает этапы верификации вводимых данных, что позволяет снизить возникновение ошибок при расчете.

В диссертационной работе [93] «Разработка методики совершенствования автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий» Степиной П.А. представлено описание разработки методики совершенствования автотехнической экспертизы ДТП на основе получения более достоверной информации о скорости передвижения пешеходов, экспериментальных данных о замедлении ТС в процессе его торможения и автоматизации процесса производства автотехнических экспертиз ДТП, связанных с наездом на пешеходов и столкновением транспортных средств.

Степина П.А. предлагает систему «Road Expert Automation», которая представляет собой автоматизированное рабочее место эксперта-автотехника или другими словами СППР для эксперта. По своей сути программное обеспечение «Road Expert Automation» является ЭС. Система представляет собой модель «черного ящика», то есть эксперт не имеет доступа к изменению БЗ (нет возможности обучения системы – добавление новых правил (формул) и параметров). Этот фактор делает рассматриваемую систему не универсальной. Также система имеет ограниченное количество «сценариев» рассматриваемых ситуаций.

Предложенная ЭС «Анализ ДТП» в данной диссертации представляет собой модель «белого ящика», то есть эксперт имеет доступ к изменению БЗ (есть возможность обучения системы – добавление новых правил (формул) и параметров), что делает систему весьма гибкой. Таким образом, эксперт может добавлять в систему новые «сценарии» рассматриваемых ДТП.

Также были проведены обзорно-аналитические исследования диссертационных работ, исследующие методику обеспечения автотехнической экспертизы, учитывающей техническое состояние

автомобиля и дорожной среды [48], исследования возможности определения скорости столкновения автомобиля по деформации силовой структуры кузова [51], методы и средства, повышающие объективность расследования ДТП на основе автоматической регистрации параметров движения и управления автомобилем [41], метод анализа механизма ДТП, совершенных в условиях ограниченной обзорности [147], а также другие работы связанные с проблематикой экспертизы ДТП [40, 45, 47, 49-50].

Анализ показал, что в работах уделяется внимание разработке различных гибридных ЭС, созданных по типу «черный ящик», а не адаптивных ЭС по типу «белый ящик» для решения задач в области экспертизы ДТП. В работах не уделяется должного внимания проблематике реконструкций ДТП при помощи имитационного моделирования. Также нет качественных исследований взаимодействия ЭС и СИМ при решении задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП. Следовательно, решение таких задач, как разработка методики объединения ЭС и СИМ, разработка алгоритмов взаимодействия ЭС и СИМ, а также разработка моделей реконструкции и экспертизы ДТП и специального математического обеспечения в виде ЭС для анализа и экспертизы ДТП позволит решить проблему автоматизации принятия решений сотрудником экспертного центра при реконструкции и экспертизе аварийных событий ДТП.

1.3. Выводы первой главы

В первой главе диссертации проводится комплекс обзорно-аналитических исследований подходов, методов и систем, используемых для экспертного и имитационного моделирования [111, 126], а также проведен аналитический обзор научных трудов, посвященных реконструкции и экспертизе аварийных событий ДТП.

На основании рассмотренной литературы представлен ретроспективный анализ ЭС и ИМ, приведены требования к разрабатываемым экспертным системам и имитационным моделям, а также проанализированы основные преимущества и недостатки при использовании ЭС и ИМ в табличном виде. В первой главе приведена общая минимальная структура ЭС в виде схемы. Рассмотрены основные разновидности ИМ, такие как: численное моделирование, динамические системы, дискретно-событийное моделирование, системная динамика, агентное моделирование и ситуационное моделирование, а также в табличном виде представлены основные инструментарии для ИМ. В первой главе проведено исследование предметной области анализа и экспертизы ДТП. Рассмотрены понятие автотехнической экспертизы, проблематика анализа ДТП, процедура исследования ДТП с точки зрения эксперта и исследованы основные вопросы, на которые отвечает эксперт при судебной независимой экспертизе после ДТП, а также рассмотрены основные проблемы, с которыми сталкивается сотрудник ЭКЦ при анализе ДТП. Также исследованы существующие СИМ для реконструкции ДТП, установлено, что существует необходимость в разработке отечественной открытой системы анализа и экспертизы ДТП. Проведено исследование инструментальных сред для разработки ЭС по различным предметным областям, таких как Clips, Visual Prolog, Exsys Corvid, КЭСМИ (Wi!Mi). Исходя из проведенного анализа, выбран программный продукт КЭСМИ (Wi!Mi) для разработки ЭС анализа и экспертизы ДТП.

Проведенный анализ показывает, что существует проблема создания 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. Таким образом, необходимо решить следующие задачи, а именно разработать методику объединения экспертной системы, построенной на базе миварного подхода, и системы имитационного моделирования для решения класса задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП, а также исследовать и разработать алгоритмы взаимодействия экспертной системы, построенной на базе миварного подхода, и системы имитационного моделирования для решения класса задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП.

ГЛАВА 2. СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭС И СИМ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ЭКСПЕРТИЗЫ АВАРИЙНЫХ СОБЫТИЙ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

2.1. Постановка задач второй главы

Во второй главе решаются задачи разработки методики объединения экспертной системы, построенной на базе миварного подхода, и системы имитационного моделирования, а также разработки алгоритмов взаимодействия экспертной системы, построенной на базе миварного подхода, и системы имитационного моделирования для решения класса задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП.

Применение методики и алгоритмов совместной работы ЭС и СИМ при реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП необходимы для снижения трудоемкости процесса экспертизы, снижения количества ошибок при расчете, уменьшения затраченного времени на экспертизу, улучшения уровня достоверности и объективности экспертных исследований.

Новизна методики объединения ЭС и СИМ заключается в том, что используются ЭС, построенные на базе миварного подхода. Исследуем концепцию миварного подхода.

2.2. Концепция миварного подхода

Миварный подход – представляет собой универсальную систему моделирования, позволяющую эффективно использовать все преимущества и возможности существующих инструментов работы со знаниями, таких как онтологии, когнитивные карты, ER-моделей и семантические сети [13, 108]. Другими словами это продукционный подход [167-168] вида «IF...THEN...» с переходом к более сложной структуре правил с предусловиями, условиями, ограничениями, действиями и последствиями, что позволяет записывать все причинно-следственные отношения, включая и все возможные формы предикатов логическими выражениями [25, 15, 166]. Стоит отметить, что

использование миварного логического вывода с линейной вычислительной сложностью позволяет обрабатывать более 5 000 000 правил в секунду с минимальными аппаратными требованиями [13, 136, 153].

Сам акроним «МИВАР» означает «Многомерная Информационная Варьирующаяся Адаптивная Реальность». Он был предложен доктором технических наук Варламовым О.О. [22]. Миварный подход, базируется на эволюционных базах данных и знаний [22]. Важными достоинствами миварного подхода являются линейный матричный метод поиска логического вывода на адаптивной сети правил и эволюционное миварное пространство с возможностью параллельной обработки данных [13].

Миварное пространство представляет собой множество осей, множество элементов осей, множество точек пространства и множество значений точек [14]. Введем $A = \{a_n\}$, $n = 1..N$, где A – множество названий осей миварного пространства, N – количество осей миварного пространства. Тогда получим:

$$\forall a_n \exists F_n = \{ f_{n i_n} \}, n = 1..N, i_n = 1..I_n \quad (2.1)$$

где:

F_n – множество элементов оси a_n ;

i_n – идентификатор элемента множества F_n , $I_n = |F_n|$.

Множества F_n образуют многомерное пространство M [14]:

$$M = F_1 \cdot F_2 \cdot \dots \cdot F_n, \\ m = (i_1, i_2, \dots, i_N), m \in M \quad (2.2)$$

где:

m – точка многомерного пространства;

$(i_1, i_2, \dots, i_N)$ – координаты точки m .

Существует множество значений точек многомерного пространства M :

$$C_M = \{ c_{i_1, i_2, \dots, i_N} | i_1 = 1 \dots I_1, i_2 = 1 \dots I_2, \dots, i_n = 1 \dots I_N \} \quad (2.3)$$

где $c_{i_1, i_2, \dots, i_N}$ – значение точки многомерного пространства M с координатами $(i_1, i_2, \dots, i_N)$ [15]. Для каждой точки пространства M не существует или существует единственное значение из множества C_M . Тогда, C_M – множество

изменений состояний модели данных, представляемой в многомерном пространстве. Для перехода между многомерным пространством и множеством значений точек введено отношение μ :

$$C_x = \mu(M_x),$$

$$M_x \subseteq M, M_x = F_{1x} \cdot F_{2x} \cdot \dots \cdot F_{Nx}$$
(2.4)

Для описания модели данных в миварном информационном пространстве необходимо выделить три оси: ось отношений O , ось признаков (свойств) S и ось элементов (объектов) предметной области V (рисунок 2.1) [16]. Эти множества являются независимыми.

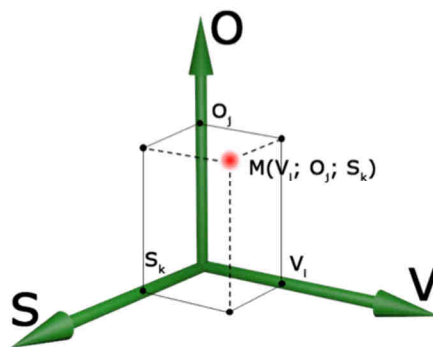


Рисунок 2.1. Миварное информационное пространство

Миварное пространство можно выразить кортежем следующего вида:

$$\langle V, S, O \rangle$$
(2.5)

В многомерном пространстве каждому значению атрибута отношения соответствует точка с определенными координатами [22]. Отношения связывают элементы пространства [19]. Множество всех точек многомерного пространства соответствует определенной модели данных [20]. При миварном подходе ее структура определяется точками пространства, которые хранят соответствующие значения атрибутов отношения.

Миварный подход является обобщением и развитием продукционного подхода, сетей Петри и других формализмов [13, 26], применяемых для логической обработки данных [18, 22].

Одним из базовых понятий миварного подхода является понятие миварной сети. Миварная сеть – это определенный способ представления в

виде двудольного ориентированного графа части информации миварного пространства, образуемой объектами и связями между ними, которые в совокупности представляют модель данных предметной области, при этом связи включают в себя правила для обработки объектов. Обобщенно говоря, миварная сеть обеспечивает формализацию и представление человеческих знаний в виде связанного многомерного пространства [22, 108].

На рисунке 2.2 представлена миварная сеть в виде двудольного ориентированного графа, где вершины первого типа (переменные) изображены кружочками, вершины второго типа (правила) изображены прямоугольниками, а ребра графа связывают их между собой [20, 22].

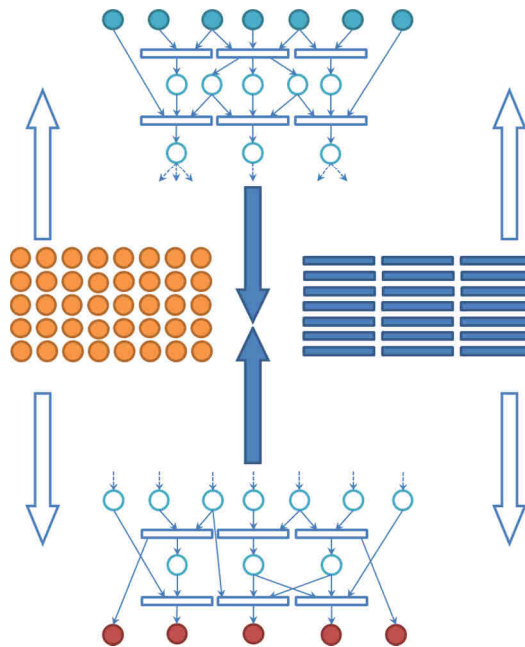


Рисунок 2.2. Представление миварной сети в виде двудольного ориентированного графа

Также миварная сеть графически может быть представлена в виде матрицы (рисунок 2.3) [20, 22, 167].

	1	2	3	4	5	...	N-2	N-1	N	N+1
1	X	X	X					Y	Y	
2			X	Y	Y			X	X	
...						...				
M		X		X	X		Y			
M+1		Z	Z			W	W			

Рисунок 2.3. Представление миварной сети в виде матрицы $M+1 \times N+1$

Рассмотрим рисунок 3.3 более подробно, где M – количество правил в описании задачи, а N – количество всех объектов, то есть переменных в правилах; X – входные переменные в конкретном правиле, а Y – выходные переменные в конкретном правиле соответственно; Z – признак известной переменной, а W – искомая переменная; $(N+1)$ – строка для признаков факта возможности запуска правила, когда известны все входные переменные и факта выполнения правила для исключения повторного запуска правила; $(M+1)$ – строка для признака известной переменной Z .

Матрица $M+1 \times N+1$ содержит описание конкретной предметной области, в которой по строкам расположены все правила, а по столбцам – все параметры. В начале решения задачи в матрице $M+1 \times N+1$ проставлены все значения X и Y , которые задают модель описания задачи. Далее проставляется признак Z в $(M+1)$ -ой строке для всех известных входных переменных, а W – для переменных, которые требуется найти [20, 22]. Поиск решения осуществляется по самому короткому пути.

Далее исследуем методику объединения ЭС (построенных на базе миварного подхода) и СИМ.

2.3. Методика объединения ЭС и СИМ

В рамках диссертационного исследования разработана новая методика объединения экспертной системы, построенной на базе миварного подхода, и системы имитационного моделирования [116-117, 125, 130, 132], представленная в виде схемы (рисунок 2.4).

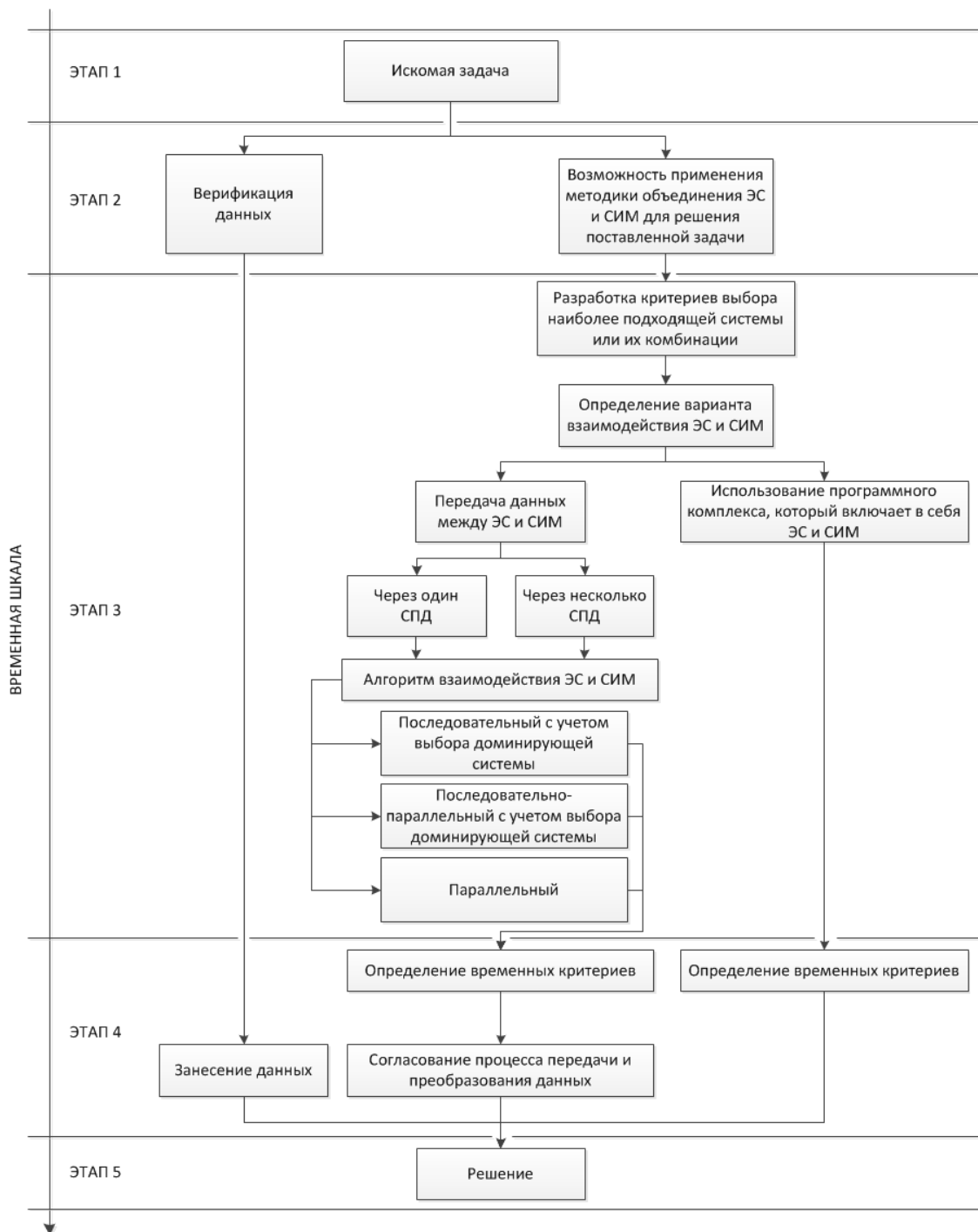


Рисунок 2.4. Методика объединения экспертной системы и системы имитационного моделирования

Рассмотрим, представленную на рисунке 2.1 схему более подробно.

- Этап 1. Постановка задачи или подзадачи экспертизы аварийного события.
- Этап 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. Эксперту необходимо самостоятельно определить, применима ли методика объединения ЭС и СИМ для решения его задачи или подзадач, а также он должен самостоятельно определить необходимую степень интеграции для решения поставленной задачи или подзадач. Также на втором этапе происходит проверка корректности и подлинности введенных данных для решения задачи – верификация данных.

- Этап 3. Разработка критериев выбора наиболее подходящей системы или их комбинации, а также определение вариантов и алгоритмов взаимодействия ЭС и СИМ. При объединении ЭС (построенной на базе миварного подхода) и СИМ необходимо определить какая из систем или их комбинация наиболее эффективно справляется с решением поставленной задачи. При объединении систем также могут быть использованы различные варианты взаимодействия, которые зависят от уровня автоматизации и выполняемых функций [97]. Рассматриваются такие варианты взаимодействия, как передача данных между ЭС и СИМ через один СПД (где СПД – это сервис передачи данных) или через несколько СПД, а также использование единого программного комплекса, который уже включает в себя модули ЭС и СИМ. Стоит отметить, что варианты взаимодействия влияют на время решения поставленной задачи. При передачи данных между ЭС и СИМ через один СПД или через несколько СПД используются алгоритмы взаимодействия ЭС и СИМ, такие как: последовательный алгоритм взаимодействия с учетом выбора доминирующей системы, последовательно-параллельный алгоритм взаимодействия с учетом выбора доминирующей системы и параллельный алгоритм взаимодействия. Выбор алгоритма взаимодействия ЭС и СИМ осуществляет специалист в зависимости от поставленной задачи.

- Этап 4. Определение временных критериев для выбранного варианта взаимодействия ЭС и СИМ, то есть оценка временных затрат на решение поставленной задачи. А также стоит учесть, что в случае использования

варианта взаимодействия передачи данных между ЭС и СИМ через один СПД или через несколько СПД необходимо согласовать процесс передачи и преобразования данных. Также на четвертом этапе происходит занесение данных в системы.

- Этап 5. Получение конечного результата.

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.

$$R_{\partial}^m = \Sigma_r(K^z), \text{ где } \partial = \begin{cases} A \\ BC \\ D \end{cases}, m = \begin{cases} S \\ P \end{cases}. \quad (2.6)$$

Здесь: A – вид взаимодействия через один СПД; BC – вид взаимодействия через несколько СПД; 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.

Рассмотрим 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.

Таким образом, получим минимальное затраченное время на решение задачи с использованием объединения ЭС и СИМ, t_{res} :

$$t_{res} = \min(\Sigma t_A, \Sigma t_{BC}, \Sigma t_D) \quad (2.7)$$

Формула варианта взаимодействия, реализующего минимальное затраченное время, будет следующего вида:

$$R_{res} = R_{\partial}^m(t_{res}) = t^{-1}(t_{res}) \quad (2.8)$$

2.4. Подходы объединения ЭС и СИМ

Существует два подхода объединения ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ [97, 117]: взаимодополняющий и взаимозаменяющий. В первом случае ЭС и СИМ выполняют абсолютно различные функции, которые необходимы для решения общей, глобальной задачи. При использовании этого подхода вопрос выбора одной из систем не возникает. Но стоит отметить, что существует множество вариантов взаимодействия, которые оказывают влияние на передачу данных, а также на совместную работу систем.

Суть второго подхода заключается в том, что ЭС и СИМ могут решать одни и те же задачи, но при этом для них необходимо разработать соответствующие критерии выбора. Выделим основные критерии выбора:

- Важность поставленной задачи.
- Точность решения поставленной задачи.
- Детальность предоставляемого решения.
- Затраченное время на решение поставленной задачи.

Выведем формулу качественной оценки поставленной задачи, учитывая критерии выбора:

$$\omega = k_I \cdot I + k_E \cdot E + k_D \cdot D + k_V \cdot V, \quad (2.9)$$

где:

ω – качественная оценка поставленной задачи;

k_I – коэффициент важности поставленной задачи;

I – критерий важности поставленной задачи;

k_E – коэффициент точности решения поставленной задачи;

E – критерий точности решения поставленной задачи;

k_D – коэффициент детальности предоставляемого решения;

D – критерий детальности предоставляемого решения;

k_V – коэффициент иных (дополнительных) критериев;

V – иные (дополнительные) критерии.

2.5. Варианты взаимодействия ЭС и СИМ

Взаимодействие между ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ может быть различным в зависимости от поставленных задач, необходимости использования существующих программных продуктов, наличии специалистов, специальных сервисов обработки данных, параметров технических средств и возможности передачи информации. Стоит понимать, что на глобальном уровне идет объединение систем – ЭС и СИМ, а на локальном уровне уже объединение экспертных и имитационных моделей.

Исследуем такие варианты взаимодействия ЭС и СИМ, как передача данных между ЭС и СИМ через один СПД и через несколько СПД, использование единого программного комплекса, который уже включает в себя модули ЭС и СИМ. Стоит отметить, что роль СПД также может исполнять соответствующее должностное лицо.

2.5.1. Передача данных между ЭС и СИМ через один СПД

На рисунке 2.5 представлена ситуация передачи данных между ЭС и СИМ через один СПД. Этот вариант взаимодействия предполагает наличие двух отдельных ЭВМ (на каждой из которых будет отдельно установлена ЭС и СИМ) или одной ЭВМ (на которой будет установлена ЭС и СИМ) и одного СПД, который является адаптированным под рассматриваемую ЭС и СИМ.



Рисунок 2.5. Передача данных между ЭС и СИМ через один СПД

Рассмотрим, представленную на рисунке 2.2 схему более подробно, где:

- 1 – это поток, который является односторонним процессом заполнением данных;

- 2 – это поток, который является двусторонним процессом передачи данных;

- А – это сервис передачи данных (СПД), который является адаптированным под рассматриваемую ЭС и СИМ.

Рассмотрим частные временные затраты на передачу данных между ЭС и СИМ через один СПД Σt_A :

$$\Sigma t_A = k_{1_exp} \cdot t_{1_exp} + k_{2_exp} \cdot t_{2_exp} \cdot n_{exp} + k_{1_sim} \cdot t_{1_sim} + k_{2_sim} \cdot t_{2_sim} \cdot n_{sim}, \quad (2.10)$$

где:

k_{1_exp} – коэффициент задержки при передаче данных в ЭС, учитывая односторонний процесс заполнения данными;

t_{1_exp} – время, затраченное на передачу данных в ЭС, учитывая односторонний процесс заполнения данными;

k_{2_exp} – коэффициент задержки при передаче данных в ЭС, учитывая двусторонний процесс передачи данных;

t_{2_exp} – время, затраченное на передачу данных в ЭС, учитывая двусторонний процесс передачи данных;

n_{exp} – количество запросов между ЭС и СПД (А);

k_{1_sim} – коэффициент задержки при передаче данных в СИМ, учитывая односторонний процесс заполнения данными;

t_{1_sim} – время, затраченное на передачу данных в СИМ, учитывая односторонний процесс заполнения данными;

k_{2_sim} – коэффициент задержки при передаче данных в СИМ, учитывая двусторонний процесс передачи данных;

t_{2_sim} – время, затраченное на передачу данных в СИМ, учитывая двусторонний процесс передачи данных;

n_{sim} – количество запросов между СИМ и СПД (А).

2.5.2. Передача данных между ЭС и СИМ через несколько СПД

На рисунке 2.6 представлена ситуация передачи данных между ЭС и СИМ через несколько СПД. Этот вариант взаимодействия предполагает наличие двух отдельных ЭВМ (на каждой из которых будет отдельно установлена ЭС и СИМ) или одной ЭВМ (на которой будет установлена ЭС и СИМ) и наличие нескольких СПД, которые будут являться сервисами по отдельности адаптированными под рассматриваемую ЭС и СИМ соответственно.

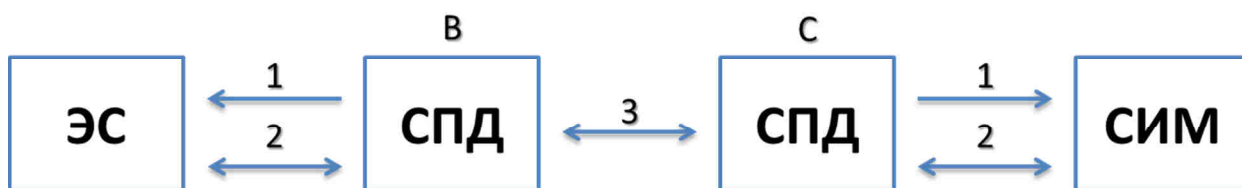


Рисунок 2.6. Передача данных между ЭС и СИМ через несколько СПД

Рассмотрим, представленную на рисунке 2.3 схему более подробно, где:

- 1 – это поток, который является односторонним процессом заполнением данных;
- 2 и 3 – это потоки, которые являются двусторонними процессами передачи данных;
- В – это сервис передачи данных (СПД), который является адаптированным под рассматриваемую ЭС;
- С – это сервис передачи данных (СПД), который является адаптированным под рассматриваемую СИМ.

Рассмотрим частные временные затраты на передачу данных между ЭС и СИМ через несколько СПД $\sum t_{BC}$:

$$\sum t_{BC} = k_{1_exp} \cdot t_{1_exp} + k_{2_exp} \cdot t_{2_exp} \cdot n_{exp} + k_3 \cdot t_3 \cdot n_3 + k_{1_sim} \cdot t_{1_sim} + k_{2_sim} \cdot t_{2_sim} \cdot n_{sim}, \quad (2.11)$$

где:

k_{1_exp} – коэффициент задержки при передаче данных в ЭС, учитывая односторонний процесс заполнения данными;

t_{1_exp} – время, затраченное на передачу данных в ЭС, учитывая односторонний процесс заполнения данными;

k_{2_exp} – коэффициент задержки при передаче данных в ЭС, учитывая двусторонний процесс передачи данных;

t_{2_exp} – время, затраченное на передачу данных в ЭС, учитывая двусторонний процесс передачи данных;

n_{exp} – количество запросов между ЭС и СПД (В);

k_3 – коэффициент задержки при передаче данных между СПД (В) и СПД (С);

t_3 – время, затраченное на передачу данных между СПД (В) и СПД (С);

n_3 – количество запросов между СПД (В) и СПД (С);

k_{1_sim} – коэффициент задержки при передаче данных в СИМ, учитывая односторонний процесс заполнения данными;

t_{1_sim} – время, затраченное на передачу данных в СИМ, учитывая односторонний процесс заполнения данными;

k_{2_sim} – коэффициент задержки при передаче данных в СИМ, учитывая двусторонний процесс передачи данных;

t_{2_sim} – время, затраченное на передачу данных в СИМ, учитывая двусторонний процесс передачи данных;

n_{sim} – количество запросов между СИМ и СПД (С).

2.5.3. Передача данных между пользователем и программным комплексом СЭИМ

На рисунке 2.7 представлена ситуация ввода данных пользователем в единый программный комплекс, который включает в себе ЭС и СИМ. Этот вариант взаимодействия предполагает наличие одной ЭВМ, на которой будет установлен программный комплекс СЭИМ (система экспертно-имитационного моделирования) и одного пользователя, который не является экспертом в области, рассматриваемой ЭС и СИМ.



Рисунок 2.7. Передача данных между пользователем и программным комплексом СЭИМ

Рассмотрим, представленную на рисунке 2.4 схему более подробно, где:

- 1 – это поток, который является односторонним процессом заполнением данных;
- 2 – это поток, который является двусторонним процессом передачи данных;
- D – это пользователь, который не является экспертом в области, рассматриваемой ЭС и СИМ.

Рассмотрим частные временные затраты на ввод данных пользователем в единый программный комплекс СЭИМ Σt_D :

$$\Sigma t_D = k_1 \cdot t_1 + k_2 \cdot t_2 \cdot n_{ExpSim} , \quad (2.12)$$

где:

k_1 – коэффициент задержки при передаче данных между пользователем (D) и программным комплексом СЭИМ;

t_1 – время, затраченное на передачу данных в программный комплекс СЭИМ, учитывая односторонний процесс заполнения данными;

k_2 – коэффициент задержки при передаче данных в программный комплекс СЭИМ, учитывая двусторонний процесс передачи данных;

t_2 – время, затраченное на передачу данных в программный комплекс СЭИМ, учитывая двусторонний процесс передачи данных;

n_{ExpSim} – количество запросов между пользователем (D) и программным комплексом СЭИМ.

2.6. Алгоритмы взаимодействия ЭС и СИМ

Рассмотрим общие алгоритмы взаимодействия ЭС (построенной на базе миварного подхода) и СИМ, такие как: последовательный алгоритм взаимодействия с учетом выбора доминирующей системы, последовательно-параллельный алгоритм взаимодействия с учетом выбора доминирующей системы и параллельный алгоритм взаимодействия [110]. Существует класс задач, когда одна из систем, либо ЭС, либо СИМ является доминирующей во временном использовании, поэтому в рассматриваемых алгоритмах учитывается выбор доминирующей системы. Стоит отметить, что выбор такой системы осуществляет сам специалист в зависимости от поставленной задачи.

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.

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

На рисунке 2.8 представлен последовательный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы.

Специалисту необходимо определить какая система будет доминирующей в решении поставленной задачи. Далее выполняется набор соответствующих инструкций, учитывающий главенствующее положение ЭС над СИМ или наоборот – СИМ над ЭС. Стоит отметить, что в рассматриваемом алгоритме все основные действия происходят последовательно. С начала происходит запуск доминирующей системы или первостепенной системы (ЭС или СИМ), а далее ее завершение и запуск второстепенной системы (ЭС или СИМ), получение конечного результата и выход из второстепенной системы (ЭС или СИМ).

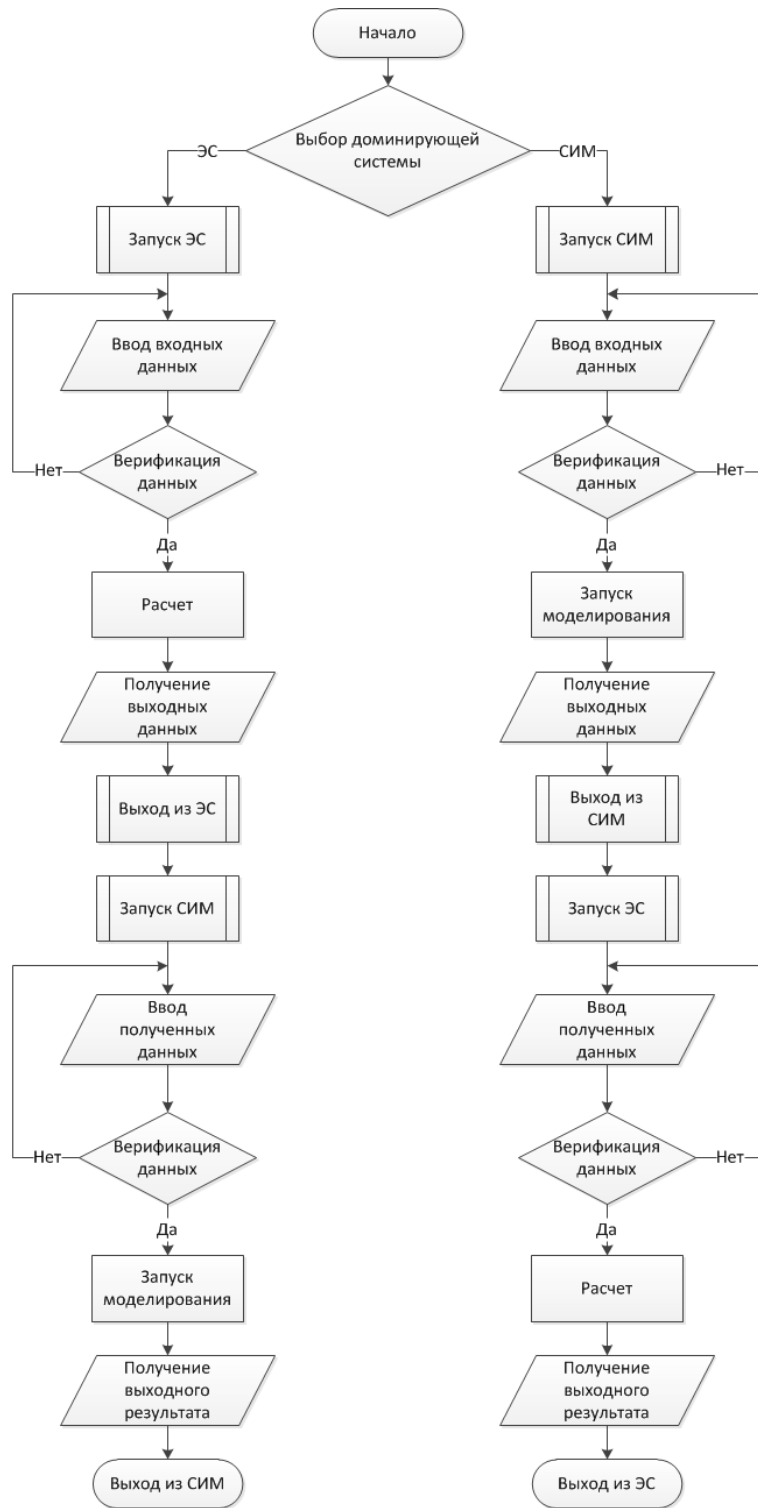


Рисунок 2.8. Последовательный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы

Суммарное время, затраченное на выполнение последовательного алгоритма t_{SE} , составит:

$$t_{SE} = t_{dom} + \sum_{i=1}^m t_{ver_exp\ i} + \sum_{j=1}^n t_{ver_sim\ j} + t_{op} + t_{in_exp} + t_{in_sim} + t_{out_exp} + t_{out_sim}, \quad (2.13)$$

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.

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

На рисунке 2.9 представлен последовательно-параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы. Так же как и в последовательном алгоритме взаимодействия ЭС и СИМ, специалисту необходимо определить доминирующую систему в зависимости от класса поставленной задачи. Стоит отметить, что в рассматриваемом алгоритме во время работы доминирующей системы или первостепенной (ЭС или СИМ) осуществляется запуск второстепенной (ЭС или СИМ), не выходя из первостепенной системы (ЭС или СИМ).

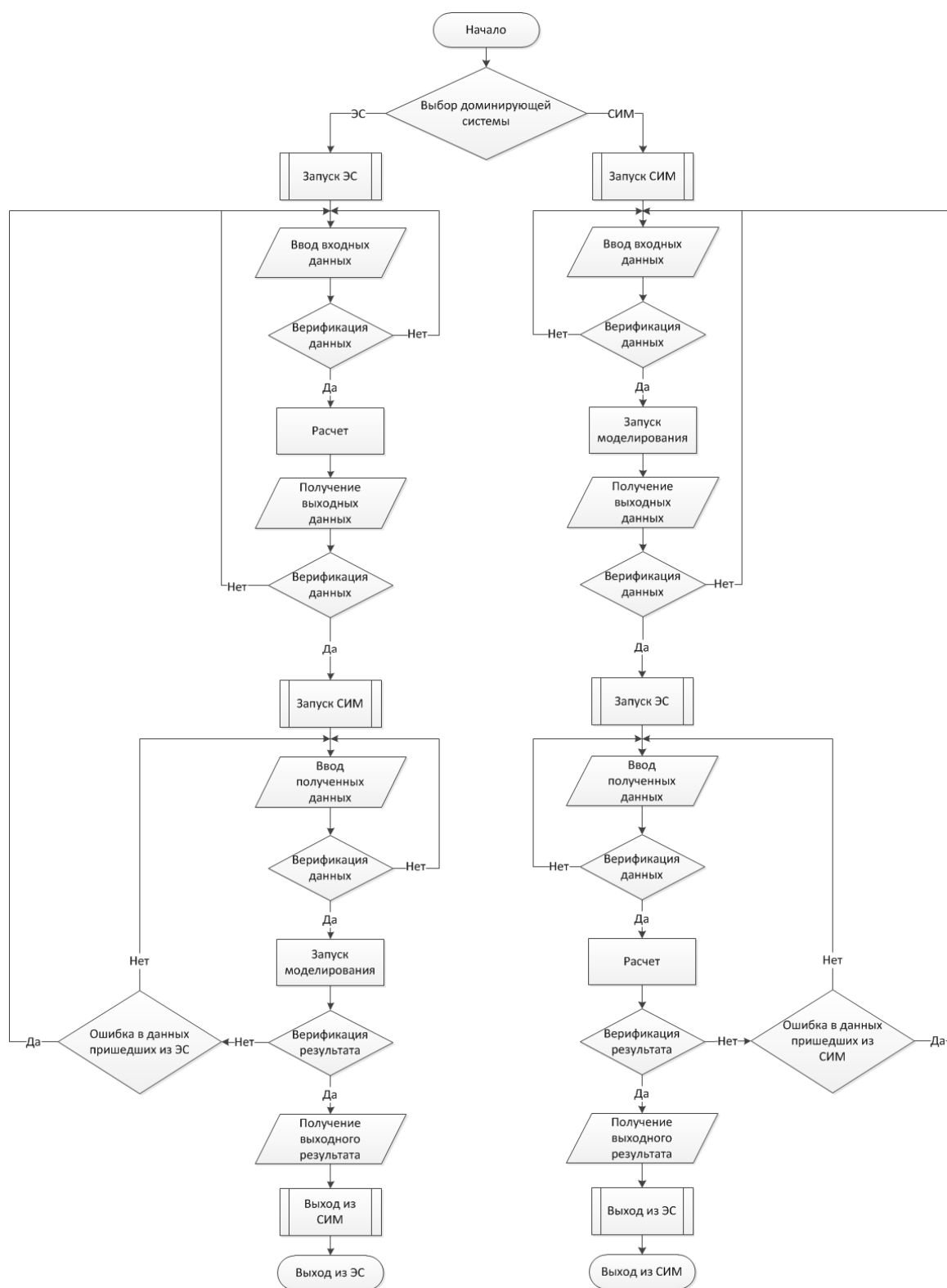


Рисунок 2.9. Последовательно-параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы

Суммарное время, затраченное на выполнение последовательно-параллельного алгоритма t_{SE_PAR} при выборе доминирующей системы ЭС:

$$\begin{aligned}
t_{SE_PAR} = & t_{dom} + t_{in_exp} + \\
& + \sum_{k=1}^s \left[\sum_{j=1}^{n_{exp_k}} \left(\sum_{i=1}^{m_{exp_jk}} (t_{op_exp\ 1_{ijk}} + t_{ver_exp\ 1_{ijk}}) + t_{op_exp\ 2_{jk}} + t_{ver_exp\ 2_{jk}} \right) + \right. \\
& \left. + t_{in_sim_k} + \sum_{j=1}^{n_{sim_k}} \left(\sum_{i=1}^{m_{sim_jk}} (t_{op_sim\ 1_{ijk}} + t_{ver_sim\ 1_{ijk}}) + t_{op_sim\ 2_{jk}} + t_{ver_sim\ 2_{jk}} \right) \right] + (2.14) \\
& + t_{op} + t_{out_exp} + t_{out_sim} ,
\end{aligned}$$

Суммарное время, затраченное на выполнение последовательно-параллельного алгоритма t_{SE_PAR} при выборе доминирующей системы СИМ:

$$\begin{aligned}
t_{SE_PAR} = & t_{dom} + t_{in_sim} + \\
& + \sum_{k=1}^s \left[\sum_{j=1}^{n_{exp_k}} \left(\sum_{i=1}^{m_{exp_jk}} (t_{op_exp\ 1_{ijk}} + t_{ver_exp\ 1_{ijk}}) + t_{op_exp\ 2_{jk}} + t_{ver_exp\ 2_{jk}} \right) + \right. \\
& \left. + t_{in_exp_k} + \sum_{j=1}^{n_{sim_k}} \left(\sum_{i=1}^{m_{sim_jk}} (t_{op_sim\ 1_{ijk}} + t_{ver_sim\ 1_{ijk}}) + t_{op_sim\ 2_{jk}} + t_{ver_sim\ 2_{jk}} \right) \right] + (2.15) \\
& + t_{op} + t_{out_exp} + t_{out_sim} ,
\end{aligned}$$

где:

t_{dom} – время, затраченное на выбор доминирующей системы;

t_{in_exp} , t_{in_sim} – время, затраченное на запуск ЭС или СИМ;

$t_{op_exp\ 1_{ijk}}$, $t_{op_sim\ 1_{ijk}}$, $t_{op_exp\ 2_{jk}}$, $t_{op_sim\ 2_{jk}}$ – суммарное время, затраченное на i -ый, j -ый, k -ый номер операции расчета введенных (1) и полученных (2) данных ЭС или СИМ соответственно;

$t_{ver_exp\ 1_{ijk}}$, $t_{ver_sim\ 1_{ijk}}$, $t_{ver_exp\ 2_{jk}}$, $t_{ver_sim\ 2_{jk}}$ – суммарное время, затраченное на верификацию введенных (1) и полученных (2) данных i -ого, j -ого, k -ого номера операции ЭС или СИМ соответственно;

$t_{in_sim_k}$, $t_{in_exp_k}$ – суммарное время, затраченное на запуск СИМ или ЭС k -ый раз соответственно;

t_{op} – суммарное время, затраченное на операции расчета ЭС и СИМ;

t_{out_exp} , t_{out_sim} – время, затраченное на выход из ЭС или СИМ соответственно;

i, j – номер операции ЭС и СИМ соответственно;

m, n – количество операций ЭС и СИМ соответственно;
 k – номер операции проверки ошибок ЭС и СИМ;
 s – количество операций проверки ошибок ЭС и СИМ.

2.6.3. Параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ

На рисунке 2.10 представлен параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ. В данном алгоритме нет необходимости в определении доминирующей системы. Так как ЭС и СИМ работают вместе и при нехватке данных обращаются друг к другу.

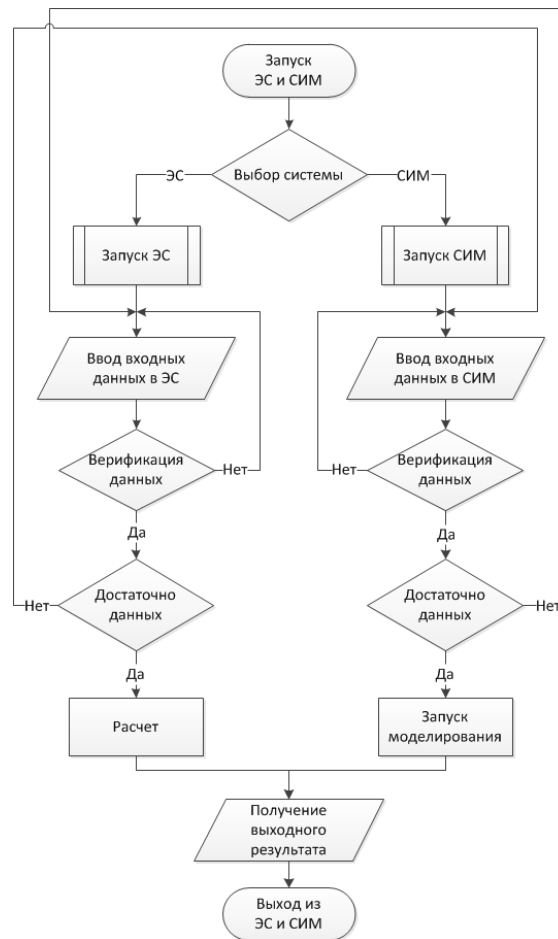


Рисунок 2.10. Параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ

Суммарное время, затраченное на выполнение параллельного алгоритма

t_{PAR} , составит:

$$t_{PAR} = t_{sel} + \sum_{i=1}^m \left[\sum_{j=1}^{n_i} (t_{op_{ji}} + t_{ver_{ji}}) + t_{op_i} \right] + t_{op} + t_{in_out}, \quad (2.16)$$

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_{op} – суммарное время, затраченное на операции расчета ЭС и СИМ;

t_{in_out} – суммарное время, затраченное на запуск и выход из ЭС и СИМ;

i, j – номер операции ЭС и СИМ соответственно;

m – количество обращений к ЭС или СИМ соответственно;

n – количество операций ЭС и СИМ соответственно.

2.7. Способы передачи информации между ЭС и СИМ

Способы передачи информации между ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ являются важным этапом в решении поставленной задачи. Одно из важнейших условий передачи информации между двумя системами является нахождение «точек соприкосновения», то есть нахождение таких элементов, которые встречаются в обеих системах. Определим основные виды передачи информации между ЭС и СИМ:

- Параметрическая передача информации, которая осуществляется путем четко заданных параметров или констант.
- Событийная передача информации, которая осуществляется при изменении параметров объектов или значений переменных в определенный момент времени.
- Статистическая передача информации, которая отражается в параметрах объектов или в значениях переменных для различных временных интервалов.

- Повествование – как вид передачи информации, которая передается путем описания ситуации экспертом и занесением им подходящих параметров или констант в систему.

2.8. Модели совместимости ЭС и СИМ

Исследуем модели совместимости ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ. Множество параметров ЭС обозначим $P_{\text{exp}} = \{P_{\text{exp } 1}, P_{\text{exp } 2}, \dots, P_{\text{exp } n}\}$. Множество P_{exp} содержит множество входных и выходных параметров ЭС $P_{\text{exp}}^{\text{in}}$ и $P_{\text{exp}}^{\text{out}}$ соответственно. Другими словами, выполняется следующее соотношение $P_{\text{exp}}^{\text{in}} \subseteq P_{\text{exp}}$, $P_{\text{exp}}^{\text{out}} \subseteq P_{\text{exp}}$. Аналогично, множество $P_{\text{sim}} = \{P_{\text{sim } 1}, P_{\text{sim } 2}, \dots, P_{\text{sim } m}\}$ соответствует параметрам СИМ и $P_{\text{sim}}^{\text{in}} \subseteq P_{\text{sim}}$, $P_{\text{sim}}^{\text{out}} \subseteq P_{\text{sim}}$, где $P_{\text{sim}}^{\text{in}}$ и $P_{\text{sim}}^{\text{out}}$ являются множествами входных и выходных параметров СИМ. Существует три типа моделей совместимости ЭС и СИМ:

1) При доминирующей ЭС, получаем прямую модель: $P_{\text{exp}}^{\text{out}} \rightarrow P_{\text{sim}}^{\text{in}}$, то есть выходные данные ЭС $P_{\text{exp}}^{\text{out}}$ являются входными данными СИМ. Такая модель совместимости применяется, когда для получения результирующих выходных параметров СИМ $P_{\text{sim}}^{\text{out}}$ необходим полный перебор всех возможных ситуаций. ЭС позволяет получить наиболее достоверный набор входных параметров для СИМ без полного перебора. Обозначим множество прямых моделей через $M_{\text{exp} \rightarrow \text{sim}}$.

2) При доминирующей СИМ, получаем обратную модель: $P_{\text{sim}}^{\text{out}} \rightarrow P_{\text{exp}}^{\text{in}}$, то есть выходные данные СИМ $P_{\text{sim}}^{\text{out}}$ являются входными данными ЭС. Такая модель совместимости является обратной, она применяется, когда существует неопределенность в входных параметрах ЭС $P_{\text{exp}}^{\text{in}}$. Для минимизации этой неопределенности происходит процесс имитации ДТП путем прогонов СИМ, пока не будет получено оптимальное значение.

Обозначим функцию имитации ДТП через $SIM: P_{sim}^{in} \rightarrow img$, здесь на вход функции подаются входные параметры СИМ P_{sim}^{in} , а на выходе получается изображение реконструкции $img \rightarrow SIM(P_{sim}^{in})$, соответствующее ДТП. Изображения ДТП образуют метрическое пространство с метрикой $p(img_1, img_2)$, отвечающей различию двух изображений реконструкции. После имитации ДТП эксперт сравнивает полученное изображение реконструкции img из СИМ с реальным изображением ДТП $real_img$. Задача заключается в подборе таких оптимальных параметров P_{sim}^{in} , чтобы минимизировать функцию различия реального изображения ДТП и полученного:

$$P_{sim}^{in} = \arg \min_{P_{sim}^{in}} (SIM(P_{sim}^{in}), real_img). \quad (2.17)$$

По полученным оптимальным параметрам СИМ вычисляется набор выходных параметров P_{exp}^{out} (например, тормозной путь, начальная скорость ТС и так далее), которые далее подаются на вход ЭС $P_{sim}^{out} \rightarrow P_{exp}^{in}$. Обозначим множество обратных моделей через $M_{exp \leftarrow sim}$.

3) При равнозначном отношении ЭС и СИМ, получаем равнозначную модель: $P_{exp} \leftrightarrow P_{sim}$, то есть при нехватке параметров ЭС обращается к СИМ в противном случае – СИМ обращается к ЭС. В этом случае модель является совмещенной, то есть:

$$[P_{exp} \leftrightarrow P_{sim}] \in M_{exp \rightarrow sim} \cap M_{exp \leftarrow sim}. \quad (2.18)$$

Так как обратная модель $P_{sim}^{out} \rightarrow P_{exp}^{in}$ сложнее в реализации, а также на ее выполнение тратится больше временных затрат из-за необходимости многочисленного прогона СИМ для получения оптимальных параметров системы, таким образом, рекомендуется использовать в большинстве случаев прямую модель $P_{exp}^{out} \rightarrow P_{sim}^{in}$. Равнозначная модель используется редко $P_{exp} \leftrightarrow P_{sim}$, она является самой сложной моделью совместимости, так как совмещает в себе подходы прямой и обратной модели (2.17). К прямой и обратной модели применимы алгоритмы взаимодействия ЭС и СИМ – последовательный алгоритм с учетом выбора доминирующей системы и

последовательно-параллельный с учетом выбора доминирующей системы. А к равнозначной модели применим параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ соответственно.

2.9. Алгоритм проверки совместимости ЭС и СИМ

На рисунке 2.11 представлен алгоритм проверки совместимости ЭС (построенной на базе миварного подхода) и СИМ. Если ЭС соответствует заданной предметной области и сочетается с СИМ, то получаем соответствующий результат: ЭС и СИМ совместимы для решения поставленной задачи.

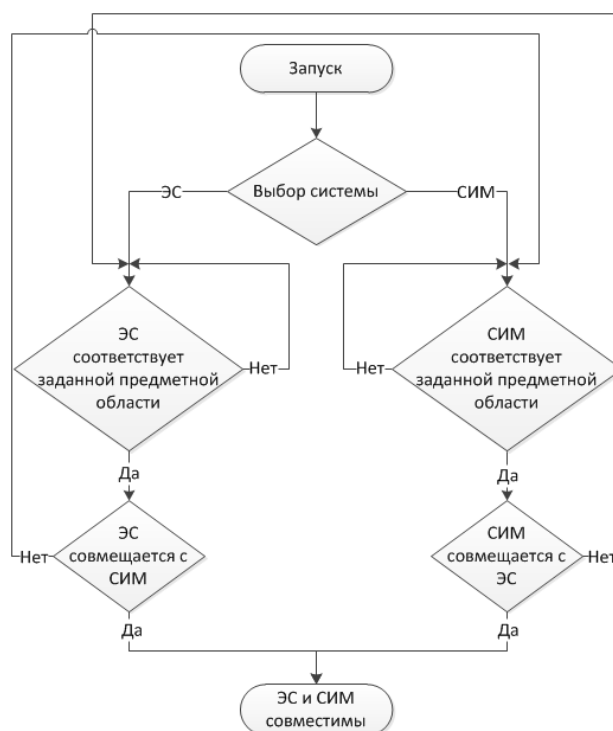


Рисунок 2.11. Алгоритм проверки совместимости ЭС и СИМ

На этапе совмещения ЭС и СИМ необходимо выделить критерии выбора, такие как: соответствие ЭС и СИМ заданной предметной области (анализ и экспертиза ДТП); соответствие ЭС и СИМ заданной задачи; возможность передачи данных между ЭС и СИМ.

2.10. Универсальность методики объединения ЭС и СИМ

В третьей главе диссертации, в качестве примера объединения ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ [119-120, 132, 135] рассматривается проблематика анализа дорожно-транспортных происшествий. Однако стоит отметить, что универсальность методики объединения ЭС (построенной на базе миварного подхода) и СИМ заключается в том, что ее можно использовать в других предметных областях. Например, в работах [24, 28, 39, 140] исследуется перспектива использования методики объединения ЭС (построенной на базе миварного подхода) и СИМ в робототехнике. В работах [118, 122, 124, 131, 161] описывается перспектива применения методики в следственной деятельности, а также в статье [118] рассматривается перспектива использования в анализе поведения толпы, а в работе [134, 141] описывается перспектива использования в оптимизации городского пассажирского транспорта.

2.11. Выводы второй главы

Во второй главе решены задачи – разработана методика объединения экспертной системы, построенной на базе миварного подхода, и системы имитационного моделирования для решения класса задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП, а также исследованы и разработаны алгоритмы взаимодействия экспертной системы, построенной на базе миварного подхода, и системы имитационного моделирования для решения класса задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП. Во второй главе представлены следующие новые научные результаты: 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.

В частности, во второй главе исследуется концепция миварного подхода, которая позволила разработать методику объединения ЭС, построенной на базе миварного подхода, и соответствующей СИМ. Выделяется два подхода объединения ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ – взаимодополняющий и взаимозаменяющий. Исследованы три варианта взаимодействия ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ, такие как: передача данных между ЭС и СИМ через один СПД, передача данных между ЭС и СИМ через несколько СПД и передача данных между пользователем и единым программным комплексом СЭИМ. Так же в рамках второй главы рассмотрены общие алгоритмы взаимодействия ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ, такие как: последовательный алгоритм взаимодействия с учетом выбора доминирующей системы, последовательно-параллельный алгоритм

взаимодействия с учетом выбора доминирующей системы и параллельный алгоритм взаимодействия. Определены основные виды передачи информации между ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ, исследованы модели совместимости ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ, такие как: прямая, обратная и равнозначная. Рассмотрен алгоритм проверки совместимости ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ, а также представлены аспекты универсальности методики объединения ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ.

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.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ, АЛГОРИТМОВ И СПЕЦИАЛЬНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО АНАЛИЗУ И ЭКСПЕРТИЗЕ ДТП

3.1. Постановка задачи третьей главы

В третьей главе решается задача разработки 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. Стоит отметить, что разрабатывается глобальная модель реконструкции и экспертизы ДТП в формализме БЗ двудольных ориентированных миварных сетей, включающая в себя множество локальных моделей реконструкции и экспертизы ДТП. Под «глобальной» моделью будем понимать общую модель БЗ, а под «локальной» моделью будем понимать частную модель БЗ, которая была сформирована для решения конкретной задачи из элементов (параметров и правил) глобальной модели.

Ранее в работе была предложена система КЭСМИ (Wi!Mi) для конструирования специального математического обеспечения по анализу и экспертизе ДТП в виде ЭС. Система КЭСМИ (Wi!Mi) базируется на миварном походе, который является математическим инструментом.

Стоит отметить, что ЭС по предметной области анализа и экспертизы ДТП на основе миварного подхода не создавалось. Таким образом, ЭС «Анализ ДТП» является принципиально новой. Опираясь на концепции, заложенные в миварный подход, формализуем знания по предметной области анализа и экспертизы ДТП для дальнейшей разработки модели БЗ экспертной системы «Анализ ДТП».

3.2. Разработка специального математического обеспечения: ЭС «Анализ ДТП»

Разработка специального математического обеспечения: ЭС «Анализ ДТП» состоит из 6 основных этапов:

1. Формализация знаний для прототипа ЭС «Анализ ДТП».
2. Разработка глобальной модели реконструкции и экспертизы ДТП в формализме БЗ двудольных ориентированных миварных сетей.
3. Создание структуры алгоритма работы ЭС «Анализ ДТП».
4. Создание методики генерации интерфейса для ЭС.
5. Описание ЭС «Анализ ДТП».
6. Проверка корректности работы ЭС «Анализ ДТП».

3.2.1. Формализация знаний для прототипа ЭС «Анализ ДТП»

Формализация знаний – это разработка в своем роде БЗ на языке представления знаний, который, с одной стороны, соответствует структуре поля знаний, а с другой – позволяет реализовать прототип системы на стадии программной реализации.

Использовались следующие источники для создания БЗ экспертной системы «Анализ ДТП» [63, 65]:

- Назарко С.А. Исследование столкновений автомобилей на перекрестке. Методические указания к курсовой работе по дисциплинам «Экспертиза ДТП» и «Расследование и экспертиза ДТП».
- Задания для контрольных работ по учебной дисциплине «Основы управления и безопасность дорожного движения».

БЗ экспертной системы «Анализ ДТП» [112] разрабатывается по следующей структуре:

1. Тормозные качества автомобиля (Таблица П.1.1).
2. Скорость автомобиля (Таблица П.1.5).

3. Случаи скольжения автомобиля при торможении (Таблица П.1.13).

4. Движение автомобиля на криволинейных участках дороги (Таблица П.1.14).

5. Наезд на пешехода при равномерном движении и неограниченной видимости (Таблица П.1.16).

Данные занесенные в БЗ представлены в Приложении №1. Представленная структура является базисной. Предполагается, что эксперт будет наращивать БЗ самостоятельно, то есть добавлять новые знания в БЗ по мере необходимости.

В таблице П.1.2 представлены коэффициенты сцепления шин с различными дорожными покрытиями. В таблице П.1.3 представлены значения поправочного коэффициент эффективности торможения ($K_{\text{э}}$) при наличии следов юза. В таблице П.1.4 представлены дополнительные значения коэффициентов сцепления шин с поверхностью. Все представленные параметры и характеристики занесены в БЗ.

В таблице П.1.6 представлены коэффициенты эффективности тормозов η . В таблице П.1.7 представлено среднее значение коэффициента сопротивления качению ϕ при нормальном давлении воздуха в шинах. В таблице П.1.8 представлена зависимость степени травмирования от изменения скорости при столкновении. В таблице П.1.9 представлены характеристики повреждения легковых автомобилей при столкновении в зависимости от приведенной скорости V . Соответственно в таблице П.1.10 представлены характеристики повреждения автобусов и грузовых автомобилей при столкновении в зависимости от приведенной скорости V . Все представленные параметры и характеристики занесены в БЗ.

Значение установившегося замедления j_{max} , m/c^2 ТС, производство которых начато после 1 августа 1981 года, в зависимости от их нагрузки и коэффициента сцепления шин с дорогой представлено в таблице П.1.11.

Зависимость значений времени запаздывания срабатывания тормозной системы t_2 и t_3 времени нарастания замедления автомобильного транспортного средства (АТС), производство которых начато после 1 августа 1981 года, в зависимости от их нагрузки и коэффициента сцепления шин с дорогой представлена в таблице П.1.12.

В таблице П.1.15 для примера представлены технические характеристики некоторых автомобилей. А также в таблице П.1.17 рассмотрены условия возможности предотвращения ДТП.

3.2.2. Разработка глобальной модели БЗ экспертной системы «Анализ ДТП»

В качестве среды для разработки БЗ экспертной системы «Анализ ДТП» выбрано программное обеспечение КЭСМИ 2.1 в конфигурации Wi!Mi «Разуматор – Эксперт» (в соответствии с разделом 1.2.6).

КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi) позволяет реализовывать модели со сложной иерархией классов. Структура ЭС «Анализ ДТП» состоит из 16 классов. Глобального класса «ДТП», подклассов «I Характеристики дорожного полотна (ДП) и ТС», «II Скорость ТС», «III Путь ТС», «IV Время», «Анализ ДТП», «Константы», «Коэффициенты», под-подклассов «Характеристика ДП», «Характеристика ТС», «Перевод V (км/ч) $\rightarrow$ V (м/с)», «Р – предотвращение ДТП», «Р_lу – предотвращение ДТП», «Скоростной режим» и под-под-подклассов «OverSpeed» (определение значения превышения максимальной разрешенной скорости), «Анализ SL» (анализ факта нарушения скоростного режима). На рисунке 3.1 представлена структура классов ЭС «Анализ ДТП», а на рисунке 3.2 представлен вид структуры классов ЭС «Анализ ДТП» в системе КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi). Таким образом,

разработаны модели реконструкции и экспертизы ДТП в формализме БЗ двудольных ориентированных миварных сетей.

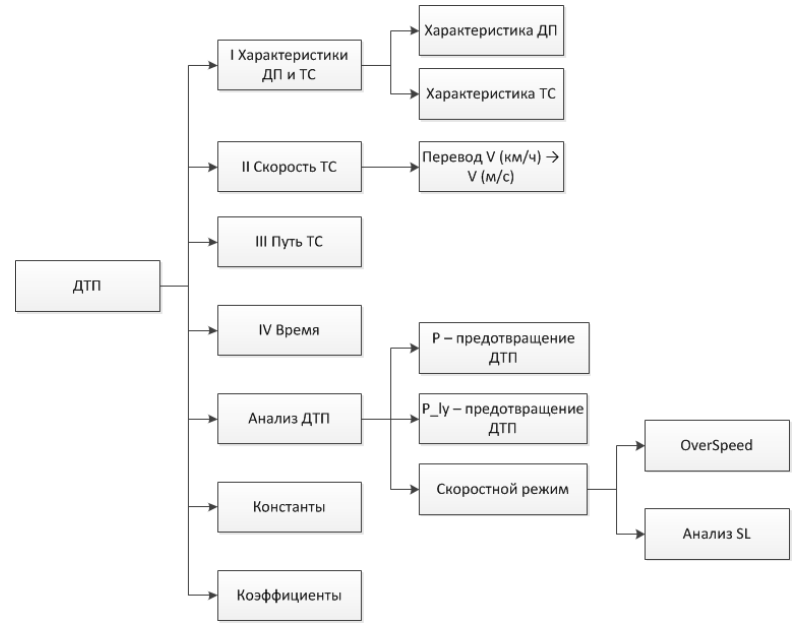


Рисунок 3.1. Структура классов ЭС «Анализ ДТП»



Рисунок 3.2. Вид структуры классов ЭС «Анализ ДТП» в системе КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi)

ЭС «Анализ ДТП» состоит из 144 параметров, 93 отношений, 352 правил, в которые входит 109 ограничений.

В системе КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi) под классом понимается внутренний узел дерева иерархии. Под параметром понимается единичный конечный на данном уровне абстракции объект, обладающий значением. Параметр является листом в дереве иерархии элементов в модели [107]. Если рассматривать отношение, то оно описывает взаимосвязь между абстрактными переменными. В отношении хранится его тип, список входных и список выходных переменных, типы использованных переменных и описание. Соответственно правило содержит в себе ссылку на отношение и связывает конкретные объекты из модели. Это сделано для упрощения описания предметных областей и многократного повторного использования одних и тех же сложных программируемых свойств. Также в системе

КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi) [113] существует специальный механизм ограничений, который позволяет указывать на неверно подготовленные исходные данные и проверять их на корректность ввода. Также в системе существует понятие связи, как ассоциация между объектами, значимая для рассматриваемой предметной области. Соответственно отношение и правило являются видами связи, а ограничение видом правила [26].

На рисунке 3.3 представлена глобальная модель реконструкции и экспертизы ДТП в формализме БЗ двудольных ориентированных миварных сетей, включающая 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.

Соответственно для каждой конкретной задачи строится своя локальная модель реконструкции и экспертизы ДТП (Приложение 2). Таким образом, получается множество моделей.

Использование концепции миварного подхода позволило создать многомерную БЗ большой размерности (рисунок 3.3), которую можно постоянно наращивать (добавлять новые правила и параметры), а также быстро в ней находить искомое значение без перебора, за счет построения миварной сети. Сам миварный подход позволяет работать с различными формами представления данных (знаний), включая и работу с бесконечными описаниями сущностей в миварном многомерном динамическом информационном пространстве [18]. Таким образом, разработанная глобальная модель (рисунок 3.3), включая локальные модели (представленные в Приложении 2) реконструкции и экспертизы ДТП в формализме БЗ двудольных ориентированных миварных сетей является научной новизной.

3.2.3. Структура алгоритма работы ЭС «Анализ ДТП»

Опираясь на концепцию миварного подхода опишем структуру алгоритма работы ЭС «Анализ ДТП».

Параметрами модели является множество $P_{\text{exp}} = \{P_1, P_2, \dots, P_{144}\}$:

P_1 – время реакции водителя t_1 ;

P_2 – время запаздывания срабатывания тормозного привода t_2 ;

P_3 – время нарастания замедления t_3 ;

P_4 – величина замедления j_{max} ;

P_5 – масштаб замедления m_j ;

P_6 – длина отрезка максимального замедления e ;

P_7 – длина остановочного пути $S_{\text{ост}}$;

P_8 – суммарное время Σt ;

P_9 – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия f ;

P_{10} – ускорение свободного падения g ;

P_{11} – поправочный коэффициент эффективности торможения $K_{\text{э}}$;

P_{12} – скорость автомобиля перед началом торможения V_0 ;

P_{13} – длина тормозного пути S_T ;

...

P_{144} – длина пути за время торможения с максимальным установившимся замедлением S_4 .

Выходные $P_{\text{exp}}^{\text{in}}$ и входные $P_{\text{exp}}^{\text{out}}$ параметры являются подмножествами P_{exp} :

$P_{\text{exp}}^{\text{in}} \subseteq P_{\text{exp}}, P_{\text{exp}}^{\text{out}} \subseteq P_{\text{exp}}$. Причем, для каждой конкретной локальной модели будут свои выходные $P_{\text{exp}}^{\text{in}}$ и входные $P_{\text{exp}}^{\text{out}}$ параметры, необходимые для построения успешного маршрута решения.

Кроме того, существует набор функций $R_{\text{exp}} = \{R_1, R_2, \dots, R_{352}\}$, которые являются правилами в модели:

$$R_1(P_5, P_6) : P_4 = P_5 \cdot P_6 \Leftrightarrow j_{\text{max}} = m_j \cdot e;$$

$$R_2(P_1, P_2, P_3): P_8 = P_1 + P_2 + P_3 \Leftrightarrow \sum t = t_1 + t_2 + t_3;$$

$$R_3(P_4, P_{10}): P_9 = \frac{P_4}{P_{10}} \Leftrightarrow f = \frac{j_{\max}}{g};$$

$$R_4(P_9, P_{10}, P_{11}): P_4 = \frac{P_9 \cdot P_{10}}{P_{11}} \Leftrightarrow j_{\max} = \frac{f \cdot g}{K_9};$$

$$R_5(P_4, P_8, P_{12}): P_7 = P_8 \cdot P_{12} + \frac{P_{12}^2}{2 \cdot P_4} \Leftrightarrow S_{OCT} = \sum t \cdot V_0 + \frac{V_0^2}{2 \cdot j_{\max}};$$

$$R_6(P_2, P_3, P_4, P_{12}): P_{13} = (P_2 + 0,5 \cdot P_3) \cdot P_{12} + \frac{P_{12}^2}{2 \cdot P_4} \Leftrightarrow S_T = (t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot V_0 + \frac{V_0^2}{2 \cdot j_{\max}};$$

$$R_7(P_9, P_{10}, P_{144}) \in P_{12} = \sqrt{2 \cdot P_{10} \cdot P_9 \cdot P_{144}} \Leftrightarrow V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot f \cdot S_4};$$

...

$$R_{352}(P_4, P_{12}): P_{144} = \frac{P_{12}^2}{2 \cdot P_4} \Leftrightarrow S_4 = \frac{V_0^2}{2 \cdot j_{\max}}.$$

Также стоит учитывать, что множество правил R_{exp} также содержит множество ограничений модели $C_{\text{exp}} = \{C_1, C_2, \dots, C_{109}\}$, где $C_{\text{exp}} \subseteq R_{\text{exp}}$:

$$C_1(P_9): 0,08 \leq P_9 \leq 0,8 \Leftrightarrow 0,08 \leq f \leq 0,8;$$

$$C_2(P_{11}): 1 \leq P_{11} \leq 1,6 \Leftrightarrow 1 \leq K_9 \leq 1,6;$$

$$C_4(P_1): P_1 \geq 0 \Leftrightarrow t_1 \geq 0;$$

$$C_5(P_2): P_2 \geq 0 \Leftrightarrow t_2 \geq 0;$$

$$C_6(P_3): P_3 \geq 0 \Leftrightarrow t_3 \geq 0;$$

$$C_7(P_4): P_4 \geq 0 \Leftrightarrow j_{\max} \geq 0;$$

...

$$C_{109}(P_{144}): P_{144} \geq 0 \Leftrightarrow S_4 \geq 0.$$

По набору параметров и правил $\{P_{\text{exp}}, R_{\text{exp}}\}$ можно построить миварную сеть. Как ранее было сказано, миварная сеть по своей сути может быть представлена в виде двудольного ориентированного графа. Таким образом, 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 (рисунок 3.4).

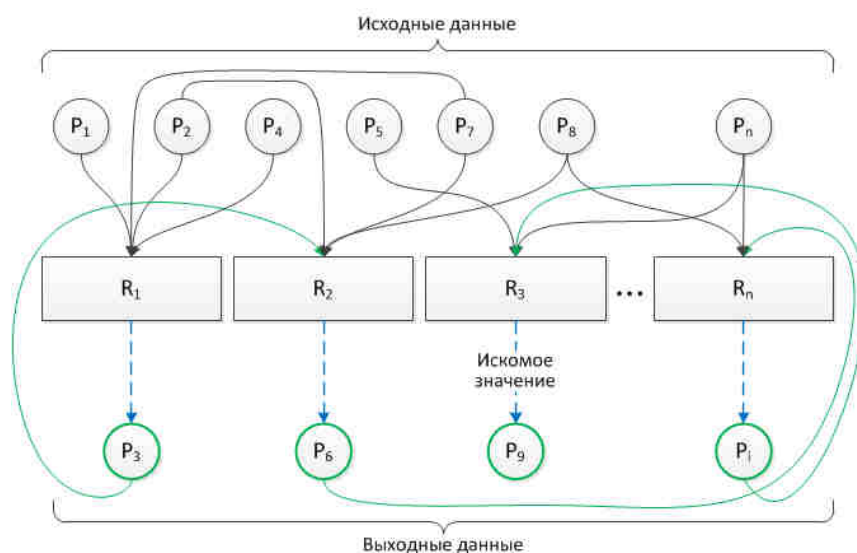


Рисунок 3.4. Алгоритм работы ЭС «Анализ ДТП»

Также это можно представить в виде в виде двумерной матрицы M размерности $P_{\text{exp}} \times R_{\text{exp}}$ (рисунок 2.3). Для каждого параметра P_{exp} хранится информация о всех правилах R_{exp} , для которых он является входным или выходным параметром. В свою очередь для каждого правила R_{exp} хранится информация о всех его входных и выходных параметрах P_{exp} , включая и информацию о количестве входных и выходных параметров. Другими словами: каждый параметр P_{exp} знает, для какого правила R_{exp} , он является входным и выходным, в свою очередь каждое правило R_{exp} знает, какие параметры P_{exp} . На основе анализа матрицы M определяется факт наличия успешного маршрута решения, далее определяется «кратчайший» маршрут, наиболее оптимальный по заданным критериям оптимальности, который будет являться решением.

В каждом элементе – параметре P_{exp} (вершине) или правиле R_{exp} (ребре), миварной сети определены все элементы, из которых можно за один шаг попасть в другой конкретный элемент или наоборот. Таким образом, находясь в любом месте миварной сети всегда известно, откуда в это место можно прийти и куда из него можно перейти. Этот фактор исключает использование переборных методов при поиске решения на миварной сети.

Также стоит отметить, что при необходимости можно добавлять в матрицу P_{exp} новые параметры (элементы матрицы P_{exp}), как и в матрицу R_{exp} новые правила (элементы матрицы R_{exp}) тем самым наполнять или расширять существующую БЗ (модель). Построение алгоритма решения ЭС не зависит от порядка нумерации параметров и правил.

Рассмотрим абстрактную задачу, где P – параметр, R – правило (рисунок 3.7). Исходные данные: $P_1, P_2, P_4, P_5, P_7, P_8, \dots, P_n$. Найти: P_9 .

В процессе решения задачи находим P_3 через правило R_1 . Искомая P_3 становится входным параметром правила R_2 . Для нахождения P_9 необходимо определить значение входного параметра P_i . Это значение определяется через R_n , на вход которого подается найденный параметр P_6 и заданные параметры P_8 и P_n . На рисунке 3.5 представлен процесс нахождения искомого параметра P_9 .

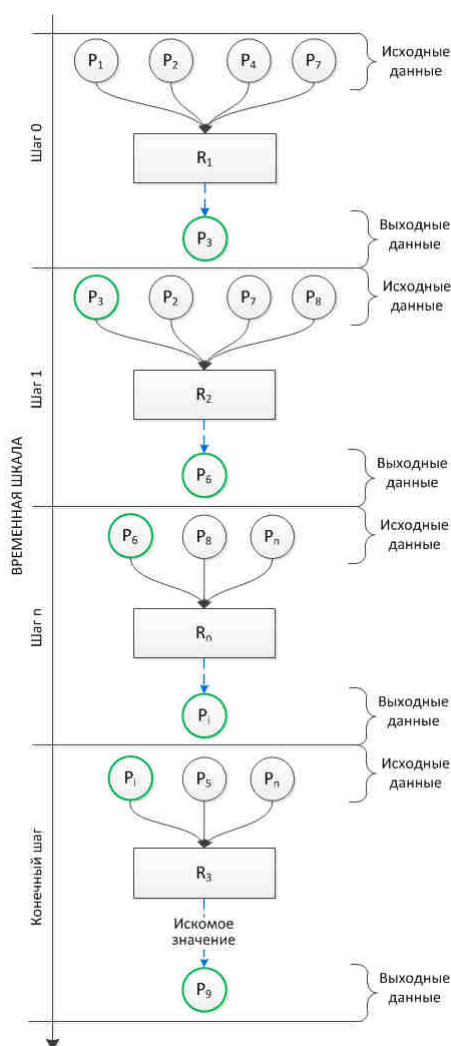


Рисунок 3.5. Процесс нахождения искомого параметра P_9

3.2.4. Методика генерации интерфейсов для ЭС, созданных на КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi)

Для управления построенной моделью необходим пользовательский интерфейс. Программное решение КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi) позволяет создать БЗ экспертной системы «Анализ ДТП», а также с эмулировать саму ЭС «Анализ ДТП». Однако эмуляция ЭС «Анализ ДТП» происходит непосредственно внутри системы КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi). К сожалению, программное решение КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi) не имеет функционала генерации отдельных интерфейсов для ЭС без привязки к самой системе. По этому необходимо разработать соответствующую методику генерации интерфейсов (в виде отдельного программного модуля) для ЭС, созданных на КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi).

Методика генерации интерфейсов для ЭС, созданных на КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi) [137] для семейства ОС Windows в виде программного модуля представлена на рисунке 3.6. Условием использования генератора интерфейсов является наличие готовой БЗ, созданной в среде КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi) (сформированный файл формата .xml).

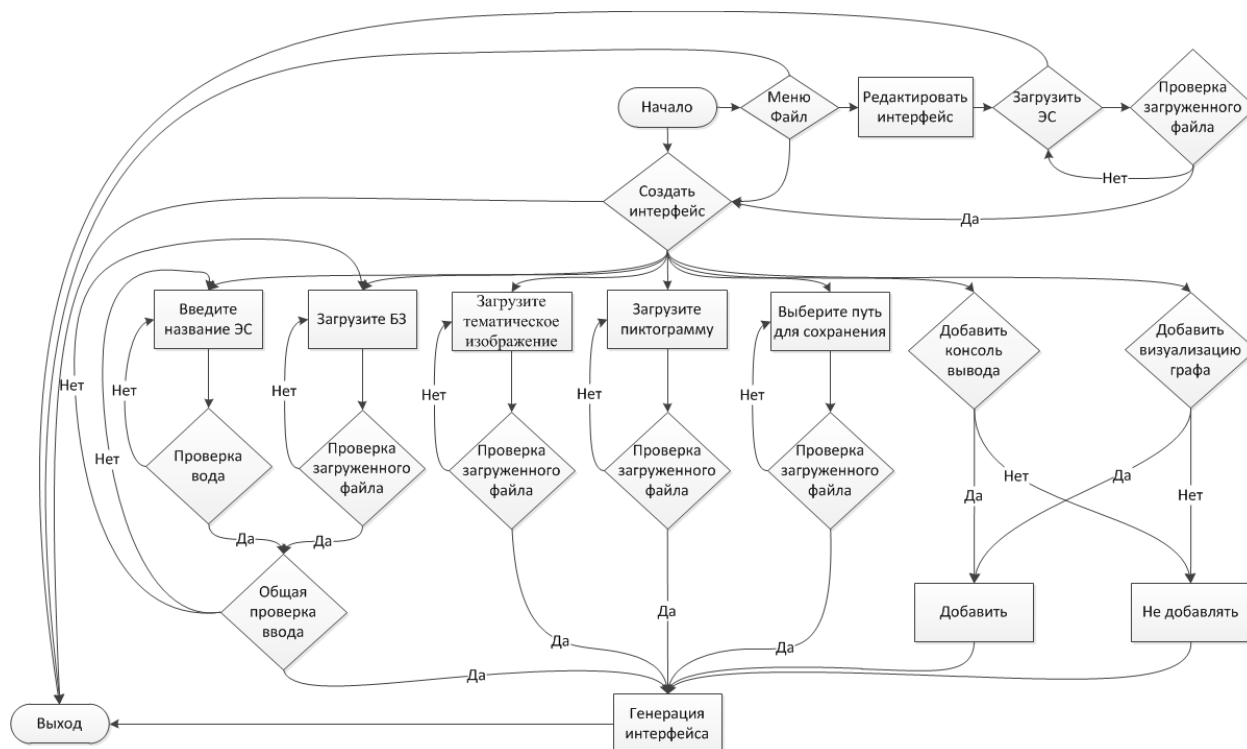


Рисунок 3.6. Методика генерации интерфейсов для ЭС, созданных на КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi)

На рисунке 3.7 представлена схема сгенерированного интерфейса. Минимальные условия для генерации интерфейса – это введенное название экспертной системы и наличие БЗ.

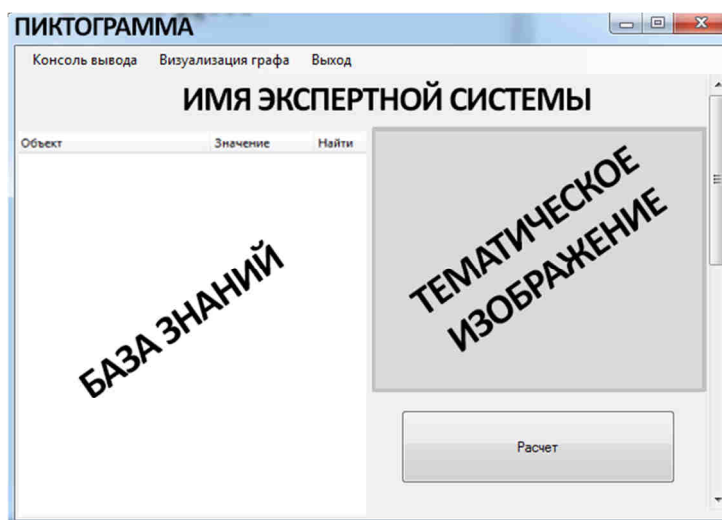


Рисунок 3.7. Схема сгенерированного интерфейса для ЭС

Подробное описание работы генератора интерфейсов для ЭС, созданных на КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi) описано в Приложении 3.

3.2.5. Описание ЭС «Анализ ДТП»

ЭС «Анализ ДТП» предназначена для повышения эффективности принятия решений экспертом ЭКЦ при анализе и экспертизе ДТП. Эффективность подтверждается за счет минимизации возникновения ошибки (раздел 3.4) и снижения временных затрат при использовании ЭС «Анализ ДТП» (раздел 3.5). Созданная ЭС позволяет решить ряд задач:

1. Снизить трудоемкости процесса расчета спорных дорожно-транспортных ситуаций.
2. Повысить качество расчетов, уменьшить возникновение ошибок.
3. Экономия кадровых ресурсов.
4. Экономия временных ресурсов на расчет.

На рисунке 3.8 представлено приложение ЭС «Анализ ДТП» для семейства ОС Windows. ЭС «Анализ ДТП» является адаптивной (эксперт

может добавлять новые правила в БЗ), гибкой (эксперт может изменять имена параметров системы, использовать те имена параметров, которые ему удобны (индивидуализация системы) при редактировании БЗ) и открытость (эксперт имеет возможность редактировать уже занесенные данные в систему, изменяя БЗ).

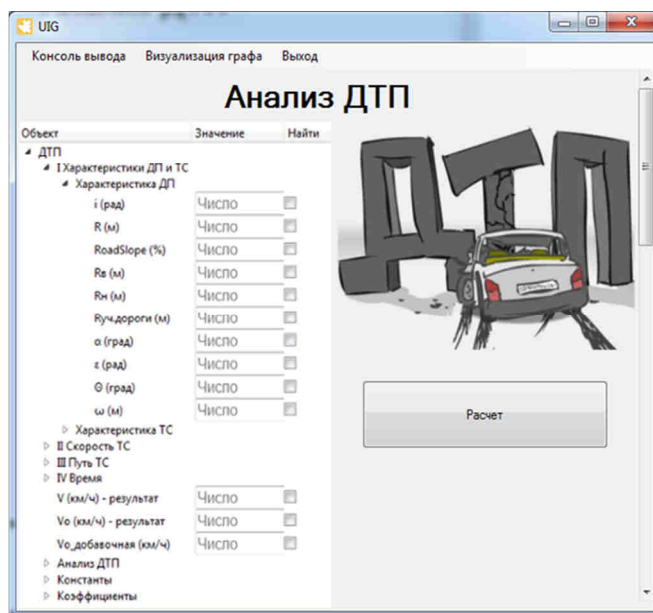


Рисунок 3.8. Приложение ЭС «Анализ ДТП»

Также стоит отметить, что ЭС «Анализ ДТП» имеет специальный инструментарий для представления решения в виде листинга алгоритма (рисунок 3.9) и в виде графического представления дерева решения (графа) (рисунок 3.10).

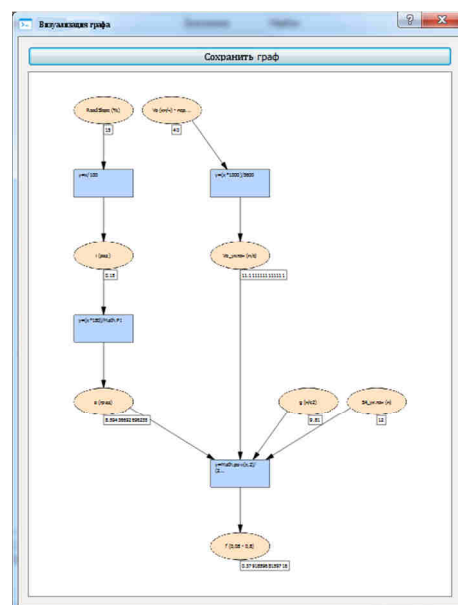
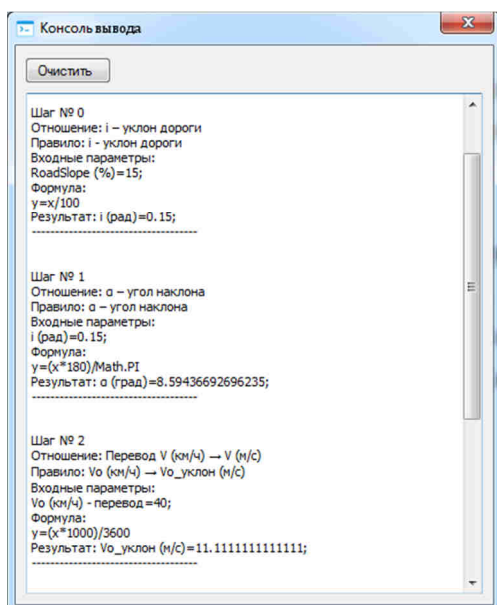


Рисунок 3.9. Модальное окно «Консоль вывода» ЭС «Анализ ДТП»

Рисунок 3.10. Модальное окно «Визуализация графа» ЭС «Анализ ДТП»

Стоит отметить, что ПО КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi) играет роль административной панели, где эксперт-проектировщик может добавлять новые параметры, отношения, правила и ограничения в систему, тем самым наращивать и обучать существующую БЗ экспертной системы «Анализ ДТП». Для этого необходимо воспользоваться модулем генерации интерфейсов (Приложение 3).

3.2.6. Проверка корректности работы ЭС «Анализ ДТП»

Проверка работы ЭС «Анализ ДТП» осуществлялась по моделям, представленным в виде спектра задач, разбитых по следующим темам:

1. Тормозные качества автомобиля (множество моделей A).
2. Скорость автомобиля (множество моделей B).
3. Случаи скольжения автомобиля при торможении (множество моделей C).
4. Движение автомобиля на криволинейных участках дороги (множество моделей D).
5. Наезд на пешехода при равномерном движении и неограниченной видимости (множество моделей E).

То есть глобальная модель реконструкции и экспертизы ДТП в формализме БЗ двудольных ориентированных миварных сетей Q является множеством локальных моделей:

$$Q = A \cup B \cup C \cup D \cup E ,$$

где A, B, C, D, E конкретные локальные модели имеющие соответственно подмножество моделей:

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_{n_A}\},$$

$$B = \{B_1, B_2, \dots, B_{n_B}\},$$

$$C = \{C_1, C_2, \dots, C_{n_C}\},$$

$$D = \{D_1, D_2, \dots, D_{n_D}\},$$

$$E = \{E_1, E_2, \dots, E_{n_E}\}.$$

Здесь, n_A, n_B, n_C, n_D, n_E – количество конкретных моделей соответствующей тематики.

В качестве решения представлен листинг решения модели, разбитый на шаги и визуальный граф-решения модели. Далее детально рассмотрим каждый класс задач.

3.2.6.1. Тормозные качества автомобиля

Основой материала является диаграмма процесса торможения автомобиля, отражающая изменение величин скорости и замедления в зависимости от времени торможения. На рисунке 3.11 показаны параметры, которые определяют процесс торможения автомобиля.

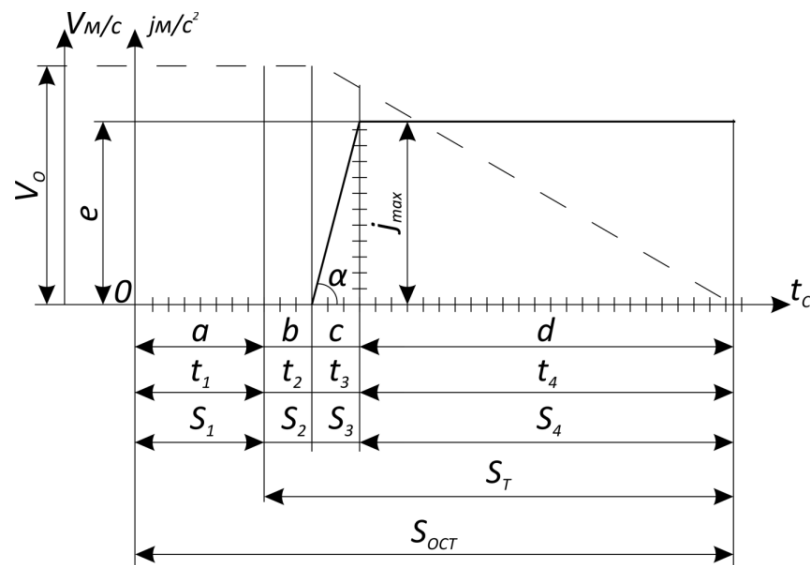


Рисунок 3.11. Диаграмма торможения

— — — — — процесс изменения скорости;
 ————— процесс изменения замедления.

Для примера рассматривается три задачи, где необходимо определить длину безопасной дистанции грузового ТС (пункт П.2.1), величину тормозного пути ТС (пункт П.2.2) и возможность водителя предотвратить ДТП (пункт П.2.3).

3.2.6.2. Скорость автомобиля

В экспертизе ДТП важную роль играет определение скорости автомобиля перед началом экстренного торможения, когда автомобиль останавливается во время нарастания замедления. Скорость автомобиля перед началом экстренного торможения обычно определяется экспертом по требованию суда при расследовании дорожно-транспортных происшествий.

Для примера рассматривается три задачи, где необходимо определить скорость ТС перед торможением (пункт П.2.4), добавочную скорость ТС (пункт П.2.5) и установить факт нарушения водителем правила дорожного движения по скоростному режиму (пункт П.2.6).

3.2.6.3. Случаи скольжения автомобиля при торможении

При торможении автомобиля часто случается, что колеса одновременно скользят по дорожной поверхности с различным коэффициентом сцепления. Например, по покрытию проезжей части и обочине, по полосе наката и обочине. При торможении автомобиль может уйти в занос. Занос – это движение автомобиля, сопровождающееся боковым скольжением его задней или передней оси. Такое скольжение возникает в случае, когда теряется сцепление колес с дорогой, что может произойти по многим причинам. При заносе корпус автомобиля изменяет свою ориентацию на дороге – поворачивается. Передняя ось движется в том направлении, куда направлены передние колеса, а задние не идут по следу передних, вследствие чего, автомобиль, продвигаясь вперед, получает еще и вращательное движение. Возникающая при этом центробежная сила складывается с боковыми силами, вызвавшими занос, и усиливает их.

Для примера рассматривается три задачи, где необходимо определить коэффициент сцепления покрытия проезжей части с шинами автомобиля (пункт П.2.7), установить факт нарушения ПДД по скоростному режиму (пункт П.2.8) и определить скорость ТС перед торможением, учитывая следы

скольжения колес на поверхности асфальтового покрытия и на грунтовой обочине (пункт П.2.9).

3.2.6.4. Движение автомобиля на криволинейных участках дороги

Дорога, имеющая криволинейный участок, может лежать в горизонтальной плоскости или иметь поперечный уклон. В любом случае она характеризуется радиусом поворота. Действительный радиус поворота определяется отдельно для наружной (относительно центра поворота) и внутренней полосы движения. Геометрические параметры поворота дороги с уклоном при двухполосном движении представлены на рисунке 3.12.

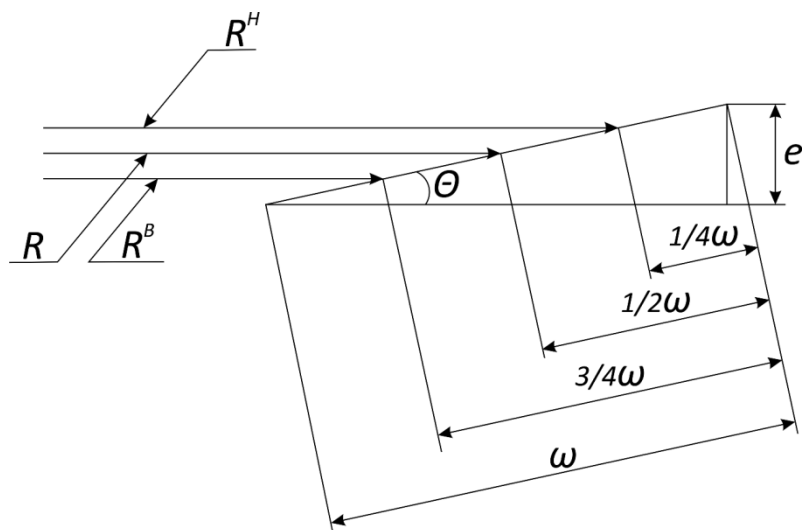


Рисунок 3.12. Геометрические параметры поворота дороги с уклоном при двухполосном движении представлены

Для примера рассматривается три задачи, где необходимо определить максимальную скорость движения автомобиля на криволинейном участке дороги (критическую скорость, с которой можно вести автомобиль без опасности заноса) (пункт П.2.10), критическую скорость опрокидывания снаряженного автомобиля (пункт П.2.11) и коэффициент сцепления покрытия на криволинейном участке дороги без поперечного уклона (пункт П.2.12).

3.2.6.5. Наезд на пешехода при равномерном движении и неограниченной видимости

Наезд на пешехода при равномерном движении и неограниченной видимости является весьма распространенным видом ДТП. Более половины таких наездов происходит в условиях, когда никто не мешает водителю заметить на большом расстоянии пешехода и правильно оценить его действия. Следовательно, и отсутствуют убедительные причины, препятствующие водителю своевременно принять необходимые меры безопасности. Однако в таких ситуациях часто водитель продолжает движение, не снижая скорости, хотя и видит пешехода, и тормозит лишь непосредственно перед наездом. Также стоит учитывать факт недисциплинированности самих пешеходов. При расследовании ДТП очень важным является выявить, мог ли водитель в данных дорожных условиях, применив необходимые технические меры, предотвратить происшествие, а также определить правильность действий пешехода.

Для примера рассматривается три задачи, где необходимо определить техническую возможность водителя в избежании наезда на пешехода (пункт П.2.13), условие безопасного перехода полосы движения ТС пешеходом (пункт П.2.14) и возможности водителя к предотвращению ДТП в заданной дорожной обстановке (пункт П.2.15).

3.3. Обоснование оптимальности использования ЭС «Анализ ДТП»

Пусть имеется список возможных ошибок $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ допущенных при разных обстоятельствах (например, A_1 – это ошибка при расчете начальной скорости автомобиля до начала торможения и тому подобное).

Пусть 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: $p_1 \geq q_1, p_2 \geq q_2, \dots, p_n \geq q_n$ (например, p_1 – вероятность

неверно вычислить начальную скорость автомобиля до начала торможения при ручном расчете, а q_1 – вероятность неверно вычислить начальную скорость автомобиля до начала торможения при использовании ЭС). Стоит отметить, что бывают ошибки процессуальные, логические, фактические и так далее (раздел 1.2.4). 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 $p_i \geq q_i$.

Рассмотрим Бернуллиевские случайные величины $H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$, характеризующие ошибки, которые совершает специалист ЭКЦ при экспертизе аварийных событий ДТП вручную. А именно, $H_i = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$, где 1 – это наличие ошибки i -го типа, совершенной специалистом ЭКЦ при экспертизе аварийных событий ДТП вручную с вероятностью p_i ; 0 – это отсутствие допущенной ошибки специалистом ЭКЦ при экспертизе аварийных событий ДТП вручную с вероятностью $1 - p_i$ (например, H_1 – это случайная величина, характеризующая ошибку, совершенную специалистом ЭКЦ при ручном расчете начальной скорости автомобиля до начала торможения, $H_1 = 0$ – случай, когда специалист ЭКЦ верно рассчитал начальную скорость автомобиля до начала торможения при ручном расчете, $H_1 = 1$ – случай, когда специалист ЭКЦ допустил ошибку при ручном расчете начальной скорости автомобиля до начала торможения, p_1 – вероятность допустить ошибку при ручном расчете начальной скорости автомобиля до начала торможения, $1 - p_1$ – вероятность не допустить ошибку при ручном расчете начальной скорости автомобиля до начала торможения).

А также, рассмотрим Бернуллиевские случайные величины $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$, характеризующие ошибки, которые совершает специалист

ЭКЦ при экспертизе аварийных событий ДТП, используя ЭС. Тогда $E_i = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$,

где 1 – это наличие ошибки i -го типа, совершенной специалистом ЭКЦ, использующего ЭС при экспертизе аварийных событий ДТП с вероятностью q_i ; 0 – это отсутствие допущенной ошибки специалистом ЭКЦ, использующего ЭС при экспертизе аварийных событий ДТП с вероятностью $1 - q_i$ (например, E_1 – это случайная величина, характеризующая ошибку, совершенную специалистом ЭКЦ, использующего ЭС при расчете начальной скорости автомобиля до начала торможения, $E_1 = 0$ – случай, когда специалист ЭКЦ верно рассчитал в ЭС начальную скорость автомобиля до начала торможения, $E_1 = 1$ – случай, когда специалист ЭКЦ допустил ошибку, используя ЭС при расчете начальной скорости автомобиля до начала торможения, q_1 – вероятность допустить ошибку в ЭС при расчете начальной скорости автомобиля до начала торможения, $1 - q_1$ – вероятность не допустить ошибку в ЭС при расчете начальной скорости автомобиля до начала торможения).

Количество ошибок, которое может совершить специалист ЭКЦ при ручном расчете задается случайной величиной $H = H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n = \sum_{i=1}^n H_i$. С другой стороны, количество ошибок, допущенное специалистом ЭКЦ при использовании ЭС будет: $E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n = \sum_{i=1}^n E_i$. Так как обе случайные величины H и E могут принимать значения от 0 до n . Посчитаем вероятность $P(H > 0)$ того, что специалист ЭКЦ совершит хотя бы одну ошибку во время ручного расчета и сравним ее с вероятностью $P(E > 0)$ совершения хотя бы одной ошибки специалистом ЭКЦ при использовании ЭС.

Вычислим вероятность отсутствия ошибки в первом случае:

$$\begin{aligned} P(H = 0) &= P(H_1 = 0, H_2 = 0, H_3 = 0, \dots, H_n = 0) = \\ &= P(H_1 = 0) \cdot P(H_2 = 0) \cdot P(H_3 = 0) \cdot \dots \cdot P(H_n = 0) = \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$= (1 - p_1) \cdot (1 - p_2) \cdot (1 - p_3) \cdot \dots \cdot (1 - p_n).$$

Вычислим вероятность отсутствия ошибки во втором случае:

$$\begin{aligned} P(E = 0) &= P(E_1 = 0, E_2 = 0, E_3 = 0, \dots, E_n = 0) = \\ &= P(E_1 = 0) \cdot P(E_2 = 0) \cdot P(E_3 = 0) \cdot \dots \cdot P(E_n = 0) = \\ &= (1 - q_1) \cdot (1 - q_2) \cdot (1 - q_3) \cdot \dots \cdot (1 - q_n). \end{aligned} \quad (3.2)$$

На основе полученных формул 3.1 и 3.2, используя базовый факт теории вероятностей, что $P(A) + P(\bar{A}) = 1$, вычислим вероятность возможности совершения хотя бы одной ошибки в обоих случаях. Получаем:

$$\begin{aligned} P(H > 0) &= 1 - P(H = 0) = 1 - (1 - p_1) \cdot (1 - p_2) \cdot (1 - p_3) \cdot \dots \cdot (1 - p_n), \\ P(E > 0) &= 1 - P(E = 0) = 1 - (1 - q_1) \cdot (1 - q_2) \cdot (1 - q_3) \cdot \dots \cdot (1 - q_n). \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\text{Так как } \begin{cases} p_1 \geq q_1, \\ p_2 \geq q_2, \\ \dots \\ p_n \geq q_n. \end{cases} \text{ то } \begin{cases} 1 - p_1 \leq 1 - q_1, \\ 1 - p_2 \leq 1 - q_2, \\ \dots \\ 1 - p_n \leq 1 - q_n. \end{cases} \Rightarrow P(H = 0) = (1 - p_1) \cdot (1 - p_2) \cdot$$

$\cdot (1 - p_3) \cdot \dots \cdot (1 - p_n) \leq P(E = 0) = (1 - q_1) \cdot (1 - q_2) \cdot (1 - q_3) \cdot \dots \cdot (1 - q_n)$, таким образом, приходим к следующему неравенству: $P(H > 0) = 1 - (1 - p_1) \cdot (1 - p_2) \cdot (1 - p_3) \cdot \dots \cdot (1 - p_n) \geq P(E > 0) = 1 - (1 - q_1) \cdot (1 - q_2) \cdot (1 - q_3) \cdot \dots \cdot (1 - q_n)$. Это означает, что специалист ЭКЦ при ручном расчете совершит хотя бы одну ошибку с большей вероятностью, чем специалист, использующий ЭС.

3.4. Эффективность снижения количества ошибок в расчетах при использовании ЭС «Анализ ДТП»

Был проведен статистический эксперимент среди 9 групп. В таблице 3.1. представлены статистические данные совершенных ошибок специалистами при ручном расчете и расчете при использовании ЭС «Анализ ДТП».

Таблица 3.1. Статистические данные совершенных ошибок

№ группы	Кол-во чел.	Ошибка	
		Н	Е
1	23	5	1
2	27	6	2
3	18	3	2
4	21	4	1
5	25	5	2
6	15	3	0
7	23	5	2
8	25	4	2
9	17	2	0
Итого:	194	37	12

На рисунке 3.13 представлена диаграмма совершенных ошибок специалистами при ручном расчете и расчете при использовании ЭС «Анализ ДТП».

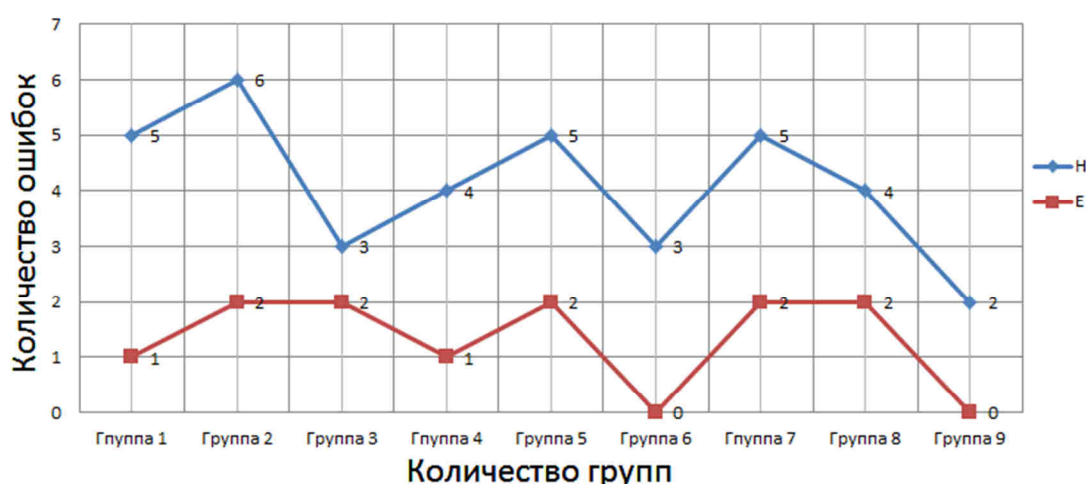


Рисунок 3.13. Диаграмма совершенных ошибок специалистами при ручном расчете и расчете при использовании ЭС «Анализ ДТП»

Эффективность снижения количества ошибок в расчетах при использовании ЭС «Анализ ДТП» составляет EF_A :

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

Таким образом, эксперты при ручном расчете совершают больше ошибок, чем эксперты, использующие ЭС «Анализ ДТП». Используя ЭС

«Анализ ДТП» снижается количество допущенных ошибок при расчетах на 13%.

3.5. Эффективность снижения временных затрат при использовании ЭС «Анализ ДТП»

Был проведен статистический эксперимент, который доказывает, что автоматизация деятельности эксперта при реконструкции и экспертизе аварийных событий ДТП снижает временные затраты на расчет. В таблице 3.2. представлены статистические данные временных затрат на решение задачи при ручном расчете и расчете при использовании ЭС «Анализ ДТП».

Таблица 3.2. Статистические данные временных затрат

№ чел.	Временные затраты, мин.		№ чел.	Временные затраты, мин.	
	Н	Е		Н	Е
1	10,18	3,18	24	11,29	4,02
2	11,21	4,19	25	9,05	2,07
3	14,03	4,33	26	9,25	2,48
4	9,02	2,06	27	11,18	3,31
5	8,57	1,58	28	11,08	4,02
6	14,05	4,59	29	8,03	3,09
7	14,41	4,50	30	9,02	2,17
8	13,30	4,03	31	8,57	2,55
9	10,11	2,33	32	10,05	4,59
10	10,25	2,02	33	9,42	4,50
11	9,03	1,57	34	9,30	4,03
12	9,20	2,58	35	11,12	2,35
13	13,14	3,31	36	10,03	2,46
14	11,27	4,02	37	13,03	4,07
15	10,03	3,59	38	9,55	2,02
16	9,02	2,17	39	13,14	1,57
17	9,37	2,55	40	11,29	2,58
18	10,15	2,09	41	12,03	3,31
19	9,41	2,11	42	9,02	1,52
20	14,32	3,33	43	8,37	1,59
21	12,45	3,53	44	12,19	4,47
22	10,15	4,09	45	9,41	1,55
23	11,02	2,58	46	12,32	2,39
Итого:			46	491,43	137,04

На рисунке 3.14 представлена диаграмма временных средних затрат при решении задач специалистами при ручном расчете и расчете при использовании ЭС «Анализ ДТП».

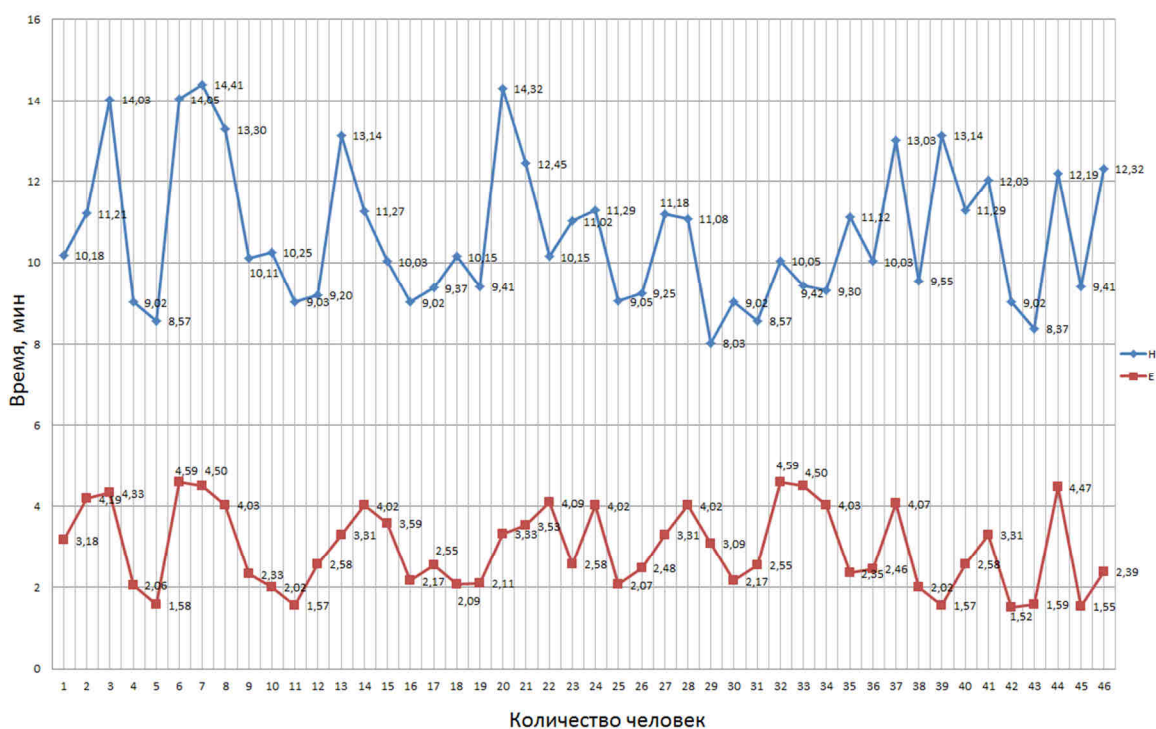


Рисунок 3.14. Диаграмма временных средних затрат при решении задач специалистами при ручном расчете и расчете при использовании ЭС «Анализ ДТП»

Эффективность снижения временных затрат при использовании ЭС «Анализ ДТП» составляет EF_t :

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

Таким образом, эксперты при ручном расчете тратят больше времени, на поиск формул, выбор алгоритма решения и на сам процесс расчета, чем эксперты, использующие ЭС «Анализ ДТП». Используя ЭС «Анализ ДТП» снижаются временные затраты при решении задачи на 72%.

3.6. Выводы третьей главы

В третьей главе диссертации решена задача создания 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, под названием «Анализ ДТП».

В третьей главе представлены следующие новые научные результаты: 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, основанных на концепции миварного подхода; разработано специальное математическое обеспечение в виде экспертной системы «Анализ ДТП».

В третьей главе разрабатывается специальное математическое обеспечение в виде ЭС «Анализ ДТП», основанной на концепции миварного подхода. ЭС «Анализ ДТП» предназначена для повышения эффективности принятия решений экспертом ЭКЦ при анализе и экспертизе ДТП. Основная часть главы посвящена разработке ЭС «Анализ ДТП», состоящей из 6 основных этапов: формализации знаний для прототипа ЭС «Анализ ДТП», разработки глобальной модели реконструкции и экспертизы ДТП в формализме БЗ двудольных ориентированных миварных сетей, создание структуры алгоритма работы ЭС «Анализ ДТП», создание методики генерации интерфейса для ЭС, а также самого описания ЭС «Анализ ДТП» и проверки корректности работы ЭС «Анализ ДТП» по моделям, представленным в виде спектра определенных задач (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) реконструкции и экспертизы ДТП (рассматриваемые модели представлены в виде задач в Приложении №2). Таким образом, для доказательства эффективности методики объединения ЭС (построенной на базе миварного подхода) и СИМ в решении класса задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП, необходимо провести апробационные эксперименты на реальных задачах.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭС И СИМ НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАССЛЕДОВАНИЯ И ЭКСПЕРТИЗЫ ДТП

4.1. Постановка задачи четвертой главы

В четвертой главе решается задача проведения апробационных экспериментов на реальных задачах. Рассматриваются реальные задачи, связанные с анализом и экспертизой ДТП. Целью исследовательских экспериментов является демонстрация применения методики объединения ЭС (построенной на базе миварного подхода) и СИМ на примере решения задач, связанных с анализом и экспертизой ДТП. В качестве ЭС предлагается использовать созданную систему «Анализ ДТП». За основу СИМ можно взять трехмерное игровое ядро с уже имеющейся прописанной физикой. Это рассмотрено в статьях [118,122-124, 131, 135, 142-143, 145-146, 152] и монографии [127]. Однако учитывая, что подобные трехмерные игровые ядра рассчитаны на широкий спектр задач, их настройка под «локальную» задачу, как имитация ДТП, требует достаточно большой затраты человеко-часов. В связи с этим предлагается в качестве СИМ использовать программный продукт Virtual CRASH 3.0, который способен моделировать ДТП [112, 114]. Подробно этот программный продукт был рассмотрен в разделе 1.2.5. Стоит отметить, что системы «Анализ ДТП» и Virtual CRASH 3.0 совместимы, это доказывается при помощи алгоритма проверки совместимости ЭС (построенной на базе миварного подхода) и СИМ (раздел 2.9).

Стоит отметить, что в рассматриваемых происшествиях были изменены названия улиц и скрыты номера автомобилей, с целью сохранения анонимности. Рассматривается пять задач, где необходимо установить факт нарушения ПДД водителем по скоростному режиму, определить уровень деформации кузова в зависимости от скорости ТС, установить, была ли допущена ошибка в определении виновного сотрудником Госавтоинспекции, определить степень травмирования водителя в зависимости от скорости ТС и

от силы столкновения при условии, что он не был пристегнут ремнем безопасности и определить дистанцию безопасности, которую должен выдерживать водитель для избежания столкновения с другим ТС. Так же в задачах рассматривается и анализируется наличие возможности водителя избежать ДТП в случаях наезда на пешехода. В задачах определяется виновник ДТП, опираясь на полученные данные из ЭС и СИМ, а также на аналитический анализ эксперта.

При решении первой задачи (Происшествие №1) использовался последовательный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы. Для решения второй, четвертой и пятой задачи (Происшествие №2, №4, №5) использовался последовательно-параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы. А для решения третьей задачи (Происшествие №3) использовался параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ.

4.2. Происшествие №1: ДТП Toyota Carib и Lexus RX

Происшествие №1: Автомобиль Toyota Carib, следовавший по ул. Учебной, столкнулся с автомобилем Lexus RX, следовавшим также по ул. Учебной. Со слов водителя Toyota Carib, на его автомобиле частично отказала тормозная система, в результате он растерялся и не смог вовремя остановиться перед ТС Lexus RX. Также водитель Toyota Carib утверждает, что в момент удара скорость его автомобиля составляла 30 км/ч. Водитель Lexus RX показал, что он следовал по главной дороге, не нарушая скоростного режима.

Дорога на ул. Учебной с асфальтобетонным покрытием, в момент ДТП была сухая погода. Разрешенная максимальная скорость на данном участке дороги – 60 км/ч. По замерам длина тормозного пути Toyota Carib составила 20 м. Необходимо установить, нарушил ли водитель Toyota Carib правила дорожного движения по скоростному режиму?

Исходные данные: $V = 30 \text{ км/ч}$; $S_4 = 20 \text{ м}$; $f = 0,75$; $SpeedLimit = 60 \text{ км/ч}$.

Найти: Установить, нарушил ли водитель Toyota Carib правила дорожного движения по скоростному режиму?

Фотоматериалы происшествия представлены на рисунках 4.1, 4.2, 4.3 и 4.4.

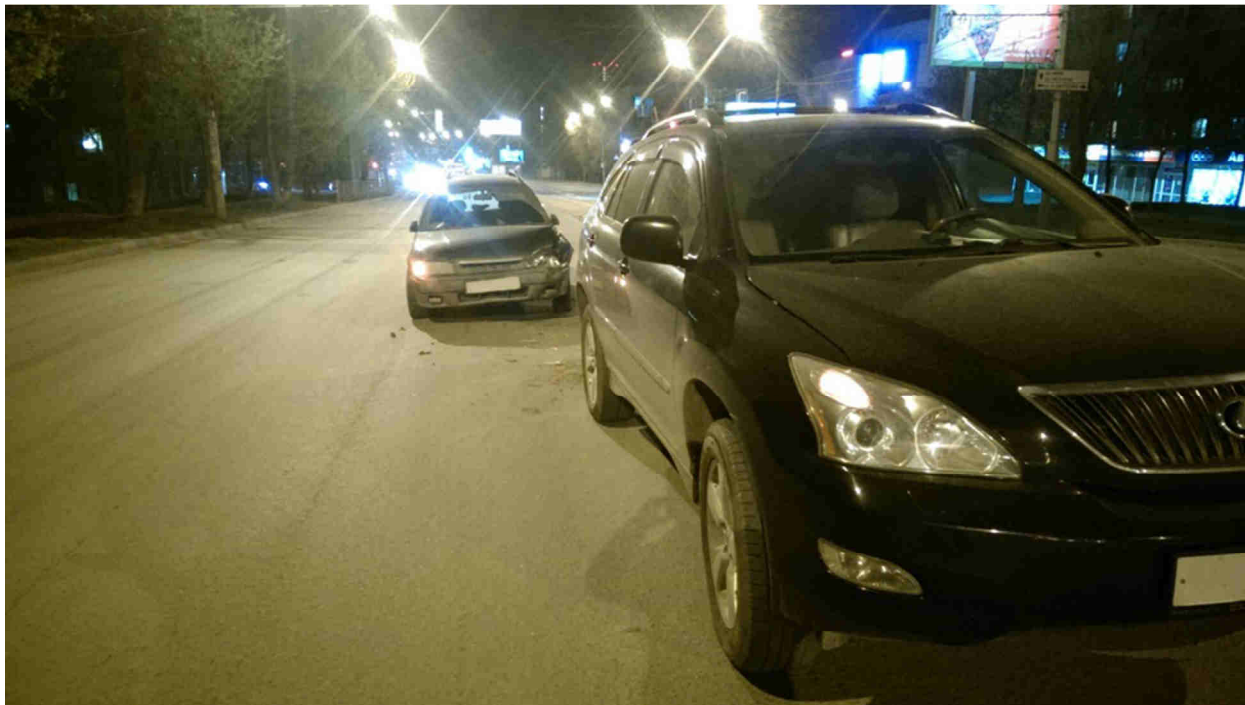
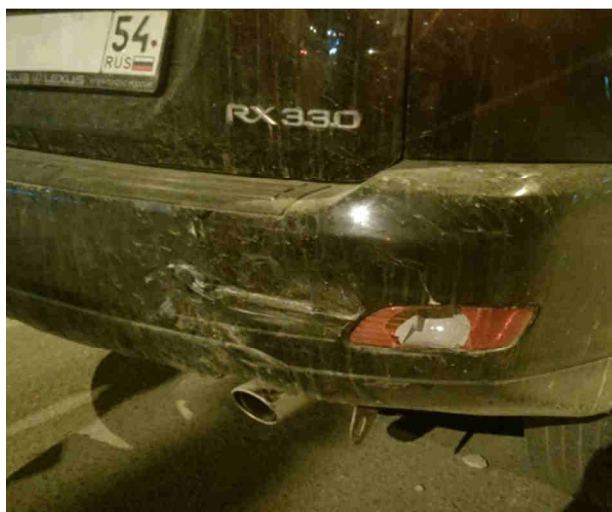
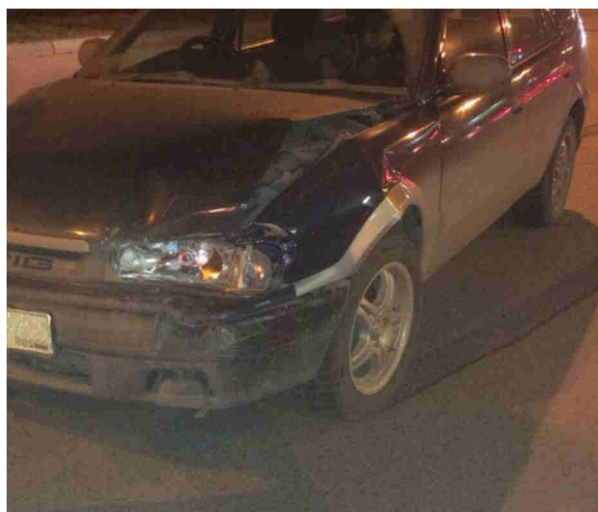


Рисунок 4.1. Фотоматериалы происшествия №1: Общая картина ДТП



**Рисунок 4.2. Фотоматериалы
происшествия №1: Повреждения ТС
Lexus RX**



**Рисунок 4.3. Фотоматериалы
происшествия №1: Повреждения ТС
Toyota Carib**

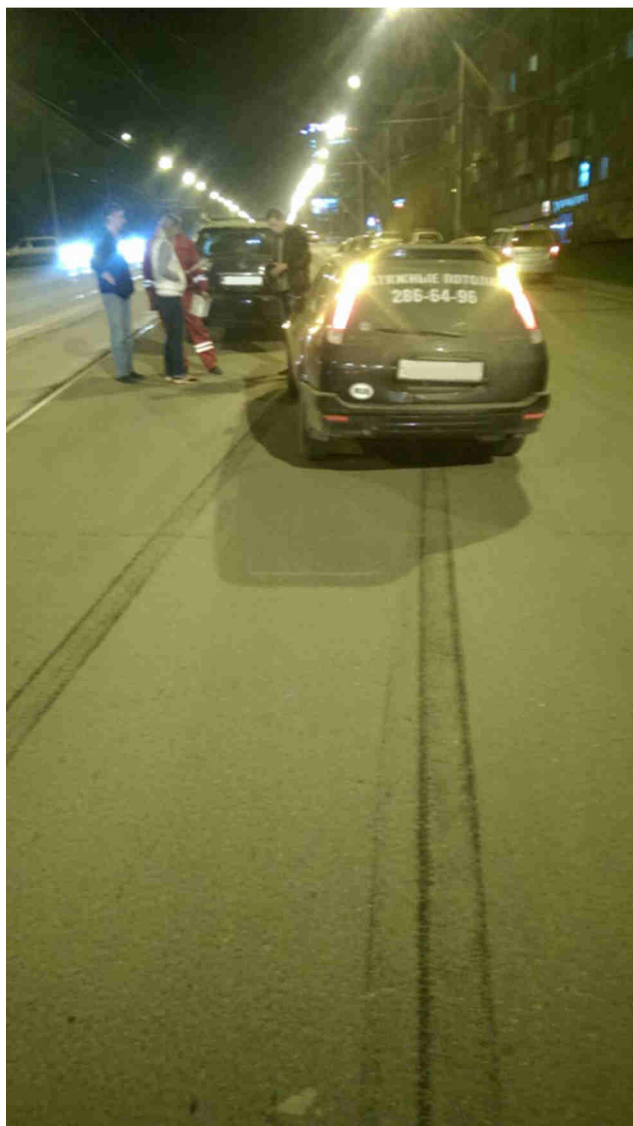


Рисунок 4.4. Фотоматериалы происшествия №1: Тормозной путь ТС Toyota Carib

Решение: Для решения поставленной задачи используется последовательный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы. В качестве доминирующей системы выбрана ЭС.

Входные данные занесем в ЭС «Анализ ДТП». Данные с полученным результатом представлены на рисунке 4.5.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП			S4_подъем_н (м)	Число		BeltON	Текст	
I Характеристики ДТП и ТС			S4_уклон (м)	Число		P – предотвращение ДТП		
Характеристика ДТП			S4_уклон_н (м)	Число		P_лy – предотвращение ДТП		
Характеристика ТС			S4' (м)	Число		Скоростной режим		
II Скорость ТС			S4'_н (м)	Число		OverSpeed		
ΔV (м/с)	Число		S4'' (м)	Число		OverSpeed V (км/ч)	Число	
ΔV3 (м/с)	Число		S4''' (м)	Число		OverSpeed Vo (км/ч)	Число	
V (м/с)	8.333333333		S4'''' (м)	Число		OverSpeed Vo_добавочная (км/ч)	8.659507717	
V' (м/с)	Число		S6_грузового (м)	Число		SpeedLimit (км/ч)	60	
V_н (м/с)	Число		S6_легкового (м)	Число		Анализ SL		
Vo (м/с)	17.15517414		Se (м)	Число		Анализ SL V	Текст	
Vo_F3 (м/с)	Число		Se_лy (м)	Число		Анализ SL Vo	Текст	
Vo_л (м/с)	Число		Sa (м)	Число		Анализ SL Vo_добавочная	Скорость ТО	
Vкр.з. (м/с)	Число		Sa' (м)	Число		Константы		
Vкр.о. (м/с)	Число		Sa'' (м)	Число		g (м/с²)	9.81	
Vн_лy (м/с)	Число		Sa''' (м)	Число		lгрузового (м)	14	
Vo_н_F3 (м/с)	Число		Sa'''' (м)	Число		lлегкового (м)	5	
Vo_добавочная (м/с)	19.07208547		Sa''''' (м)	Число		Кoeffициенты		
Vo_подъем (м/с)	Число		Sa'''''' (м)	Число		f (0,08 - 0,8)	0,75	
Vo_подъем_н (м/с)	Число		Sa''''''' (м)	Число		f1 (0,08 - 0,8)	Число	
Vo_уклон (м/с)	Число		Sa'''''''' (м)	Число		f2 (0,08 - 0,8)	Число	
Vo_уклон_н (м/с)	Число		Sa''''''''' (м)	Число		f3 (0,08 - 0,8)	Число	
Vп (м/с)	Число		Sa'''''''''' (м)	Число		fn (0,08 - 0,8)	Число	
Vподъем (м/с)	Число		Sa''''''''''' (м)	Число		η (0,5 - 0,86)	Число	
Vподъем_н (м/с)	Число		Sa'''''''''''' (м)	Число		φ (0,015 - 0,3)	Число	
Vсл (м/с)	Число		Sa''''''''''''' (м)	Число		Kz (1,0 - 1,6)	Число	
Vуклон (м/с)	Число		Sa'''''''''''''' (м)	Число				
Vуклон_н (м/с)	Число		Sa''''''''''''''' (м)	Число				
Vю (м/с)	Число		Sa'''''''''''''''' (м)	Число				
Перевод V (км/ч) → V (м/с)	30		IV Время					
V (км/ч) - перевод	Число		V (км/ч) - результат	Число				
III Путь ТС			Vo (км/ч) - результат	Число				
S1 (м)	Число		Vo_добавочная (км/ч)	68.65950771				
S2 (м)	Число		Анализ ДТП					
S4_н (м)	Число		ΔH_грузового (мм)	Текст				
S4_подъем (м)	Число		ΔH_легкового (мм)	Текст				
			BeltOFF	Текст				

Рисунок 4.5. Происшествие №1: Занесенные данные в ЭС «Анализ ДТП»

Модель решения представлена на рисунке 4.6 в виде графа.

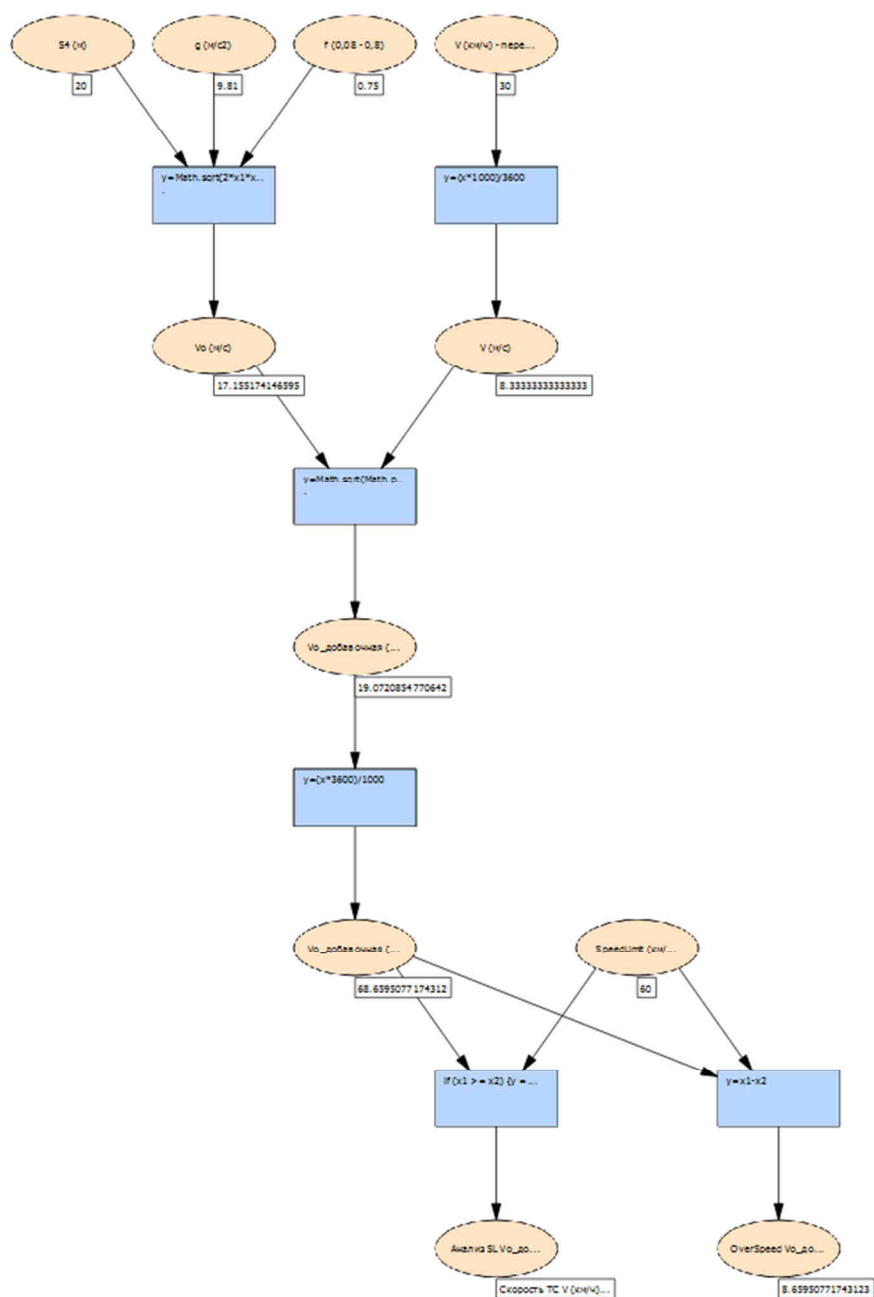


Рисунок 4.6. Граф-решения происшествия №1

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 5 шагов:

Шаг № 0

Отношение: V_0 – скорость ТС перед началом торможения

Правило: V_0 – скорость ТС перед началом торможения

Входные параметры:

S_4 (м)=20;

g (м/с²)=9.81;

f (0,08 - 0,8)=0.75;

Формула:

$y = \text{Math.sqrt}(2 * x_1 * x_2 * x_3)$

Результат: V_0 (м/с)=17.155174146595;

Шаг № 1

Отношение: Перевод V (км/ч) $\rightarrow$ V (м/с)

Правило: V (км/ч) $\rightarrow$ V (м/с)

Входные параметры:

V (км/ч) - перевод=30;

Формула:

$y = (x * 1000) / 3600$

Результат: V (м/с)=8.333333333333333;

Шаг № 2

Отношение: V_o _добавочная - скорость автомобиля перед началом торможения при добавочной скорости V в момент столкновения ТС

Правило: V_o _добавочная - скорость автомобиля перед началом торможения при добавочной скорости V в момент столкновения ТС

Входные параметры:

V (м/с)=8.333333333333333;

V_o (м/с)=17.155174146595;

Формула:

$y = \text{Math.sqrt}(\text{Math.pow}(x1, 2) + \text{Math.pow}(x2, 2))$

Результат: V_o _добавочная (м/с)=19.0720854770642;

Шаг № 3

Отношение: Перевод V (м/с) $\rightarrow$ V (км/ч)

Правило: V_o _добавочная (м/с) $\rightarrow$ V_o _добавочная (км/ч)

Входные параметры:

V_o _добавочная (м/с)=19.0720854770642;

Формула:

$y = (x * 3600) / 1000$

Результат: V_o _добавочная (км/ч)=68.6595077174312;

Шаг № 4

Отношение: **SpeedLimit** - ограничение максимальной скорости

Правило: Анализ **SL** V_o _добавочная - параметр определяющий нарушение скоростного режима водителем по V_o _добавочная

Входные параметры:

SpeedLimit (км/ч)=60;

V_o _добавочная (км/ч)=68.6595077174312;

Формула:

if ($x1 \geq x2$) { y = 'Скорость ТС V (км/ч) $\leq$ **SpeedLimit**, Водитель соблюдал скоростной режим';} **else** { y = 'Скорость ТС V (км/ч) $\geq$ **SpeedLimit**, Водитель не соблюдал скоростной режим';}

Результат: Анализ **SL** V_o _добавочная=Скорость ТС V (км/ч) $>$ **SpeedLimit**, Водитель не соблюдал скоростной режим;

Шаг № 5

Отношение: S_n , S_{n_ly} , L_a , L_b , M_1 , M_2 , ΔV , ΔV_3 , $V_{ю}$, ΔV_3 (в зависимости от $j_{сл}$), $V_{ю}$ (в зависимости от $j_{сл}$), **OverSpeed** V , **OverSpeed** V_o , **OverSpeed** V_o _добавочная

Правило: **OverSpeed** $V_{o_добавочная}$ – превышение максимальной скорости $V_{o_добавочная}$

Входные параметры:

$V_{o_добавочная}$ (км/ч)=68.6595077174312;

SpeedLimit (км/ч)=60;

Формула:

$y=x1-x2$

Результат: **OverSpeed** $V_{o_добавочная}$ (км/ч)=8.65950771743123;

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $V_0 > SpeedLimit = 68,65 \text{ км/ч} > 60 \text{ км/ч}$. Следовательно, водитель Toyota Carib не соблюдал скоростной режим на ул. Учебной. Водитель Toyota Carib двигался со скоростью 68,65 км/ч при максимально разрешенной 60 км/ч, тем самым превысив максимально разрешенную на данном участке скорость на 8,66 км/ч.

Для полноты представляемой информации, опираясь на данные полученные из ЭС «Анализ ДТП» реконструируем происшествие №1 при помощи СИМ Virtual CRASH 3.0. На рисунке 4.7 представлена реконструкция событий ДТП, которая разделена на три основных этапа: момент торможения ТС Toyota Carib, момент первого контакта и момент остановки ТС.



Рисунок 4.7. Реконструкция происшествия №1

Таким образом, можно сделать следующий вывод: если бы тормозная система на автомобиле Toyota Carib частично не отказала, а водитель бы соблюдал скоростной режим на ул. Учебной, то ДТП можно было бы избежать. ДТП произошло по причине неисправности ТС Toyota Carib.

4.3. Происшествие №2: ДТП Volkswagen Polo и LADA (BA3) 2114

Происшествие №2: Автомобиль Volkswagen Polo столкнулся с автомобилем LADA (BA3) 2114 на дворовой территории. Со слов водителя

Volkswagen Polo, ДТП произошло из-за плохой видимости, также он утверждает, что не нарушал скоростного режима на дворовой территории. По его показаниям скорость LADA (BA3) 2114 перед торможением была не ниже 50 км/ч. По замерам длина тормозного пути LADA (BA3) 2114 составила 6,9 м. По показаниям водителя LADA (BA3) 2114, его скорость в момент удара составляла 30 км/ч.

Дорога на дворовой территории с асфальтобетонным покрытием. Во время ДТП был небольшой дождь. Прибывший сотрудник Госавтоинспекции на место ДТП, признал виновным водителя Volkswagen Polo, так как он не соблюдал правило встречного разъезда. Разрешенная максимальная скорость на дворовой территории не более 20 км/ч. Необходимо определить, правильно ли, что сотрудник Госавтоинспекции признал виновным водителя Volkswagen Polo? Дать заключение по уровню деформации кузова ТС LADA (BA3) 2114.

Исходные данные: $V = 30$ км/ч; $S_4 = 6,9$ м; $f = 0,45$; $SpeedLimit = 20$ км/ч.

Найти: Определить уровень деформации кузова ТС LADA (BA3) 2114. Установить, правильно ли, что сотрудник Госавтоинспекции признал виновным водителя Volkswagen Polo?

Фотоматериалы происшествия представлены на рисунках 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 и 4.13.

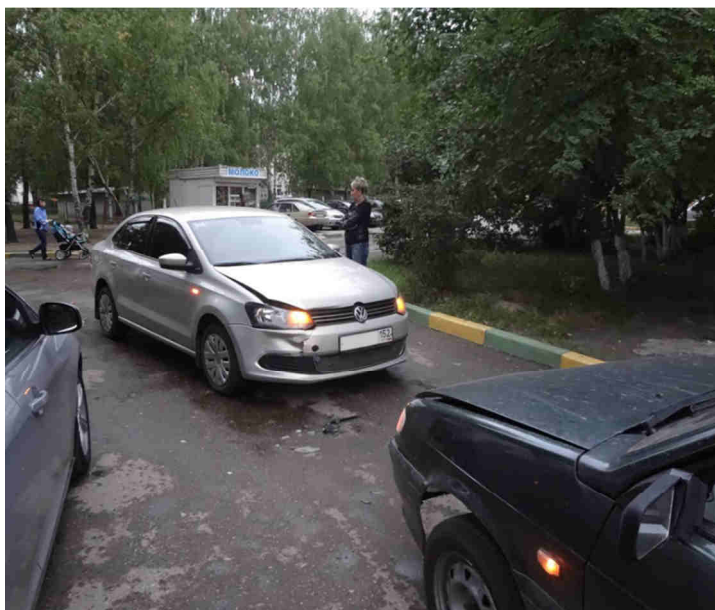


Рисунок 4.8. Фотоматериалы происшествия №2: Общая картина ДТП со стороны ТС LADA (BAZ) 2114

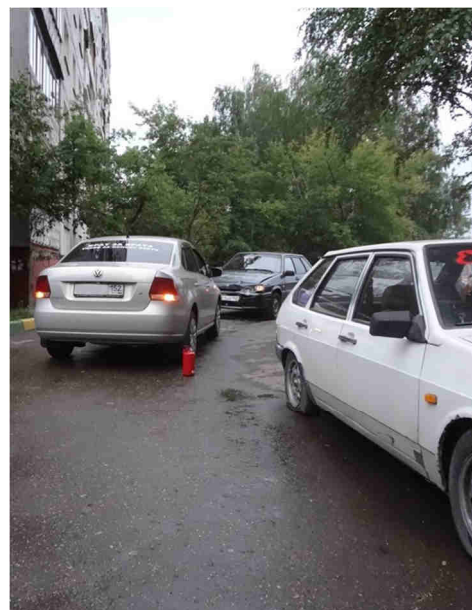


Рисунок 4.9. Фотоматериалы происшествия №2: Общая картина ДТП со стороны ТС Volkswagen Polo

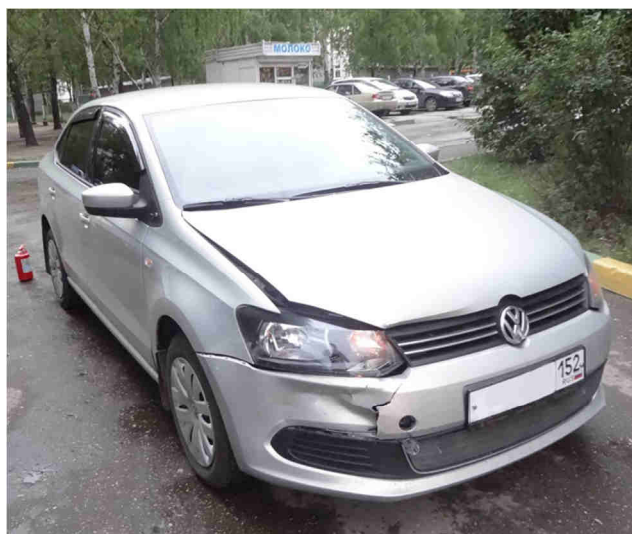


Рисунок 4.10. Фотоматериалы происшествия №2: Повреждения ТС Volkswagen Polo

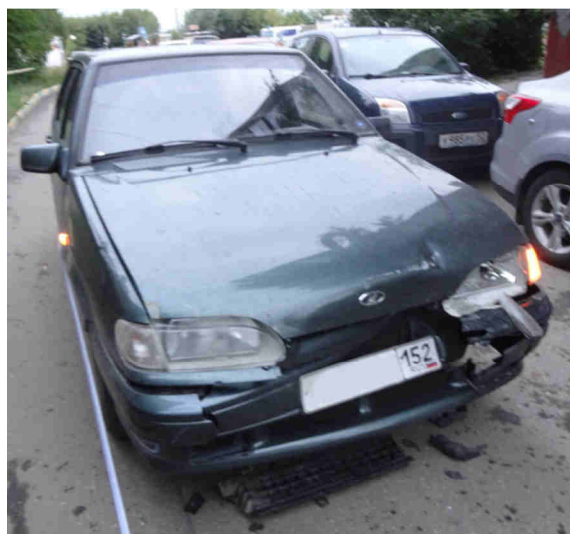


Рисунок 4.11. Фотоматериалы происшествия №2: Повреждения ТС LADA (BAZ) 2114

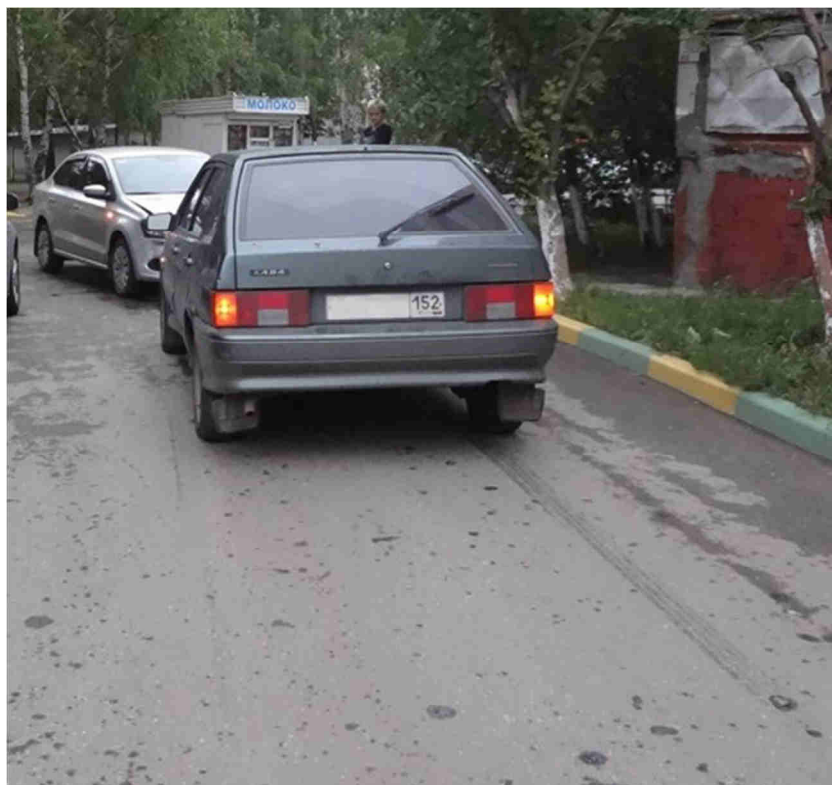


Рисунок 4.12. Фотоматериалы происшествия №2: Тормозной путь ТС LADA (ВАЗ) 2114



Рисунок 4.13. Фотоматериалы происшествия №2: Замеры тормозного пути ТС LADA (ВАЗ) 2114

Решение: Для решения поставленной задачи используется последовательно-параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы. В качестве доминирующей системы выбрана ЭС.

Входные данные занесем в ЭС «Анализ ДТП». Данные с полученным результатом представлены на рисунке 4.14.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП			S4_подъем_n (м)	Число		BeltON	Текст	
I Характеристики ДТП и ТС			S4_уклон (м)	Число		P – предотвращение ДТП		
II Скорость ТС			S4_уклон_n (м)	Число		P_Ly – предотвращение ДТП		
ΔV (м/с)	Число		S4' (м)	Число		Скоростной режим		
V (м/с)	8.333333333		S4'_n (м)	Число		OverSpeed		
V' (м/с)	Число		S4'' (м)	Число		OverSpeed V (км/ч)	Число	
V_n (м/с)	Число		S4''' (м)	Число		OverSpeed Vo (км/ч)	Число	
Vo (м/с)	7.805132926		S4'''' (м)	Число		OverSpeed Vo_добавочная (км/ч)	21 10382580	
Vo_БЗ (м/с)	Число		S4''''' (м)	Число		SpeedLimit (км/ч)	20	
Vo_n (м/с)	Число		S6_грузового (м)	Число		Анализ SL		
Vкр.з. (м/с)	Число		S6_легкового (м)	Число		Анализ SL V	Текст	
Vкр.о. (м/с)	Число		Se (м)	Число		Анализ SL Vo	Текст	
Vн (м/с)	Число		Se_Ly (м)	Число		Анализ SL Vo_добавочная	Скорость ТО	
Vн_Ly (м/с)	Число		Sk (м)	Число		Константы		
Vo_n_БЗ (м/с)	Число		Sn (м)	Число		g (м/с ²)	9.81	
Vo_добавочная (м/с)	11.41772939		Sn_Ly (м)	Число		lгрузового (м)	14	
Vo_подъем (м/с)	Число		Sockолов (м)	Число		lлегкового (м)	5	
Vo_подъем_n (м/с)	Число		Sост (м)	Число		Коэффициенты		
Vo_уклон (м/с)	Число		Sn (м)	Число		f1 (0,08 - 0,8)	Число	
Vo_уклон_n (м/с)	Число		Sn' (м)	Число		f2 (0,08 - 0,8)	Число	
Vп (м/с)	Число		Sn'_Ly (м)	Число		f3 (0,08 - 0,8)	Число	
Vподъем (м/с)	Число		Snad (м)	Число		fn (0,08 - 0,8)	Число	
Vподъем_n (м/с)	Число		Sподъем (м)	Число		η (0,5 - 0,86)	Число	
Vсп (м/с)	Число		Sc (м)	Число		φ (0,015 - 0,3)	Число	
Vуклон (м/с)	Число		Sck (м)	Число		Kз (1,0 - 1,6)	Число	
Vуклон_n (м/с)	Число		Scl (м)	Число				
Vю (м/с)	Число		St (м)	Число				
Перевод V (км/ч) → V (м/с)	30		Syd (м)	Число				
V (км/ч) - перевод	Число							
Vo (км/ч) - перевод	Число							
III Путь ТС			IV Время					
S1 (м)	Число		V (км/ч) - результат	Число				
S2 (м)	Число		Vo (км/ч) - результат	Число				
S3 (м)	Число		Vo_добавочная (км/ч)	41.10382580				
S4 (м)	6,9		Анализ ДТП					
S4_n (м)	Число		ΔH_грузового (мм)	Текст				
S4_подъем (м)	Число		ΔH_легкового (мм)	300 (Легкое)				
			BeltOFF	Текст				

Рисунок 4.14. Происшествие №2: Занесенные данные в ЭС «Анализ ДТП»

Модель решения представлена на рисунке 4.15 в виде графа.

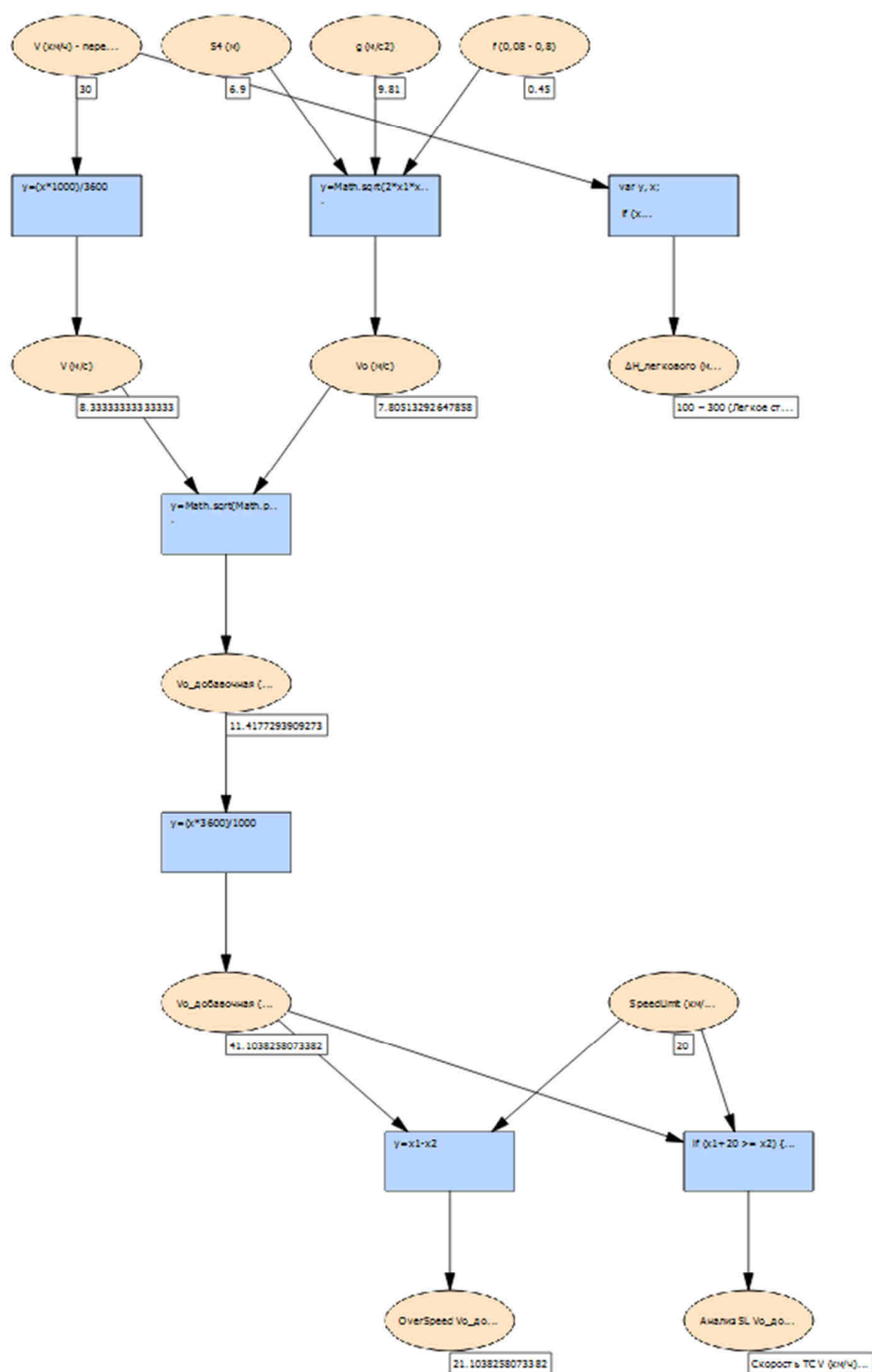


Рисунок 4.15. Граф-решения происшествия №2

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 7 шагов:

Шаг № 0

Отношение: Перевод V (км/ч) $\rightarrow$ V (м/с)

Правило: V (км/ч) $\rightarrow$ V (м/с)

Входные параметры:

V (км/ч) - перевод=30;

Формула:

$y = (x * 1000) / 3600$

Результат: V (м/с)=8.333333333333333;

Шаг № 1

Отношение: V_0 – скорость ТС перед началом торможения

Правило: V_0 – скорость ТС перед началом торможения

Входные параметры:

S_4 (м)=6.9;

g (м/с²)=9.81;

f (0,08 - 0,8)=0.45;

Формула:

$y = \text{Math.sqrt}(2 * x_1 * x_2 * x_3)$

Результат: V_0 (м/с)=7.80513292647858;

Шаг № 2

Отношение: V_0 _добавочная – скорость автомобиля перед началом

торможения при добавочной скорости V в момент столкновения ТС

Правило: V_0 _добавочная – скорость автомобиля перед началом

торможения при добавочной скорости V в момент столкновения ТС

Входные параметры:

V (м/с)=8.333333333333333;

V_0 (м/с)=7.80513292647858;

Формула:

$y = \text{Math.sqrt}(\text{Math.pow}(x_1, 2) + \text{Math.pow}(x_2, 2))$

Результат: V_0 _добавочная (м/с)=11.4177293909273;

Шаг № 3

Отношение: Перевод V (м/с) → V (км/ч)

Правило: V_0 _добавочная (м/с) → V_0 _добавочная (км/ч)

Входные параметры:

V_0 _добавочная (м/с)=11.4177293909273;

Формула:

$y = (x * 3600) / 1000$

Результат: V_0 _добавочная (км/ч)=41.1038258073382;

Шаг № 4

Отношение: S_n , S_{n_ly} , La , Lb , M_1 , M_2 , ΔV , ΔV_3 , $V_{ю}$, ΔV_3 (в зависимости от $j_{сл}$), $V_{ю}$ (в зависимости от $j_{сл}$), $OverSpeed V$,

$OverSpeed V_0$, $OverSpeed V_0$ _добавочная

Правило: $OverSpeed V_0$ _добавочная – превышение максимальной скорости V_0 _добавочная

Входные параметры:

V_0 _добавочная (км/ч)=41.1038258073382;

$SpeedLimit$ (км/ч)=20;

Формула:

$y = x_1 - x_2$

Результат: $OverSpeed V_0$ _добавочная (км/ч)=21.1038258073382;

Шаг № 5

Отношение: ΔH _легкового – повреждения легкового автомобиля при столкновении в зависимости от скорости

Правило: $\Delta H_{\text{легкового}}$ – повреждения легкового автомобиля при столкновении в зависимости от скорости V (км/ч) - перевод
Входные параметры:

V (км/ч) - перевод=30;

Формула:

```
var y, x;  
if (x <= 15 ) {  
y = '<100 (Легкое столкновение)';  
} else if (x > 15 && x <= 30) {  
y = '100 - 300 (Легкое столкновение)';  
} else if (x > 30 && x <= 50) {  
y = '< 600 (Столкновения средней тяжести)';  
} else if (x > 50 && x <= 80) {  
y = '400 - 900 (Тяжелые столкновения)';  
} else if (x > 80) {  
y = '> 900 (ТС восстановлению не подлежит)';  
}  
}
```

Результат: $\Delta H_{\text{легкового}}$ (мм)=100 - 300 (Легкое столкновение);

Шаг № 6

Отношение: **SpeedLimit** - ограничение максимальной скорости

Правило: Анализ **SL Vo_добавочная** – параметр определяющий нарушение скоростного режима водителем по **Vo_добавочная**

Входные параметры:

SpeedLimit (км/ч)=20;

Vo_добавочная (км/ч)=41.1038258073382;

Формула:

```
if (x1 >= x2) {y = 'Скорость ТС V (км/ч) ≤ SpeedLimit, Водитель  
соблюдал скоростной режим';} else {y = 'Скорость ТС V (км/ч)  
> SpeedLimit, Водитель не соблюдал скоростной режим';}
```

Результат: Анализ **SL Vo_добавочная**=Скорость ТС V (км/ч) >
SpeedLimit, Водитель не соблюдал скоростной режим;

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: Учитывая, тот факт, что скорость ТС LADA (BA3) 2114 в момент первого контакта составляла 30 км/ч, то деформация кузова автомобиля является легкой, не более 300 мм.

Так как $V_0 > SpeedLimit = 41,10 \text{ км/ч} > 20 \text{ км/ч}$. Следовательно, водитель LADA (BA3) 2114 не соблюдал скоростной режим на дворовой территории. Водитель LADA (BA3) 2114 двигался со скоростью 41,10 км/ч при максимально разрешенной 20 км/ч, тем самым превысив максимально разрешенную на данном участке скорость на 21,10 км/ч.

Для полноты представляемой информации, опираясь на данные полученные из ЭС «Анализ ДТП» реконструируем происшествие №2 при

помощи СИМ Virtual CRASH 3.0. На рисунке 4.16 представлена реконструкция событий ДТП, которая разделена на три основных этапа: момент, когда водитель ТС LADA (BA3) 2114 заметил ТС Volkswagen Polo, момент первого контакта и момент остановки ТС.



Рисунок 4.16. Реконструкция происшествия №2

Таким образом, можно сделать следующий вывод: водитель Volkswagen Polo действительно не соблюдал пункт 11.7 ПДД: «В случае если встречный разъезд затруднен, водитель, на стороне которого имеется препятствие,

должен уступить дорогу». Сотрудник Госавтоинспекции правильно определил виновного, однако он также должен был выписать административный штраф водителю ТС LADA (BA3) 2114 за нарушение пункта 10.2 ПДД: «В населенных пунктах разрешается движение транспортных средств со скоростью не более 60 км/ч, а в жилых зонах и на дворовых территориях не более 20 км/ч», что он не сделал, так как не стал учитывать тормозной путь, который оставил автомобиль LADA (BA3) 2114.

Однако стоит отметить, если бы водитель ТС LADA (BA3) 2114 соблюдал скоростной режим на дворовой территории, а водитель Volkswagen Polo соблюдал правило встречного разъезда, то ДТП можно было бы избежать.

В рассматриваемом происшествии сотрудник Госавтоинспекции правильно определил виновного в ДТП, но он совершил ошибку, что не выписал административный штраф водителю ТС LADA (BA3) 2114.

4.4. Происшествие №3: ДТП Hyundai Accent и Suzuki SX4

Происшествие №3: Автомобиль Hyundai Accent, следовавший по ул. Студенческая, столкнулся с автомобилем Suzuki SX4, следовавшим также по ул. Студенческая. Со слов водителя автомобиля Suzuki SX4, он совершил экстренное торможение перед дорожным переходом, что бы избежать наезда на пешехода. По показаниям водителя Hyundai Accent, из-за плохих дорожных условий – нерасчищенного дорожного полотна от снега и образовавшегося колеинового углубления, он не справился с управлением и столкнулся с автомобилем Suzuki SX4. В момент удара скорость его автомобиля составляла 25 км/ч.

На момент ДТП на ул. Студенческая был обледеневший асфальт. Разрешенная максимальная скорость на данном участке дороги – 60 км/ч. По замерам длина тормозного пути Hyundai Accent составила 15 м. Также установлена время реакции водителя ТС Hyundai Accent – 0,6 с, время

запаздывания срабатывания тормозного привода автомобиля Hyundai Accent составила 0,5 с, а время нарастания замедления 0,7 с.

Определить степень травмирования водителя ТС Hyundai Accent от столкновения при условии, что он не был пристегнут ремнем безопасности. Необходимо установить, нарушил ли водитель Hyundai Accent правила дорожного движения по скоростному режиму?

Исходные данные: $V = 25 \text{ км/ч}$; $S_4 = 15 \text{ м}$; $t_1 = 0,6 \text{ с}$; $t_2 = 0,5 \text{ с}$; $t_3 = 0,7 \text{ с}$; $f = 0,08$; $SpeedLimit = 60 \text{ км/ч}$; $l_{\text{легкового}} = 4,117 \text{ м}$.

Найти: Определить степень травмирования водителя ТС Hyundai Accent от столкновения при условии, что он не был пристегнут ремнем безопасности. Установить, нарушил ли водитель Hyundai Accent правила дорожного движения по скоростному режиму? Определить дистанцию безопасности, которую должен был выдержать водитель автомобиля Hyundai Accent, что бы избежать столкновения с ТС Suzuki SX4.

Фотоматериалы происшествия представлены на рисунках 4.17, 4.18, 4.19 и 4.20.

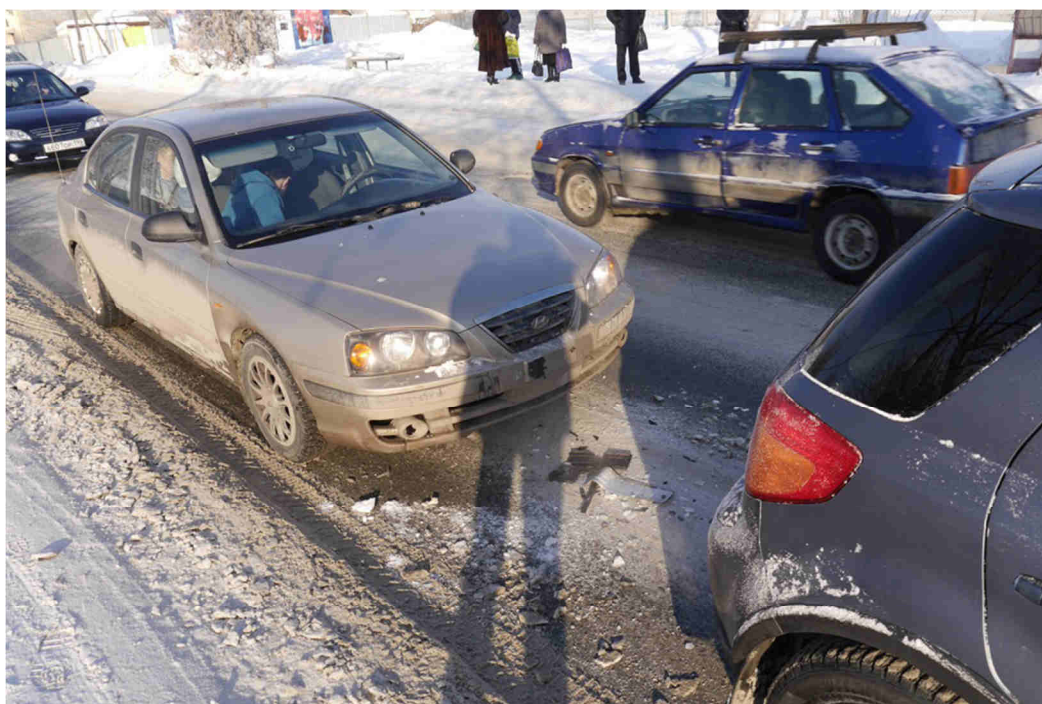
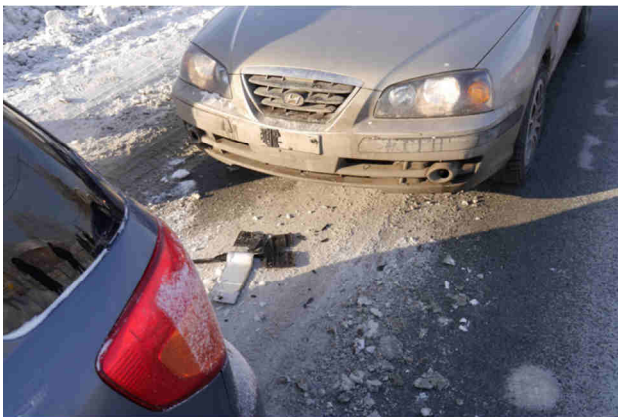
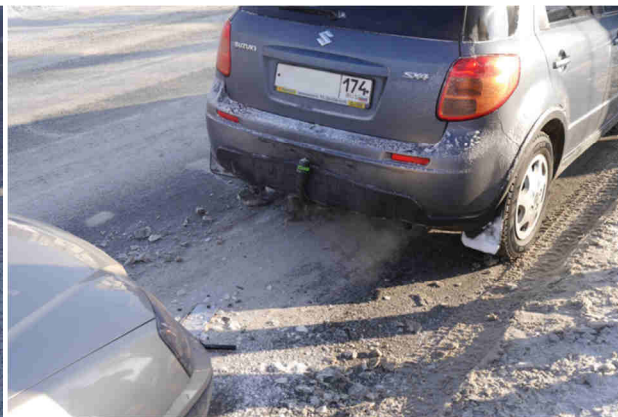


Рисунок 4.17. Фотоматериалы происшествия №3: Общая картина ДТП



**Рисунок 4.18. Фотоматериалы
происшествия №3: Повреждения ТС
Hyundai Accent**



**Рисунок 4.19. Фотоматериалы
происшествия №3: Повреждения ТС
Suzuki SX4**

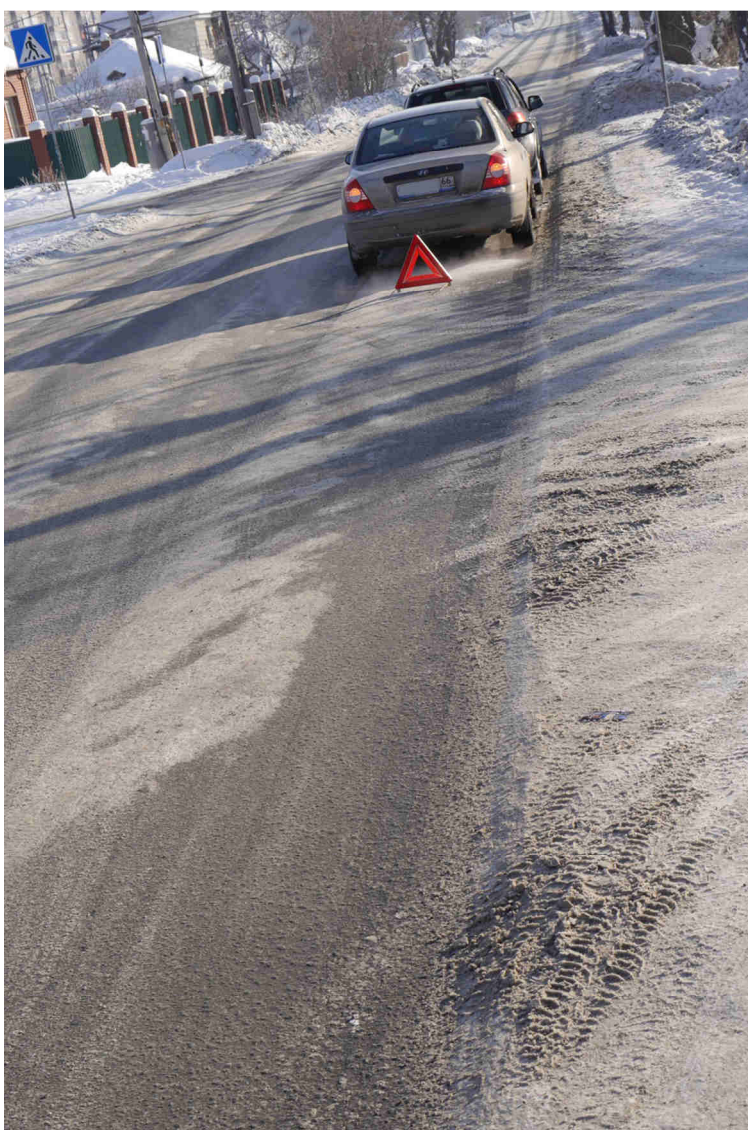


Рисунок 4.20. Фотоматериалы происшествия №3: Тормозной путь ТС Hyundai Accent

Решение: Для решения поставленной задачи используется параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ, то есть одна система обращается за данными к другой.

Входные данные занесем в ЭС «Анализ ДТП». Данные с полученным результатом представлены на рисунке 4.21.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
- ДТП - I Характеристики ДТП и ТС - Характеристика ДТП - Характеристика ТС - B (м) Число - hс (м) Число - hстекала (м) Число - jmax (м/с²) 0.7848 - jср (м/с²) Число - L (м) Число - La (м) Число - Lb (м) Число - lx (м) 0 - ly (м) Число - M (кг) Число - M1 (кг) Число - M2 (кг) Число - ΔX (м) Число - ΔY (м) Число - Aw (Н·м) Число - Ax (Н·м) Число - Ap (Н·м) Число - As (Н·м) Число - II Скорость ТС - ΔV (м/с) Число - ΔV3 (м/с) Число - V (м/с) 6.944444444 - V' (м/с) Число - V_n (м/с) Число - Vo (м/с) 4.852215988 - Vo_F3 (м/с) Число - Vo_n (м/с) Число - Vкр.з. (м/с) Число - Vкр.о. (м/с) Число - Vн (м/с) Число - Vн_ly (м/с) Число - Vo_n_F3 (м/с) Число - Vo_добавочная (м/с) 8.471676849 - Vo_подъем (м/с) Число - Vo_подъем_n (м/с) Число - Vo_уклон (м/с) Число - Vo_уклон_n (м/с) Число - Vп (м/с) Число - Vподъем (м/с) Число - Vподъем_n (м/с) Число - Vсн (м/с) Число - Vуклон (м/с) Число - Vуклон_n (м/с) Число - Vю (м/с) Число			- Перевод V (км/ч) → V (м/с) - V (км/ч) - перевод 25 - Vo (км/ч) - перевод Число - III Путь ТС - S1 (м) Число - S2 (м) Число - S3 (м) Число - S4 (м) 15 - S4_n (м) Число - S4_подъем (м) Число - S4_подъем_n (м) Число - S4_уклон (м) Число - S4_уклон_n (м) Число - S4' (м) Число - S4'_n (м) Число - S4'' (м) Число - S4''' (м) Число - S4''_n (м) Число - S6_грузового (м) Число - S6_легкового (м) 26.15271318 - Sв (м) Число - Sв_ly (м) Число - Sд (м) Число - Sк (м) Число - Sн (м) Число - Sн_ly (м) Число - Sосколков (м) Число - Sост (м) Число - Sн (м) Число - Sн' (м) Число - Sн'_ly (м) Число - Sпад (м) Число - Sподъем (м) Число - Sс (м) Число - Sck (м) Число - Scl (м) Число - Sт (м) Число - Sya (м) Число - IV Время - a (дел) Число - b (дел) Число - c (дел) Число - d (дел) Число - e (дел) Число - tij (м/с²·дел) Число - mtt (с/дел) Число - tΣ (с) 1.45			- t1 (с) 0,6 - t2 (с) 0,5 - t3 (с) 0,7 - t4 (с) Число - tw (с) Число - tw_ly (с) Число - td (с) Число - tn' (с) Число - tn'_ly (с) Число - ton (с) Число - tosколков (с) Число - tcl (с) Число - tr (с) Число - V (км/ч) - результат Число - Vo (км/ч) - результат Число - Vo_добавочная (км/ч) 30.49803665 - Анализ ДТП - ΔH_грузового (мм) Текст - ΔH_легкового (мм) Текст - BehOFF Легкие и уме - BehON Текст - P - предотвращение ДТП - P_ly - предотвращение ДТП - Скоростной режим - OverSpeed - SpeedLimit (км/ч) 60 - Анализ SL - Анализ SL V Текст - Анализ SL Vo Текст - Анализ SL Vo_добавочная Скорость ТО - Константы - g (м/с²) 9.81 - lгрузового (м) 14 - lлегкового (м) 4,117 - Коэффициенты - f (0,08 - 0,8) 0,08 - f1 (0,08 - 0,8) Число - f2 (0,08 - 0,8) Число - f3 (0,08 - 0,8) Число - fn (0,08 - 0,8) Число - η (0,5 - 0,86) Число - φ (0,015 - 0,3) Число - K* (1,0 - 1,6) Число		

Рисунок 4.21. Происшествие №3: Занесенные данные в ЭС «Анализ ДТП»

Модель решения представлена на рисунке 4.22 в виде графа.

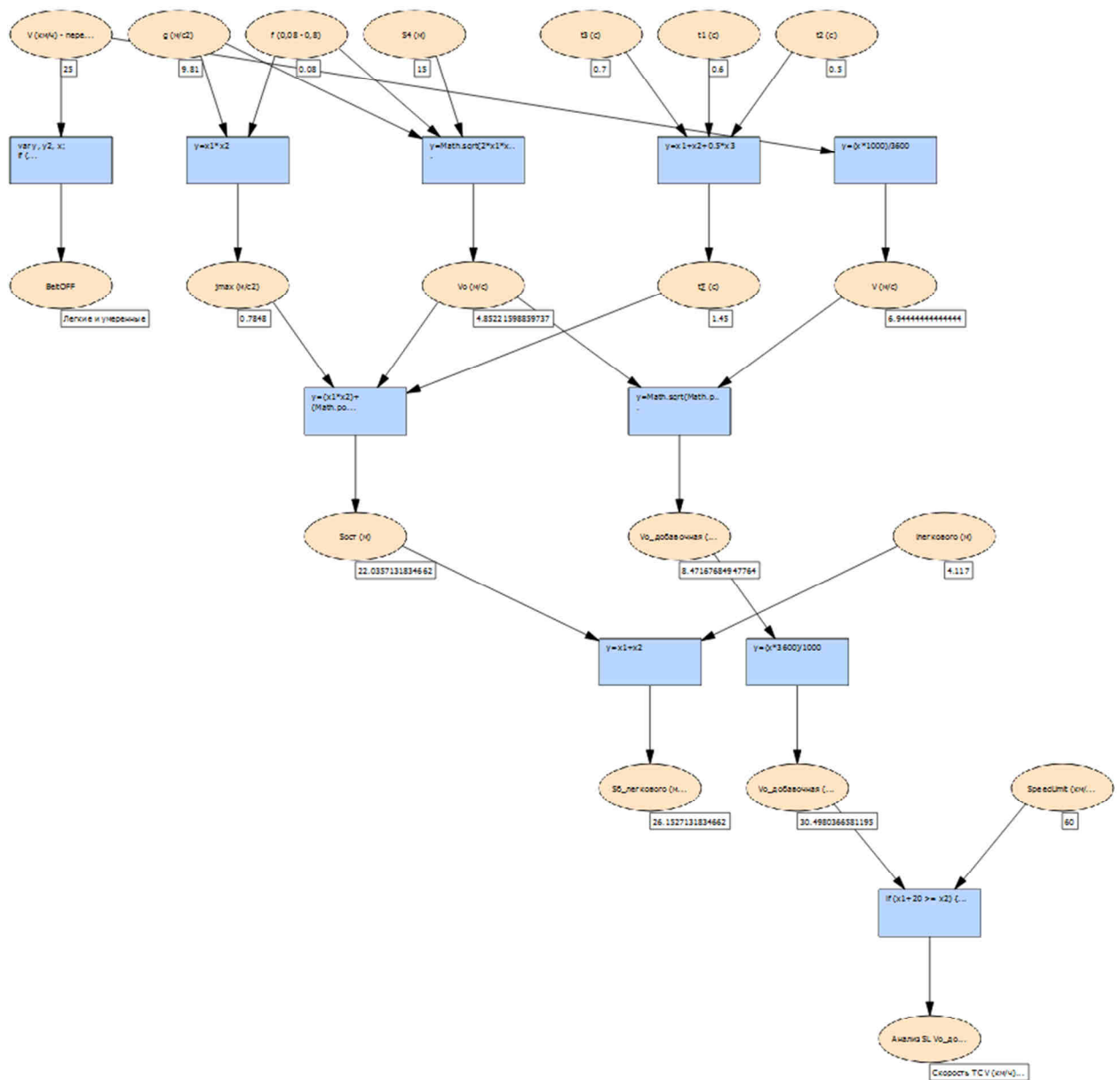


Рисунок 4.22. Граф-решения происшествия №3

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 10 шагов:

Шаг № 0

Отношение: **BeltOFF** – водитель не пристегнут ремнем безопасности

Правило: **BeltOFF** – водитель не пристегнут ремнем безопасности **V** (км/ч) - перевод

Входные параметры:

V (км/ч) - перевод=25;

Формула:

```

var y, y2, x;
if (x <=20) {
y= 'Легкие и без ранений';
} else if (x >20 && x <= 30) {
y = 'Легкие и умеренные';
} else if (x >30 && x <= 40) {
y = 'Умеренные и тяжелые';
} else if (x >40 && x <= 50) {

```

```

y = 'Тяжелые и смертельные';
} else if (x >50) {
y = 'Тяжелые и смертельные';
}
Результат: BeltOFF=Легкие и умеренные;
-----

```

```

Шаг № 1
Отношение: t1, t2, t3, t4, jmax, jmax (без Кэ), S1, S2, Sp',
Sp'_ly, Spад, Суд
Правило: jmax (без Кэ) - величина замедления без Кэ -
поправочный коэффициент эффективности торможения
Входные параметры:
g (м/с2)=9.81;
f (0,08 - 0,8)=0.08;
Формула:
y=x1*x2
Результат: jmax (м/с2)=0.7848;
-----

```

```

Шаг № 2
Отношение: Vo - скорость ТС перед началом торможения
Правило: Vo - скорость ТС перед началом торможения
Входные параметры:
S4 (м)=15;
g (м/с2)=9.81;
f (0,08 - 0,8)=0.08;
Формула:
y=Math.sqrt(2*x1*x2*x3)
Результат: Vo (м/с)=4.85221598859737;
-----

```

```

Шаг № 3
Отношение: tΣ - суммарное время
Правило: tΣ - суммарное время
Входные параметры:
t3 (с)=0.7;
t1 (с)=0.6;
t2 (с)=0.5;
Формула:
y=x1+x2+0.5*x3
Результат: tΣ (с)=1.45;
-----

```

```

Шаг № 4
Отношение: Sост - длина остановочного пути
Правило: Sост - длина остановочного пути
Входные параметры:
jmax (м/с2)=0.7848;
tΣ (с)=1.45;
Vo (м/с)=4.85221598859737;
Формула:
y=(x1*x2)+(Math.pow(x2,2)/(2*z))

```

Результат: $S_{ост} (м)=22.0357131834662$;

Шаг № 5

Отношение: $S_{б_грузового}, S_{б_легкового}, \Delta X, L, M, S_{осколков}, V_o, t_{оп}, V_{сл}$

Правило: $S_{б_легкового}$ - длина дистанции безопасности легкового ТС

Входные параметры:

$S_{ост} (м)=22.0357131834662$;

$l_{легкового} (м)=4.117$;

Формула:

$y=x_1+x_2$

Результат: $S_{б_легкового} (м)=26.1527131834662$;

Шаг № 6

Отношение: Перевод $V (км/ч) \rightarrow V (м/с)$

Правило: $V (км/ч) \rightarrow V (м/с)$

Входные параметры:

$V (км/ч)$ - перевод=25;

Формула:

$y=(x*1000)/3600$

Результат: $V (м/с)=6.944444444444444$;

Шаг № 7

Отношение: $V_o_{добавочная}$ - скорость автомобиля перед началом торможения при добавочной скорости V в момент столкновения ТС

Правило: $V_o_{добавочная}$ - скорость автомобиля перед началом торможения при добавочной скорости V в момент столкновения ТС

Входные параметры:

$V (м/с)=6.944444444444444$;

$V_o (м/с)=4.85221598859737$;

Формула:

$y=\text{Math.sqrt}(\text{Math.pow}(x_1, 2)+\text{Math.pow}(x_2, 2))$

Результат: $V_o_{добавочная} (м/с)=8.47167684947764$;

Шаг № 8

Отношение: Перевод $V (м/с) \rightarrow V (км/ч)$

Правило: $V_o_{добавочная} (м/с) \rightarrow V_o_{добавочная} (км/ч)$

Входные параметры:

$V_o_{добавочная} (м/с)=8.47167684947764$;

Формула:

$y=(x*3600)/1000$

Результат: $V_o_{добавочная} (км/ч)=30.4980366581195$;

Шаг № 9

Отношение: **SpeedLimit** - ограничение максимальной скорости

Правило: Анализ **SL** $V_o_{добавочная}$ - параметр определяющий нарушение скоростного режима водителем по $V_o_{добавочная}$

Входные параметры:

SpeedLimit (км/ч)=60;

Vo_добавочная (км/ч)=30.4980366581195;

Формула:

```
if (x1 >= x2) {y = 'Скорость ТС V (км/ч) ≤ SpeedLimit, Водитель  
соблюдал скоростной режим';} else {y = 'Скорость ТС V (км/ч)  
> SpeedLimit, Водитель не соблюдал скоростной режим';}
```

Результат: Анализ SL Vo_добавочная=Скорость ТС V (км/ч) >
SpeedLimit, Водитель не соблюдал скоростной режим;

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: Учитывая, тот факт, что скорость ТС Hyundai Accent в момент первого контакта составляла 25 км/ч, то не пристегнутый ремнем безопасности водитель получил легкие и умеренные травмы.

Так как $V_0 > SpeedLimit = 30,50 \text{ км/ч} > 20 \text{ км/ч}$. Следовательно, водитель Hyundai Accent не соблюдал скоростной режим на данном участке дороги.

Для того, что бы избежать ДТП водителю Hyundai Accent необходимо было соблюдать безопасную дистанцию перед ТС Suzuki SX4, которая составляла 26,15 м при рассматриваемых погодных условиях.

Для полноты представляемой информации, опираясь на данные полученные из ЭС «Анализ ДТП» реконструируем происшествие №3 при помощи СИМ Virtual CRASH 3.0. На рисунке 4.23 представлена реконструкция событий ДТП, которая разделена на три основных этапа: момент торможения ТС Hyundai Accent, момент первого контакта и момент остановки ТС. Стоит отметить, что модель реконструкции в СИМ можно начать создавать до начала работы ЭС, так как при решении используется параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ, то есть одна система обращается за данными к другой.

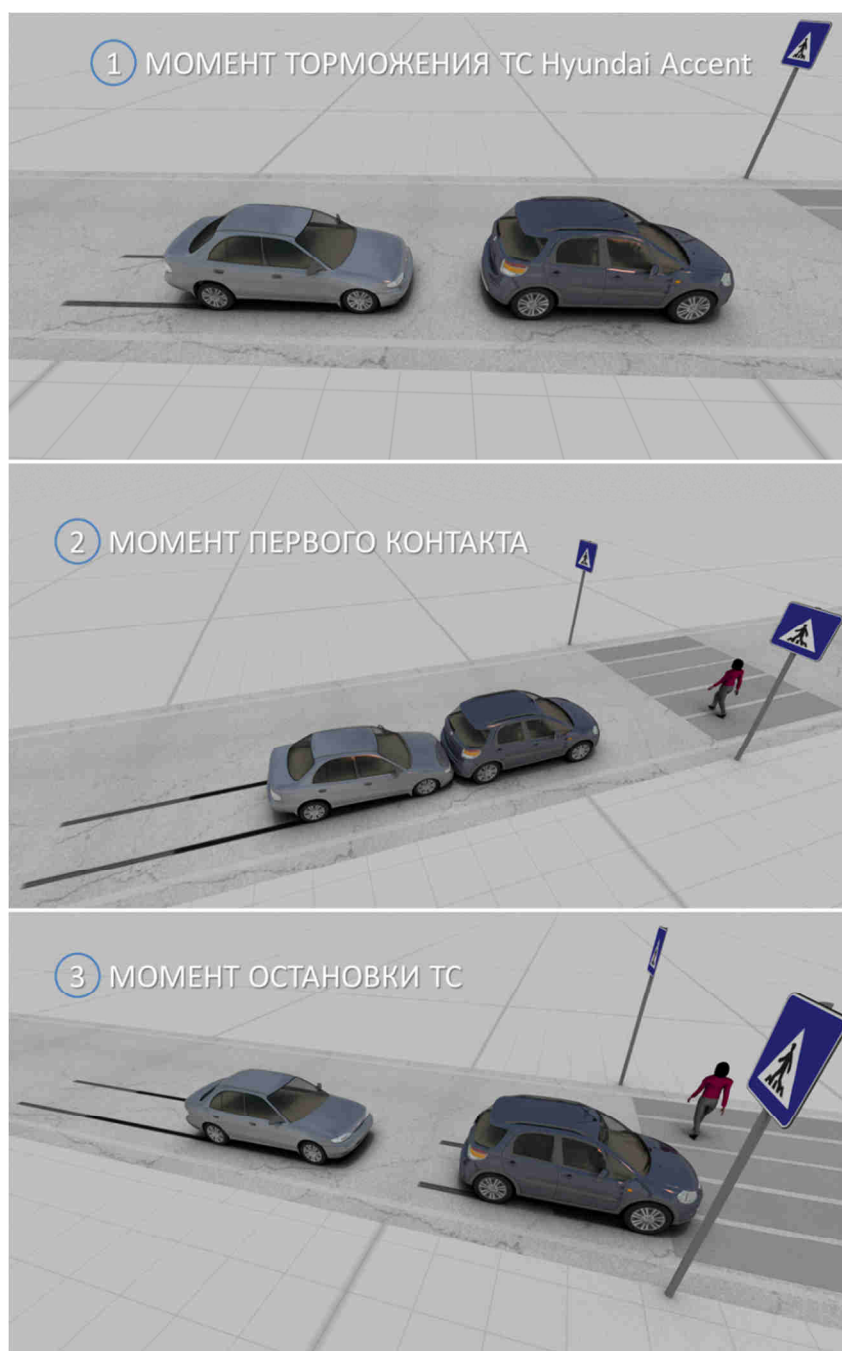


Рисунок 4.23. Реконструкция происшествия №3

Таким образом, можно сделать следующий вывод: ДТП произошло по вине водителя ТС Hyundai Accent, так как он не соблюдал безопасное расстояние до движущегося впереди ТС (пункт 9.10 ПДД «Водитель должен соблюдать такую дистанцию до движущегося впереди транспортного средства, которая позволила бы избежать столкновения, а также необходимый боковой интервал, обеспечивающий безопасность движения») и скоростной режим на заданном участке.

4.5. Происшествие №4: ДТП Citroen C6, наезд на пешехода

Происшествие №4: Автомобиль Citroen C6, следовавший по ул. Ремонтная, совершил наезд на пешехода, который переходил проезжую часть с левой стороны. Дорога на ул. Ремонтная с односторонним движением. Время реакции водителя составила 0,9 с, время запаздывания срабатывания привода 0,4 с, время замедления 0,2 с. Со слов свидетелей, установлено, что пешеход перебежал дорогу в неположенном месте со скоростью 4,17 м/с. По показаниям водителя Citroen C6 в момент наезда скорость его автомобиля составляла 40 км/ч.

Дорога на ул. Ремонтная с асфальтобетонным покрытием, в момент ДТП была сухая погода. Разрешенная максимальная скорость на данном участке дороги – 60 км/ч. По замерам длина тормозного пути ТС Citroen C6 составила 10 м. Основная сила удара пришлась на переднюю часть бампера и капот автомобиля. Расстояние от левого края проезжей части до автомобиля 1,7 м. Габаритная ширина автомобиля 1,86 м.

Определить, была ли у водителя в сложившейся ситуации техническая возможность избежать наезда на пешехода?

Исходные данные: $V = 11,11 \text{ м/с}$; $V_{II} = 4,17 \text{ м/с}$; $t_1 = 0,9 \text{ с}$; $t_2 = 0,4 \text{ с}$; $t_3 = 0,2 \text{ с}$; $S_4 = 10 \text{ м}$; $S_{II} = 1,7 \text{ м}$; $\Delta Y = 1,7 \text{ м}$; $B = 1,86 \text{ м}$; $f = 0,75$; $SpeedLimit = 60 \text{ км/ч}$.

Найти: Установить, была ли у водителя ТС Citroen C6 в сложившейся ситуации техническая возможность избежать наезда на пешехода?

По этическим причинам фотоматериалы происшествия №4 были заменены на фотоматериалы краш-теста рассматриваемого события. Фотоматериалы представлены на рисунках 4.24, 4.25, 4.26 и 4.27.

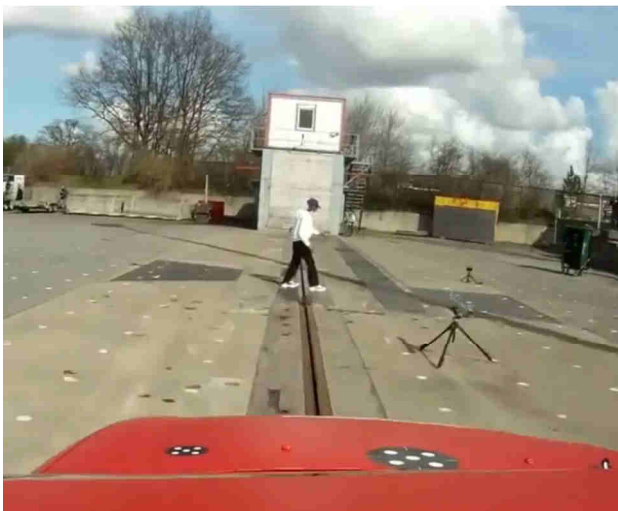


Рисунок 4.24. Фотоматериалы происшествия №4: Момент, когда водитель ТС Citroen C6 заметил пешехода



Рисунок 4.25. Фотоматериалы происшествия №4: Момент первого контакта

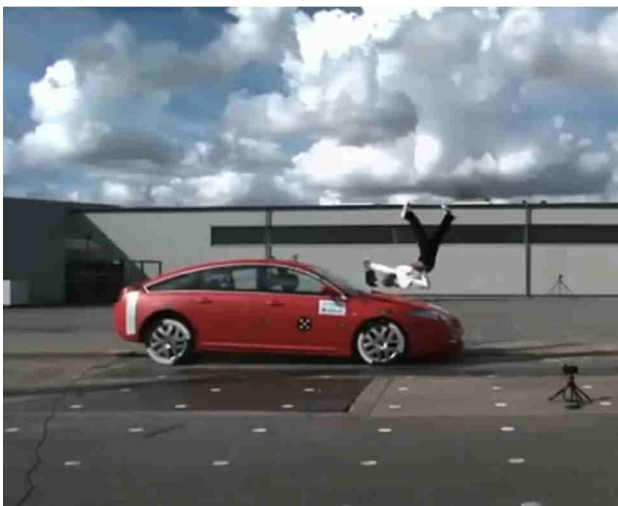


Рисунок 4.26. Фотоматериалы происшествия №4: Момент начала торможения ТС Citroen C6



Рисунок 4.27. Фотоматериалы происшествия №4: Момент остановки ТС Citroen C6

Решение: Для решения поставленной задачи используется последовательно-параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы. В качестве доминирующей системы выбрана ЭС.

Входные данные занесем в ЭС «Анализ ДТП». Данные с полученным результатом представлены на рисунке 4.28.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП			Перевод V (км/ч) → V (м/с)			t1 (с)	0,9	☐
I Характеристики ДТП и ТС			V (км/ч) - перевод	Число	☐	t2 (с)	0,4	☐
> Характеристика ДТП			Vo (км/ч) - перевод	Число	☐	t3 (с)	0,2	☐
Характеристика ТС			III Путь ТС			t4 (с)	Число	☐
B (м)	1,86	☐	S1 (м)	Число	☐	tw (с)	0.407673860	☐
hс (м)	Число	☐	S2 (м)	Число	☐	tw_y (с)	Число	☐
hстекала (м)	Число	☐	S3 (м)	Число	☐	ta (с)	Число	☐
jmax (м/с ²)	7.3575	☐	S4 (м)	10	☐	tn' (с)	1.318056091	☐
jср (м/с ²)	Число	☐	S4_n (м)	Число	☐	tn'_y (с)	Число	☐
L (м)	Число	☐	S4_подъем (м)	Число	☐	top (с)	Число	☐
La (м)	Число	☐	S4_подъем_n (м)	Число	☐	тосколов (с)	Число	☐
Lb (м)	Число	☐	S4_уклон (м)	Число	☐	тсл (с)	Число	☐
lx (м)	0	☐	S4_уклон_n (м)	Число	☐	tt (с)	Число	☐
ly (м)	Число	☐	S4' (м)	Число	☐	V (км/ч) - результат	Число	☐
M (кг)	Число	☐	S4'_n (м)	Число	☐	Vo (км/ч) - результат	Число	☐
M1 (кг)	Число	☐	S4'' (м)	Число	☐	Vo_добавочная (км/ч)	59.21776773	☐
M2 (кг)	Число	☐	S4''_n (м)	Число	☐	Анализ ДТП		
ΔX (м)	3.56	☐	S4''' (м)	Число	☐	ΔH_грузового (мм)	Текст	☐
ΔY (м)	1,7	☐	S4'''_n (м)	Число	☐	ΔH_легкового (мм)	Текст	☐
Ав (Н·м)	Число	☐	S6_грузового (м)	Число	☐	BeltOFF	Текст	☐
Ак (Н·м)	Число	☐	S6_легкового (м)	Число	☐	BeltON	Текст	☐
Ап (Н·м)	Число	☐	Sв (м)	4.945304065	☐	P - предотвращение ДТП		
Ас (Н·м)	Число	☐	Sв_y (м)	Число	☐	P (Sост < Sv, Sост > Sv)	Sост > Sv, B	☒
II Скорость ТС			Sд (м)	Число	☐	P (Sост < Sn, Sост > Sn)	Текст	☐
ΔV (м/с)	Число	☐	Sк (м)	Число	☐	P (Sn' < ΔX, Sn' > ΔX)	Sn' > ΔX, Ycn	☒
ΔV3 (м/с)	Число	☐	Sn (м)	22.03745189	☐	P (ts < tΣ, ts > tΣ)	tw < tΣ, Водит	☒
V (м/с)	11,11	☐	Sn_y (м)	Число	☐	P_y - предотвращение ДТП		
V' (м/с)	Число	☐	Sn_y (м)	Число	☐	> Скоростной режим		
V_n (м/с)	Число	☐	Сосколов (м)	Число	☐	OverSpeed		
Vo (м/с)	12.13053997	☐	Sост (м)	26.98275596	☐	OverSpeed V (км/ч)	Число	☐
Vo_ф3 (м/с)	Число	☐	Sn (м)	1,7	☐	OverSpeed Vo (км/ч)	Число	☐
Vo_n (м/с)	Число	☐	Sn' (м)	5.496293900	☐	OverSpeed Vo_добавочная (км/ч)	Число	☐
Vкр.з. (м/с)	Число	☐	Sn'_y (м)	Число	☐	SpeedLimit (км/ч)	60	☐
Vкр.о. (м/с)	Число	☐	Snad (м)	Число	☐	Анализ SL		
Vн (м/с)	12.73344228	☐	Snподъем (м)	Число	☐	Анализ SL V	Текст	☐
Vн_y (м/с)	Число	☐	Sc (м)	Число	☐	Анализ SL Vo	Текст	☐
Vo_n_ф3 (м/с)	Число	☐	Sck (м)	Число	☐	Анализ SL Vo_добавочная	Скорость TC	☒
Vo_добавочная (м/с)	16.44937992	☐	Scl (м)	Число	☐	Константы		
Vo_подъем (м/с)	Число	☐	St (м)	Число	☐	g (м/с ²)	9.81	☐
Vo_подъем_n (м/с)	Число	☐	Syd (м)	Число	☐	lгрузового (м)	14	☐
Vo_уклон (м/с)	Число	☐	IV Время			lлегкового (м)	5	☐
Vo_уклон_n (м/с)	Число	☐	a (дел)	Число	☐	Коэффициенты		
Vn (м/с)	4,17	☐	b (дел)	Число	☐	f (0,08 - 0,8)	0,75	☐
Vподъем (м/с)	Число	☐	c (дел)	Число	☐	f1 (0,08 - 0,8)	Число	☐
Vподъем_n (м/с)	Число	☐	d (дел)	Число	☐	f2 (0,08 - 0,8)	Число	☐
Vсл (м/с)	Число	☐	e (дел)	Число	☐	f3 (0,08 - 0,8)	Число	☐
Уклон (м/с)	Число	☐	mj (м/с ² -дел)	Число	☐	fn (0,08 - 0,8)	Число	☐
Уклон_n (м/с)	Число	☐	mt (с/дел)	Число	☐	η (0,5 - 0,86)	Число	☐
Vю (м/с)	Число	☐	tΣ (с)	1.4	☐	φ (0,015 - 0,3)	Число	☐
						Ka (1,0 - 1,6)	Число	☐

Рисунок 4.28. Происшествие №4: Занесенные данные в ЭС «Анализ ДТП»

Модель решения представлена на рисунке 4.29 в виде графа.

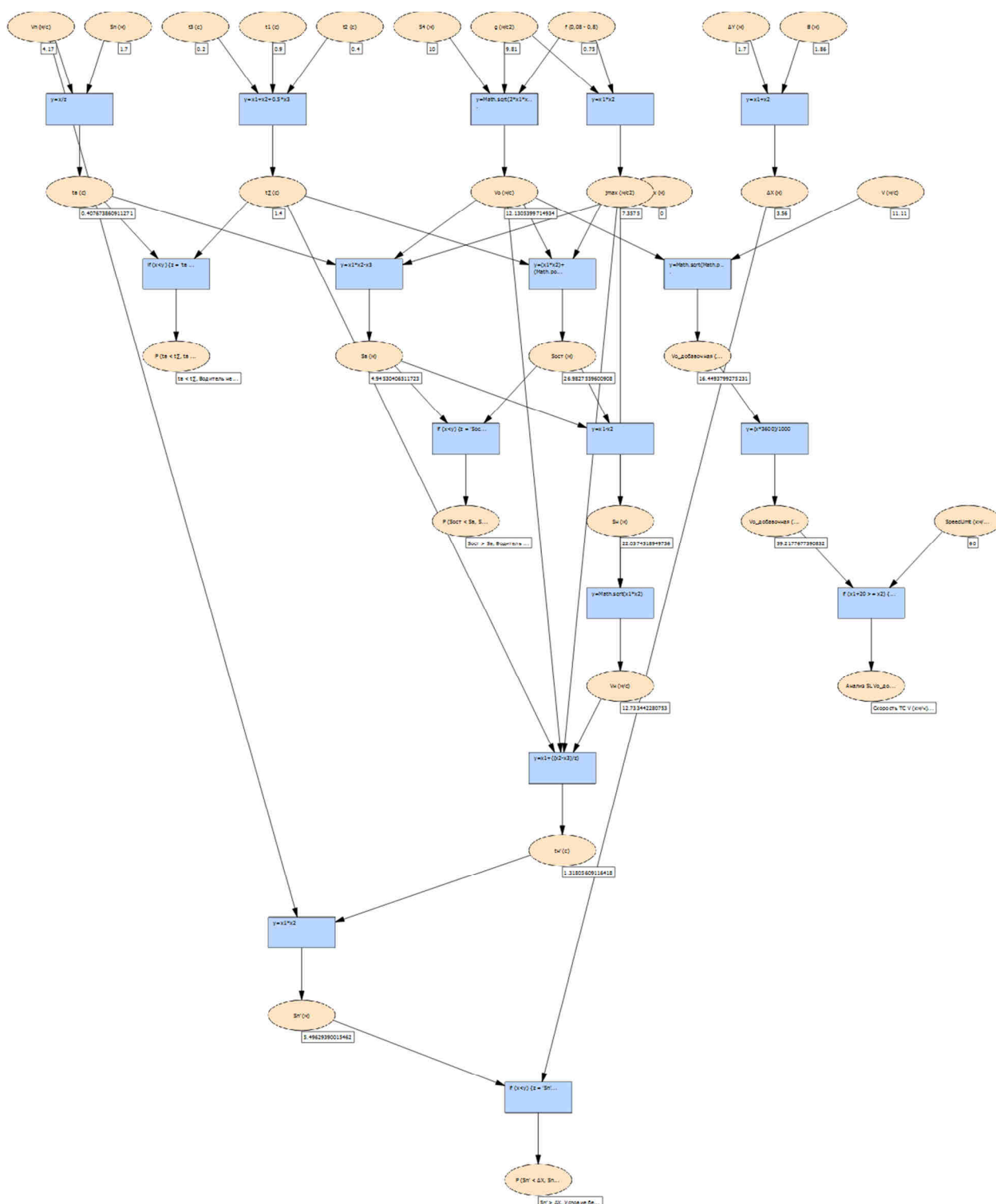


Рисунок 4.29. Граф-решения происшествия №4

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 17 шагов:

Шаг № 0

Отношение: f (через $jmax$), t_v , $t_{сл}$, t_d , t_t

Правило: t_v – время видимости пешехода

Входные параметры:

$V_{п}$ (м/с)=4.17;

$S_{п}$ (м)=1.7;

Формула:

$y=x/z$
 Результат: $t_v (c)=0.407673860911271$;

Шаг № 1
 Отношение: t_{Σ} - суммарное время
 Правило: t_{Σ} - суммарное время
 Входные параметры:
 $t_3 (c)=0.2$;
 $t_1 (c)=0.9$;
 $t_2 (c)=0.4$;
 Формула:
 $y=x_1+x_2+0.5*x_3$
 Результат: $t_{\Sigma} (c)=1.4$;

Шаг № 2
 Отношение: $P (t_v < t_{\Sigma}, t_v > t_{\Sigma}), P_{ly} (t_{v_ly} < t_{\Sigma}, t_{v_ly} > t_{\Sigma})$ -
 предотвращение ДТП
 Правило: $t_v < t_{\Sigma}, t_v > t_{\Sigma}$
 Входные параметры:
 $t_v (c)=0.407673860911271$;
 $t_{\Sigma} (c)=1.4$;
 Формула:
 $if (x<y) \{z = 't_v \setminus \text{u003C } t_{\Sigma}, \text{ Водитель не имел технической}$
 $\text{возможности предотвратить ДТП'};\}$ $else \{z = 't_v \setminus \text{u003E } t_{\Sigma},$
 $\text{Водитель имел возможность принять меры к предотвращению ДТП'};\}$
 Результат: $P (t_v < t_{\Sigma}, t_v > t_{\Sigma})=t_v < t_{\Sigma}$, Водитель не имел
 технической возможности предотвратить ДТП;

Шаг № 3
 Отношение: V_0 - скорость ТС перед началом торможения
 Правило: V_0 - скорость ТС перед началом торможения
 Входные параметры:
 $S_4 (м)=10$;
 $g (м/с^2)=9.81$;
 $f (0,08 - 0,8)=0.75$;
 Формула:
 $y=Math.sqrt(2*x_1*x_2*x_3)$
 Результат: $V_0 (м/с)=12.1305399714934$;

Шаг № 4
 Отношение: S_v, S_{v_ly}
 Правило: S_v - расстояние видимости пешехода (удаленность
 автомобиля от места наезда)
 Входные параметры:
 $l_x (м)=0$;
 $V_0 (м/с)=12.1305399714934$;
 $t_v (c)=0.407673860911271$;
 Формула:
 $y=x_1*x_2-x_3$

Результат: $S_B (м)=4.94530406511723;$

Шаг № 5

Отношение: $t_1, t_2, t_3, t_4, j_{max}, j_{max} (без Kэ), S_1, S_2, S_{п'}, S_{п'}_{ly}, S_{пад}, S_{уд}$

Правило: $j_{max} (без Kэ)$ - величина замедления без $Kэ$ - поправочный коэффициент эффективности торможения

Входные параметры:

$g (м/с^2)=9.81;$

$f (0,08 - 0,8)=0.75;$

Формула:

$y=x_1*x_2$

Результат: $j_{max} (м/с^2)=7.3575;$

Шаг № 6

Отношение: $S_{ост}$ - длина остановочного пути

Правило: $S_{ост}$ - длина остановочного пути

Входные параметры:

$j_{max} (м/с^2)=7.3575;$

$t_{\Sigma} (с)=1.4;$

$V_0 (м/с)=12.1305399714934;$

Формула:

$y=(x_1*x_2)+(Math.pow(x_2,2)/(2*z))$

Результат: $S_{ост} (м)=26.9827559600908;$

Шаг № 7

Отношение: $P (S_{ост} < S_B, S_{ост} > S_B), P_{ly} (S_{ост} < S_{B_{ly}}, S_{ост} > S_{B_{ly}}), P (S_{ост} < S_{п}, S_{ост} > S_{п})$ - предотвращение ДТП

Правило: $S_{ост} < S_B, S_{ост} > S_B$

Входные параметры:

$S_{ост} (м)=26.9827559600908;$

$S_B (м)=4.94530406511723;$

Формула:

$if (x < y) \{z = 'S_{ост} \setminus u003C S_B, \text{Водитель имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением}';\} else \{z = 'S_{ост} \setminus u003E S_B, \text{Водитель не имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением. ТС не остановилось при торможении у линии следования пешехода, а пересекло ее}';\}$

Результат: $P (S_{ост} < S_B, S_{ост} > S_B)=S_{ост} > S_B, \text{Водитель не имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением. ТС не остановилось при торможении у линии следования пешехода, а пересекло ее};$

Шаг № 8

Отношение: $S_n, S_{n_{ly}}, L_a, L_b, M_1, M_2, \Delta V, \Delta V_3, V_{ю}, \Delta V_3$ (в зависимости от $j_{сл}$), $V_{ю}$ (в зависимости от $j_{сл}$), $OverSpeed V, OverSpeed V_0, OverSpeed V_0_{добавочная}$

Правило: S_n – расстояние, на которое переместился бы автомобиль после пересечения линии следования пешехода, если бы водитель действовал технически правильно, своевременно затормозив

Входные параметры:

$S_{ост} (м) = 26.9827559600908;$

$S_v (м) = 4.94530406511723;$

Формула:

$y = x_1 - x_2$

Результат: $S_n (м) = 22.0374518949736;$

Шаг № 9

Отношение: V_n, V_{n_ly}

Правило: V_n – скорость автомобиля в момент пересечения им линии следования пешехода при условии своевременного торможения

Входные параметры:

$S_n (м) = 22.0374518949736;$

$j_{max} (м/с^2) = 7.3575;$

Формула:

$y = \text{Math.sqrt}(x_1 * x_2)$

Результат: $V_n (м/с) = 12.733442280753;$

Шаг № 10

Отношение: t_n', t_{n_ly}

Правило: t_n' – время движения автомобиля с момента возникновения опасной обстановки до пересечения линии следования пешехода при условии своевременного торможения

Входные параметры:

$V_n (м/с) = 12.733442280753;$

$j_{max} (м/с^2) = 7.3575;$

$t_{\Sigma} (с) = 1.4;$

$V_0 (м/с) = 12.1305399714934;$

Формула:

$y = x_1 + ((x_2 - x_3) / z)$

Результат: $t_n' (с) = 1.31805609116418;$

Шаг № 11

Отношение: $t_1, t_2, t_3, t_4, j_{max}, j_{max} \text{ (без } K_{\alpha}), S_1, S_2, S_{п'}, S_{п'_ly}, S_{пад}, S_{уд}$

Правило: $S_{п'}$ – перемещение пешехода за время t_n'

Входные параметры:

$t_n' (с) = 1.31805609116418;$

$V_{п} (м/с) = 4.17;$

Формула:

$y = x_1 * x_2$

Результат: $S_{п'} (м) = 5.49629390015462;$

Шаг № 12

Отношение: $S_{б_грузового}, S_{б_легкового}, \Delta X, L, M, S_{осколков}, V_0, t_{оп}, V_{сл}$

Правило: ΔX – сумма расстояний от боковой поверхности автомобиля до границы опасной зоны и ширины колеи автомобиля
Входные параметры:
 ΔY (м)=1.7;
 B (м)=1.86;
Формула:
 $y = x1 + x2$
Результат: ΔX (м)=3.56;

Шаг № 13

Отношение: $P(S_{п'} < \Delta X, S_{п'} > \Delta X)$, $P_{ly}(S_{п'ly} < \Delta X, S_{п'ly} > \Delta X)$ – предотвращение ДТП
Правило: $S_{п'} < \Delta X, S_{п'} > \Delta X$
Входные параметры:
 $S_{п'}$ (м)=5.49629390015462;
 ΔX (м)=3.56;
Формула:
if ($x < y$) { $z = 'S_{п'} \setminus u003C \Delta X$, Условие не безопасного перехода полосы движения ТС';} else { $z = 'S_{п'} \setminus u003E \Delta X$, Условие безопасного перехода полосы движения ТС';}
Результат: $P(S_{п'} < \Delta X, S_{п'} > \Delta X) = S_{п'} > \Delta X$, Условие безопасного перехода полосы движения ТС;

Шаг № 14

Отношение: $V_{o_добавочная}$ – скорость автомобиля перед началом торможения при добавочной скорости V в момент столкновения ТС
Правило: $V_{o_добавочная}$ – скорость автомобиля перед началом торможения при добавочной скорости V в момент столкновения ТС
Входные параметры:
 V (м/с)=11.11;
 V_o (м/с)=12.1305399714934;
Формула:
 $y = \text{Math.sqrt}(\text{Math.pow}(x1, 2) + \text{Math.pow}(x2, 2))$
Результат: $V_{o_добавочная}$ (м/с)=16.4493799275231;

Шаг № 15

Отношение: Перевод V (м/с) $\rightarrow V$ (км/ч)
Правило: $V_{o_добавочная}$ (м/с) $\rightarrow V_{o_добавочная}$ (км/ч)
Входные параметры:
 $V_{o_добавочная}$ (м/с)=16.4493799275231;
Формула:
 $y = (x * 3600) / 1000$
Результат: $V_{o_добавочная}$ (км/ч)=59.2177677390832;

Шаг № 16

Отношение: **SpeedLimit** - ограничение максимальной скорости
Правило: Анализ **SL** $V_{o_добавочная}$ – параметр определяющий нарушение скоростного режима водителем по $V_{o_добавочная}$
Входные параметры:

```

SpeedLimit (км/ч)=60;
Vo_добавочная (км/ч)=59.2177677390832;
Формула:
if (x1 >= x2) {y = 'Скорость ТС V (км/ч) ≤ SpeedLimit, Водитель
соблюдал скоростной режим';} else {y = 'Скорость ТС V (км/ч)
\u003E SpeedLimit, Водитель не соблюдал скоростной режим';}
Результат: Анализ SL Vo_добавочная=Скорость ТС V (км/ч) ≤
SpeedLimit, Водитель соблюдал скоростной режим;
-----

```

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $t_B < t_{\Sigma} = 0,41 \text{ с} < 1,40 \text{ с}$. Водитель не имел технической возможности предотвратить ДТП. Соблюдается условие: $S_{ост} > S_B = 26,98 \text{ м} > 4,95 \text{ м}$. Следовательно, водитель не мог остановить автомобиль до линии следования пешехода, даже если бы он своевременно среагировал на движение последнего.

$S_{л'} > \Delta X = 5,50 \text{ м} > 3,56 \text{ м}$. Таким образом, своевременно затормозив, водитель не смог бы остановить автомобиль у линии следования пешехода, однако при этом пешеход мог бы покинуть опасную зону, если бы не менял скорости и направления своего движения.

$SpeedLimit = 59,22 \text{ км/ч} < 60 \text{ км/ч}$. Следовательно, водитель автомобиля Citroen C6 соблюдал скоростной режим на данном участке, двигаясь со скоростью 59,22 км/ч.

Для полноты представляемой информации, опираясь на данные полученные из ЭС «Анализ ДТП» реконструируем происшествие №2 при помощи СИМ Virtual CRASH 3.0. На рисунке 4.30 представлена реконструкция событий ДТП, которая разделена на четыре основных этапа: момент перед торможением ТС Citroen C6, момент наезда на пешехода, момент торможения ТС Citroen C6 и момент остановки ТС Citroen C6.

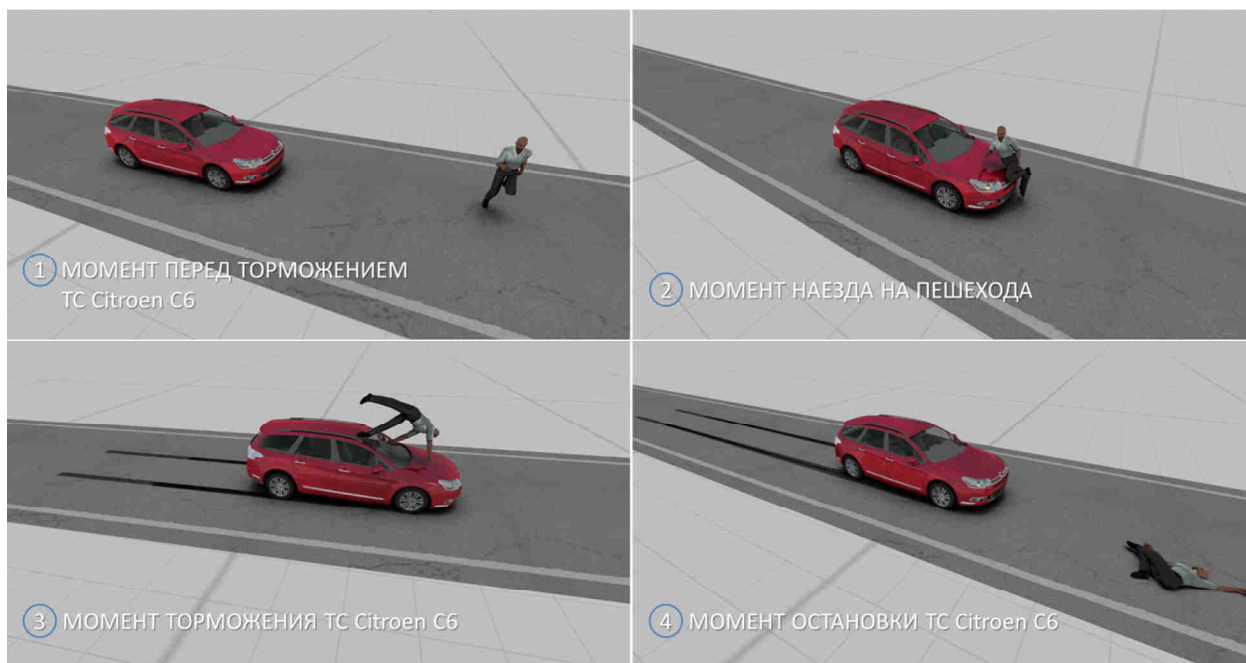


Рисунок 4.30. Реконструкция происшествия №4

Таким образом, можно сделать следующий вывод: учитывая тот факт, что водитель не мог остановить автомобиль до линии следования пешехода, даже если бы он своевременно среагировал на движение последнего. А также факт, что пешеход совершил переход проезжей части в неположенном месте. И факт, что пешеход имел возможность покинуть опасную зону, если бы не менял скорости и направления своего движения. В рассматриваемом ДТП виновен пешеход, так как он имел возможность предотвратить произошедшее ДТП.

4.6. Происшествие №5: ДТП Toyota Yaris, наезд на пешехода

Происшествие №5: Автомобиль Toyota Yaris, следовавший по ул. Круговая, совершил наезд на пешехода, который переходил проезжую часть с правой стороны. Дорога на ул. Круговая с двусторонним движением. Было установлено, что водитель находился в состоянии алкогольного опьянения. Время реакции водителя составила 1,5 с, время запаздывания срабатывания привода 0,3 с, время замедления 0,2 с. Пешеход переходил дорогу через нерегулируемый пешеходный переход со скоростью 5 км/ч. Он успел пройти по полосе движения автомобиля расстояние, равное 1,4 м. Со слов

свидетелей, скорость автомобиля Toyota Yaris в момент наезда составляла 50 км/ч.

Дорога на ул. Круговая с асфальтобетонным покрытием, в момент ДТП была сухая погода. Разрешенная максимальная скорость на данном участке дороги – 60 км/ч. По замерам длина тормозного пути ТС Toyota Yaris составила 32 м. Основная сила удара пришлась на правую переднюю часть бампера и капот автомобиля. Расстояние от правого края проезжей части до автомобиля 2 м. Габаритная ширина автомобиля 1,66 м.

Определить, была ли у водителя в сложившейся ситуации техническая возможность избежать наезда на пешехода?

Исходные данные: $V = 13,89 \text{ м/с}$; $V_{II} = 1,39 \text{ м/с}$; $t_1 = 1,5 \text{ с}$; $t_2 = 0,3 \text{ с}$; $t_3 = 0,2 \text{ с}$; $S_4 = 32 \text{ м}$; $S_{II} = 2 \text{ м}$; $\Delta Y = 2 \text{ м}$; $B = 1,66 \text{ м}$; $f = 0,75$; $l_y = 0,7 \text{ м}$; $SpeedLimit = 60 \text{ км/ч}$.

Найти: Установить, была ли у водителя ТС Citroen C6 в сложившейся ситуации техническая возможность избежать наезда на пешехода?

По этическим причинам фотоматериалы происшествия №6 были заменены на фотоматериалы краш-теста рассматриваемого события. Фотоматериалы представлены на рисунках 4.31, 4.32, 4.33 и 4.34.



Рисунок 4.31. Фотоматериалы происшествия №5: Момент, когда водитель ТС Toyota Yaris мог заметить пешехода



Рисунок 4.32. Фотоматериалы происшествия №5: Момент первого контакта



Рисунок 4.33. Фотоматериалы происшествия №5: Момент торможения ТС Toyota Yaris

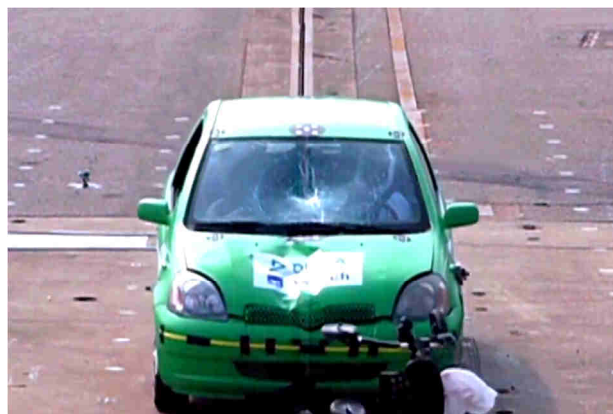


Рисунок 4.34. Фотоматериалы происшествия №5: Повреждения ТС Toyota Yaris

Решение: Для решения поставленной задачи используется последовательно-параллельный алгоритм взаимодействия ЭС и СИМ с учетом выбора доминирующей системы. В качестве доминирующей системы выбрана ЭС.

Входные данные занесем в ЭС «Анализ ДТП». Данные с полученным результатом представлены на рисунке 4.35.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП			Перевод V (км/ч) → V (м/с)			ЭЗ (с)	0,2	
1 Характеристики ДП и ТС			III Путь ТС			t4 (с)	Число	
Характеристика ДП			S1 (м)	Число		ts (с)	Число	
Характеристика ТС			S2 (м)	Число		ts_ly (с)	1.942446043	
B (м)	1,66		S3 (м)	Число		td (с)	Число	
hc (м)	Число		S4 (м)	32		tr (с)	Число	
hстекала (м)	Число		S4_n (м)	Число		tr_ly (с)	2.794074733	
jmax (м/с ²)	7.3575		S4_подъем (м)	Число		top (с)	Число	
jcl (м/с ²)	Число		S4_подъем_n (м)	Число		тосколов (с)	Число	
L (м)	Число		S4_уклон (м)	Число		tscl (с)	Число	
La (м)	Число		S4_уклон_n (м)	Число		tr (с)	Число	
Lb (м)	Число		S4' (м)	Число		V (км/ч) - результат	Число	
Lx (м)	0		S4'_n (м)	Число		Vo (км/ч) - результат	Число	
ly (м)	0,7		S4'' (м)	Число		Vo_добавочная (км/ч)	92.75238442	
M (кг)	Число		S4''' (м)	Число		Анализ ДТП		
M1 (кг)	Число		S4'''' (м)	Число		ΔH_грузового (мм)	Текст	
M2 (кг)	Число		S4''''' (м)	Число		ΔH_легкового (мм)	Текст	
ΔX (м)	3.66		S6_грузового (м)	Число		BeOff	Текст	
ΔY (м)	2		S6_легкового (м)	Число		BeON	Текст	
Δa (H+м)	Число		Sa (м)	Число		P - предотвращение ДТП		
Δa (H-м)	Число		Sa_ly (м)	42.15063158		P_ly - предотвращение ДТП		
Δa (H+м)	Число		Sd (м)	Число		P_ly (Soc < Se_ly, Soc > Se_ly)	Soc > Se, B	
Δa (H-м)	Число		Sk (м)	Число		P_ly (Sn_ly < ΔX, Sn_ly > ΔX)	Sn' > ΔX, Ycn	
As (H+м)	Число		Sn (м)	Число		P_ly (ts_ly < t5, ts_ly > t5)	ts > t5, Водит	
II Скорость ТС			Sn_ly (м)	31.07893064		Скоростной режим		
ΔV (м/с)	Число		Sockolov (м)	Число		OverSpeed		
ΔV3 (м/с)	Число		Soc (м)	73.22956220		OverSpeed V (км/ч)	Число	
V (м/с)	13,89		Sn (м)	Число		OverSpeed Vo (км/ч)	Число	
V' (м/с)	Число		Sn' (м)	Число		OverSpeed Vo_добавочная (км/ч)	32.75238442	
V_n (м/с)	Число		Sn' ly (м)	Число		SpeedLimit (км/ч)	60	
Vo (м/с)	21.69976958		Sn' ly (м)	3.883763878		Анализ SL		
Vo_33 (м/с)	Число		Snad (м)	Число		Анализ SL V	Текст	
Vo_n (м/с)	Число		Sподъем (м)	Число		Анализ SL Vo	Текст	
Vкр.з. (м/с)	Число		Sc (м)	Число		Анализ SL Vo_добавочная	Скорость ТС	
Vкр.о. (м/с)	Число		Sck (м)	Число		Константы		
Vn (м/с)	Число		Scl (м)	Число		g (м/с ²)	9.81	
Vn_ly (м/с)	15.12161473		Sr (м)	Число		Iгрузового (м)	14	
Vo_n_33 (м/с)	Число		Syd (м)	Число		Iлегкового (м)	5	
Vo_добавочная (м/с)	25.76455122		IV Время			Кэффициенты		
Vo_подъем (м/с)	Число		a (дел)	Число		f (0,08 - 0,8)	0,75	
Vo_подъем_n (м/с)	Число		b (дел)	Число		t1 (0,08 - 0,8)	Число	
Vo_уклон (м/с)	Число		c (дел)	Число		t2 (0,08 - 0,8)	Число	
Vo_уклон_n (м/с)	Число		d (дел)	Число		t3 (0,08 - 0,8)	Число	
Vn (м/с)	1,39		e (дел)	Число		fn (0,08 - 0,8)	Число	
Vподъем (м/с)	Число		tnj (м/с ² -дел)	Число		η (0,5 - 0,86)	Число	
Vподъем_n (м/с)	Число		mtt (с/дел)	Число		φ (0,015 - 0,3)	Число	
Vcl (м/с)	Число		t5 (с)	1,9		Ka (1,0 - 1,6)	Число	
Уклон (м/с)	Число		t1 (с)	1,5				
Уклон_n (м/с)	Число		t2 (с)	0,3				
Vю (м/с)	Число							

Рисунок 4.35. Происшествие №5: Занесенные данные в ЭС «Анализ ДТП»

Модель решения представлена на рисунке 4.36 в виде графа.

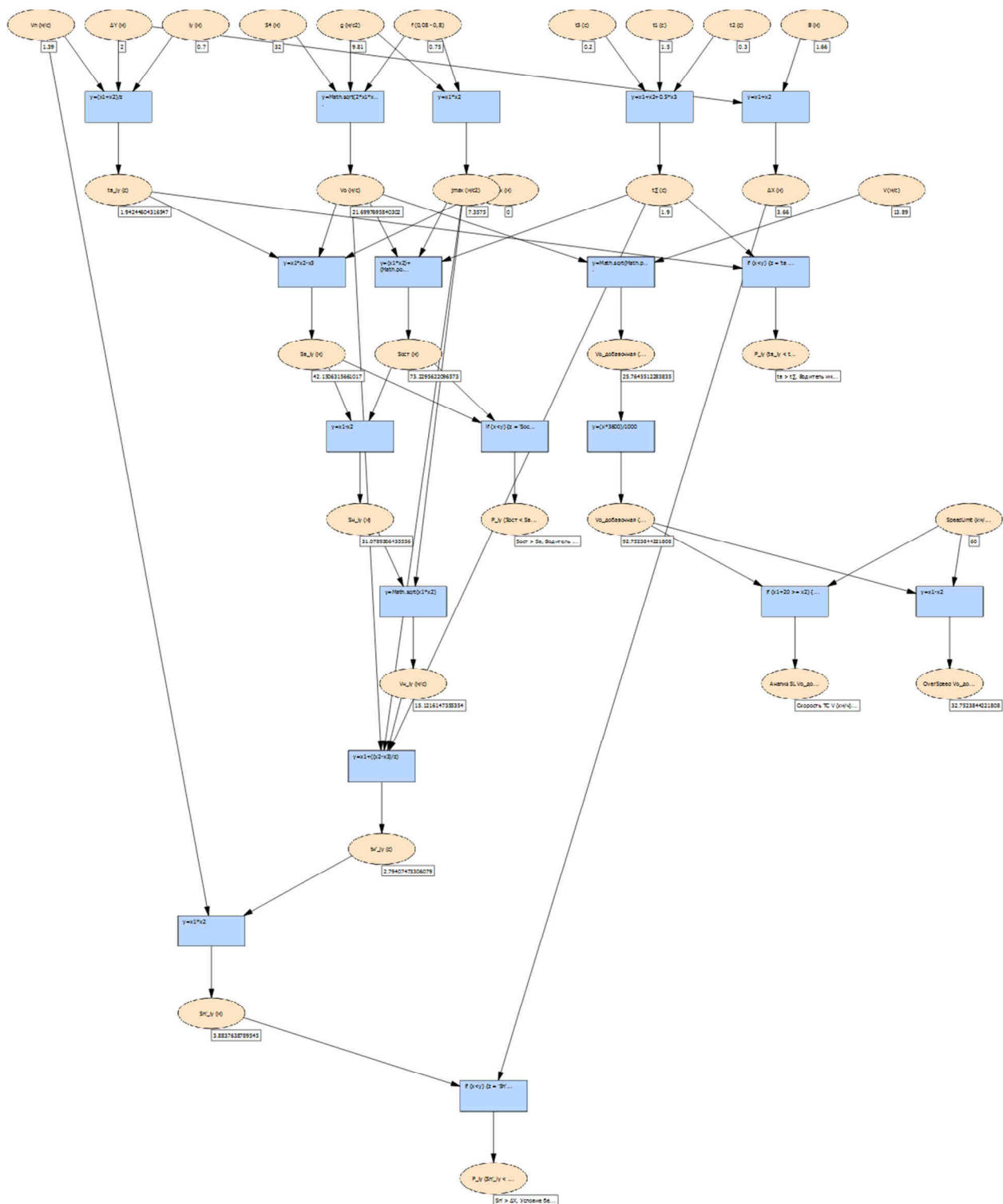


Рисунок 4.36. Граф-решения происшествия №5

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 18 шагов:

Шаг № 0

Отношение: $t_{в_ly}$ – время видимости пешехода в зависимости от ly

Правило: $t_{в_ly}$ – время видимости пешехода в зависимости от ly

Входные параметры:

$V_{п} \text{ (м/с)} = 1.39;$

$\Delta Y \text{ (м)}=2;$
 $ly \text{ (м)}=0.7;$
 Формула:
 $y=(x1+x2)/z$
 Результат: $t_{в_ly} \text{ (с)}=1.94244604316547;$

Шаг № 1
 Отношение: V_0 – скорость ТС перед началом торможения
 Правило: V_0 – скорость ТС перед началом торможения
 Входные параметры:
 $S4 \text{ (м)}=32;$
 $g \text{ (м/с}^2\text{)}=9.81;$
 $f \text{ (0,08 - 0,8)}=0.75;$
 Формула:
 $y=\text{Math.sqrt}(2*x1*x2*x3)$
 Результат: $V_0 \text{ (м/с)}=21.6997695840302;$

Шаг № 2
 Отношение: $S_{в}, S_{в_ly}$
 Правило: $S_{в_ly}$ – расстояние видимости пешехода (удаленность автомобиля от места наезда) в зависимости от ly
 Входные параметры:
 $lx \text{ (м)}=0;$
 $V_0 \text{ (м/с)}=21.6997695840302;$
 $t_{в_ly} \text{ (с)}=1.94244604316547;$
 Формула:
 $y=x1*x2-x3$
 Результат: $S_{в_ly} \text{ (м)}=42.1506315661017;$

Шаг № 3
 Отношение: t_{Σ} – суммарное время
 Правило: t_{Σ} – суммарное время
 Входные параметры:
 $t3 \text{ (с)}=0.2;$
 $t1 \text{ (с)}=1.5;$
 $t2 \text{ (с)}=0.3;$
 Формула:
 $y=x1+x2+0.5*x3$
 Результат: $t_{\Sigma} \text{ (с)}=1.9;$

Шаг № 4
 Отношение: $t1, t2, t3, t4, j_{\max}, j_{\max} \text{ (без } K_{\varepsilon}), S1, S2, S_{п'}, S_{п'}_{ly}, S_{пад}, S_{уд}$
 Правило: $j_{\max} \text{ (без } K_{\varepsilon})$ – величина замедления без K_{ε} – поправочный коэффициент эффективности торможения
 Входные параметры:
 $g \text{ (м/с}^2\text{)}=9.81;$
 $f \text{ (0,08 - 0,8)}=0.75;$
 Формула:

$$y=x1*x2$$

Результат: $j_{\max} \text{ (м/с}^2\text{)}=7.3575;$

Шаг № 5

Отношение: $S_{\text{ост}}$ – длина остановочного пути

Правило: $S_{\text{ост}}$ – длина остановочного пути

Входные параметры:

$j_{\max} \text{ (м/с}^2\text{)}=7.3575;$

$t_{\Sigma} \text{ (с)}=1.9;$

$V_0 \text{ (м/с)}=21.6997695840302;$

Формула:

$$y=(x1*x2)+(\text{Math.pow}(x2,2)/(2*z))$$

Результат: $S_{\text{ост}} \text{ (м)}=73.2295622096573;$

Шаг № 6

Отношение: S_n , S_{n_ly} , L_a , L_b , $M1$, $M2$, ΔV , $\Delta V3$, $V_{\text{ю}}$, $\Delta V3$ (в зависимости от $j_{\text{сл}}$), $V_{\text{ю}}$ (в зависимости от $j_{\text{сл}}$), $\text{OverSpeed } V$, $\text{OverSpeed } V_0$, $\text{OverSpeed } V_0_{\text{дополнительная}}$

Правило: S_{n_ly} – расстояние, на которое переместился бы автомобиль после пересечения линии следования пешехода, если бы водитель действовал технически правильно, своевременно затормозив в зависимости от ly

Входные параметры:

$S_{\text{ост}} \text{ (м)}=73.2295622096573;$

$S_{v_ly} \text{ (м)}=42.1506315661017;$

Формула:

$$y=x1-x2$$

Результат: $S_{n_ly} \text{ (м)}=31.0789306435556;$

Шаг № 7

Отношение: V_n , V_{n_ly}

Правило: V_{n_ly} – скорость автомобиля в момент пересечения им линии следования пешехода при условии своевременного торможения в зависимости от ly

Входные параметры:

$S_{n_ly} \text{ (м)}=31.0789306435556;$

$j_{\max} \text{ (м/с}^2\text{)}=7.3575;$

Формула:

$$y=\text{Math.sqrt}(x1*x2)$$

Результат: $V_{n_ly} \text{ (м/с)}=15.1216147355354;$

Шаг № 8

Отношение: t_n' , t_{n_ly}'

Правило: t_{n_ly}' – время движения автомобиля с момента возникновения опасной обстановки до пересечения линии следования пешехода при условии своевременного торможения в зависимости от ly

Входные параметры:

$V_{n_ly} \text{ (м/с)}=15.1216147355354;$

$j_{\max} \text{ (м/с}^2\text{)}=7.3575;$
 $t_{\Sigma} \text{ (с)}=1.9;$
 $V_0 \text{ (м/с)}=21.6997695840302;$
 Формула:
 $y=x_1+((x_2-x_3)/z)$
 Результат: $t_{н'}_{ly} \text{ (с)}=2.79407473306079;$

Шаг № 9

Отношение: $t_1, t_2, t_3, t_4, j_{\max}, j_{\max} \text{ (без } K_{\text{э}}), S_1, S_2, S_{п'}, S_{п'}_{ly}, S_{пад}, S_{уд}$
 Правило: $S_{п'}_{ly}$ – перемещение пешехода за время $t_{н'}_{ly}$
 Входные параметры:
 $t_{н'}_{ly} \text{ (с)}=2.79407473306079;$
 $V_{п} \text{ (м/с)}=1.39;$
 Формула:
 $y=x_1*x_2$
 Результат: $S_{п'}_{ly} \text{ (м)}=3.8837638789545;$

Шаг № 10

Отношение: $S_{б_грузового}, S_{б_легкового}, \Delta X, L, M, S_{осколков}, V_0, t_{оп}, V_{сл}$
 Правило: ΔX – сумма расстояний от боковой поверхности автомобиля до границы опасной зоны и ширины колеи автомобиля
 Входные параметры:
 $\Delta Y \text{ (м)}=2;$
 $B \text{ (м)}=1.66;$
 Формула:
 $y=x_1+x_2$
 Результат: $\Delta X \text{ (м)}=3.66;$

Шаг № 11

Отношение: $P (S_{п'} < \Delta X, S_{п'} > \Delta X), P_{ly} (S_{п'}_{ly} < \Delta X, S_{п'}_{ly} > \Delta X)$ – предотвращение ДТП
 Правило: $S_{п'}_{ly} < \Delta X, S_{п'}_{ly} > \Delta X$
 Входные параметры:
 $S_{п'}_{ly} \text{ (м)}=3.8837638789545;$
 $\Delta X \text{ (м)}=3.66;$
 Формула:
 $\text{if } (x < y) \{z = 'S_{п'} \setminus \text{u003C } \Delta X, \text{ Условие не безопасного перехода полосы движения ТС'};\} \text{ else } \{z = 'S_{п'} \setminus \text{u003E } \Delta X, \text{ Условие безопасного перехода полосы движения ТС'};\}$
 Результат: $P_{ly} (S_{п'}_{ly} < \Delta X, S_{п'}_{ly} > \Delta X)=S_{п'} > \Delta X, \text{ Условие безопасного перехода полосы движения ТС};$

Шаг № 12

Отношение: $V_{о_добавочная}$ – скорость автомобиля перед началом торможения при добавочной скорости V в момент столкновения ТС
 Правило: $V_{о_добавочная}$ – скорость автомобиля перед началом торможения при добавочной скорости V в момент столкновения ТС

Входные параметры:

V (м/с)=13.89;

V_0 (м/с)=21.6997695840302;

Формула:

$y = \text{Math.sqrt}(\text{Math.pow}(x_1, 2) + \text{Math.pow}(x_2, 2))$

Результат: $V_{0_добавочная}$ (м/с)=25.7645512283835;

Шаг № 13

Отношение: Перевод V (м/с) $\rightarrow$ V (км/ч)

Правило: $V_{0_добавочная}$ (м/с) $\rightarrow$ $V_{0_добавочная}$ (км/ч)

Входные параметры:

$V_{0_добавочная}$ (м/с)=25.7645512283835;

Формула:

$y = (x * 3600) / 1000$

Результат: $V_{0_добавочная}$ (км/ч)=92.7523844221808;

Шаг № 14

Отношение: SpeedLimit - ограничение максимальной скорости

Правило: Анализ SL $V_{0_добавочная}$ - параметр определяющий нарушение скоростного режима водителем по $V_{0_добавочная}$

Входные параметры:

SpeedLimit (км/ч)=60;

$V_{0_добавочная}$ (км/ч)=92.7523844221808;

Формула:

if ($x_1 \geq x_2$) { y = 'Скорость ТС V (км/ч) $\leq$ SpeedLimit, Водитель соблюдал скоростной режим';} else { y = 'Скорость ТС V (км/ч) $\geq$ SpeedLimit, Водитель не соблюдал скоростной режим';}

Результат: Анализ SL $V_{0_добавочная}$ =Скорость ТС V (км/ч) $>$ SpeedLimit, Водитель не соблюдал скоростной режим;

Шаг № 15

Отношение: P ($t_{в} < t_{\Sigma}$, $t_{в} > t_{\Sigma}$), P_{ly} ($t_{в_ly} < t_{\Sigma}$, $t_{в_ly} > t_{\Sigma}$) - предотвращение ДТП

Правило: $t_{в_ly} < t_{\Sigma}$, $t_{в_ly} > t_{\Sigma}$

Входные параметры:

$t_{в_ly}$ (с)=1.94244604316547;

t_{Σ} (с)=1.9;

Формула:

if ($x < y$) { z = ' $t_{в}$ $\leq t_{\Sigma}$, Водитель не имел технической возможности предотвратить ДТП';} else { z = ' $t_{в} > t_{\Sigma}$, Водитель имел возможность принять меры к предотвращению ДТП';}

Результат: P_{ly} ($t_{в_ly} < t_{\Sigma}$, $t_{в_ly} > t_{\Sigma}$)= $t_{в} > t_{\Sigma}$, Водитель имел возможность принять меры к предотвращению ДТП;

Шаг № 16

Отношение: S_n , S_{n_ly} , L_a , L_b , M_1 , M_2 , ΔV , ΔV_3 , $V_{ю}$, ΔV_3 (в зависимости от $j_{сл}$), $V_{ю}$ (в зависимости от $j_{сл}$), OverSpeed V , OverSpeed V_0 , OverSpeed $V_{0_добавочная}$

Правило: **OverSpeed** $V_{o_добавочная}$ – превышение максимальной скорости $V_{o_добавочная}$
Входные параметры:
 $V_{o_добавочная}$ (км/ч)=92.7523844221808;
SpeedLimit (км/ч)=60;
Формула:
 $y=x1-x2$
Результат: **OverSpeed** $V_{o_добавочная}$ (км/ч)=32.7523844221808;

Шаг № 17

Отношение: $P(S_{ост} < S_B, S_{ост} > S_B)$, $P_{ly}(S_{ост} < S_{B_ly}, S_{ост} > S_{B_ly})$, $P(S_{ост} < S_{п}, S_{ост} > S_{п})$ – предотвращение ДТП
Правило: $S_{ост} < S_{B_ly}, S_{ост} > S_{B_ly}$
Входные параметры:
 $S_{ост}$ (м)=73.2295622096573;
 S_{B_ly} (м)=42.1506315661017;
Формула:
if (x<y) {z = 'S_{ост} \u003C S_B, Водитель имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением';} else {z = 'S_{ост} \u003E S_B, Водитель не имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением. ТС не остановилось при торможении у линии следования пешехода, а пересекло ее';}
Результат: $P_{ly}(S_{ост} < S_{B_ly}, S_{ост} > S_{B_ly})=S_{ост} > S_B$, Водитель не имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением. ТС не остановилось при торможении у линии следования пешехода, а пересекло ее;

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $t_B > t_{\Sigma} = 1,94 \text{ с} > 1,90 \text{ с}$. Водитель имел техническую возможность предотвратить ДТП. Так как соблюдается условие: $S_{ост} > S_B = 73,22 \text{ м} > 42,15 \text{ м}$, то автомобиль при торможении не остановился у линии следования пешехода, а пересек ее.

$S_{п'} > \Delta X = 3,88 \text{ м} > 3,66 \text{ м}$. Таким образом, своевременно затормозив, водитель не смог бы остановить автомобиль у линии следования пешехода, однако при этом пешеход мог бы покинуть опасную зону, если бы не менял скорости и направления своего движения.

$V_0 > SpeedLimit = 92,75 \text{ км/ч} > 60 \text{ км/ч}$. Следовательно, Toyota Yaris не соблюдал скоростной режим на ул. Круговая. Водитель Toyota Yaris двигался со скоростью 92,75 км/ч при максимально разрешенной 60 км/ч, тем самым превысив максимально разрешенную на данном участке скорость на 32,75 км/ч.

Для полноты представляемой информации, опираясь на данные полученные из ЭС «Анализ ДТП» реконструируем происшествие №5 при помощи СИМ Virtual CRASH 3.0. На рисунке 4.37 представлена реконструкция событий ДТП, которая разделена на четыре основных этапа: момент перед торможением ТС Toyota Yaris (когда водитель мог заметить пешехода), момент наезда на пешехода, момент торможения ТС Toyota Yaris и момент остановки ТС Toyota Yaris.

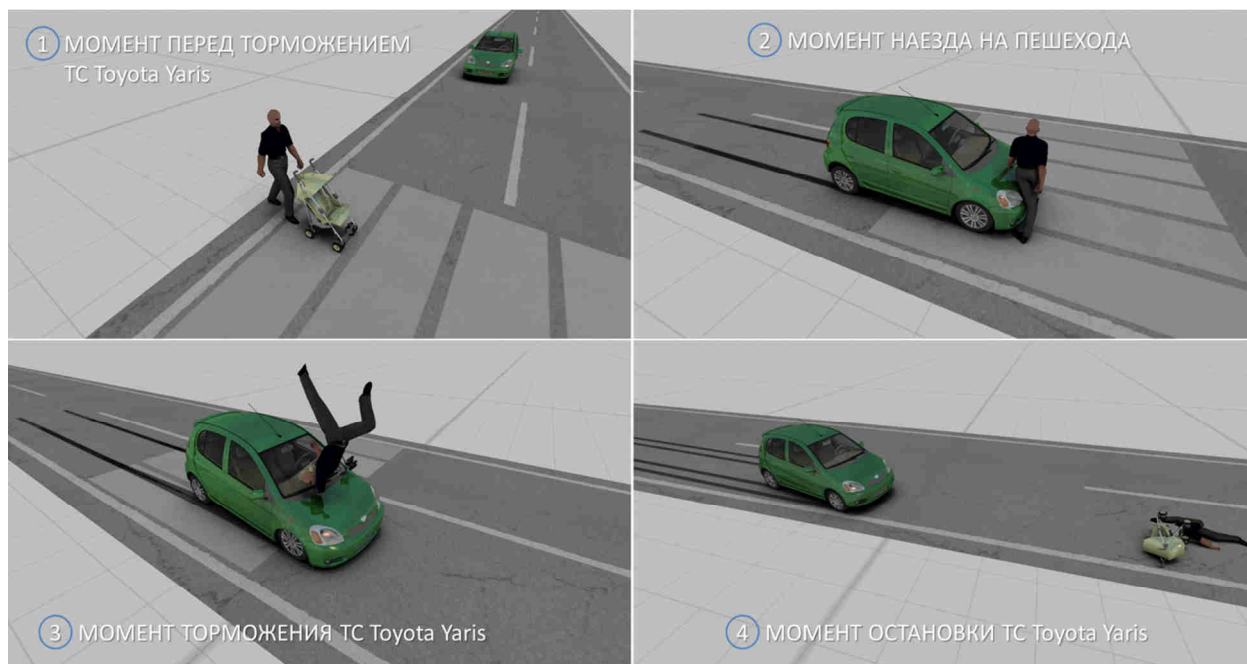


Рисунок 4.37. Реконструкция происшествия №5

Таким образом, можно сделать следующий вывод: своевременно затормозив, водитель не смог бы остановить автомобиль у линии следования пешехода, однако при этом пешеход мог бы покинуть опасную зону, если бы не менял скорости и направления своего движения. Не применив экстренное торможение, водитель действовал технически неправильно. А также учитывая тот факт, что водитель ТС Toyota Yaris находился в состоянии алкогольного опьянения на момент происшествия. Водитель Toyota Yaris виновен в рассматриваемом происшествии.

4.7. Выводы четвертой главы

В четвертой главе доказываемся эффективность применения методики объединения ЭС (построенной на базе миварного подхода) и СИМ в решении класса задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП. В частности, проведены апробационные эксперименты на реальных задачах для исследования взаимодействия экспертной системы «Анализ ДТП» и системы имитационного моделирования Virtual CRASH 3.0. Демонстрируется применение методики объединения ЭС (построенной на базе миварного подхода) и СИМ на реальных задачах, что доказывает практическую ценность данных исследований (апробация работы). Рассматривается пять происшествий, три из которых – ДТП между двумя ТС, два – ДТП с участием пешехода. При решении поставленных задач использовались такие алгоритмы взаимодействия ЭС, построенной на базе миварного подхода, и СИМ, как: последовательный с учетом выбора доминирующей системы, последовательно-параллельный с учетом выбора доминирующей системы и параллельный.

Применение методики объединения ЭС (построенной на базе миварного подхода) и СИМ позволяет ускорить процесс экспертизы и анализа ДТП, а также повышает надежность полученных результатов. Совокупность полученных теоретических и практических результатов позволяет сделать следующий вывод: поставленные задачи решены, цель исследований достигнута.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адамова Л.Е., Белоусова А.И., Протопопова Д.А., Чувилов Д.А., Варламов О.О. Об одном подходе к созданию миварного виртуального консультанта // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям. «IS&IT'15». – Т. 1. – 2015. – С. 187-191.
2. Акчурин Э.А. Программирование на языке Visual Prolog в ИСП Visual Prolog. Учебное пособие для студентов направления «Информатика и вычислительная техника». / Поволжский государственный университет. Самара, 2012. – 144 с.
3. Аристов С.А. Имитационное моделирование экономических систем: Учебное пособие / – Екатеринбург: Изд-во УрГЭУ 2004. – 124 с.
4. Башлыков А.А., Вагин В.Н., Еремеев А.П. Экспертные системы поддержки интеллектуальной деятельности операторов АЭС // Вестник МЭИ. – 1995. – № 4. – С. 27.
5. Болнокин В.Е., Чувилов Д.А., Нгуен Динь Чунг, Зыонг Минь Хай. Применение многосерверных систем обработки информации для управления транспортными процессами морского порта // Фундаментальные исследования. – 2017. – №5. – С. 26-30.
6. Большаков С.В. Моделирование движения транспортных средств в аварийных ситуациях // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. XV междунар. студ. науч.-практ. конф. №15. URL: [http://sibac.info/archive/technic/9\(12\).pdf](http://sibac.info/archive/technic/9(12).pdf) (дата обращения: 06.02.2017)
7. Борщев А.В. Имитационное моделирование: состояние области на 2015 год, тенденции и прогноз // Седьмая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2015) в 2 томах. – 2015. – Т.1. – С.14-22.
8. Борщев А.В. Применение имитационного моделирования в России - состояние на 2007 г. // Бизнес-информатика. – 2008. – № 4 (6). – С. 64-68.

9. Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем / – М.: Наука, 1977. – 240 с.
10. Бусленко Н.П. Метод статистического моделирования / – М.: Статистика, 1970. – 113 с.
11. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / – М.: Изд-во Наука, 1978. – 399 с.
12. Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / Под ред. Вагина В.Н., Поспелова Д.А. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 712 с.
13. Варламов О.О. Логический искусственный интеллект создан на основе миварного подхода! МИВАР: активные БД с линейным логическим выводом > 3млн правил => понимание смысла + сингулярность в виртуальной реальности. Саарбрюкен, Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing Gmbh & Co. KG, 2012. – 700 с.
14. Варламов О.О. Обзор двадцати пяти лет развития миварного подхода к разработке интеллектуальных систем и создания искусственного интеллекта // Труды НИИР. – 2011. – № 1. – С.34-44.
15. Варламов О.О. Основы многомерного информационного развивающегося (миварного) пространства представления данных и правил // Информационные технологии. – 2003. – № 5. – С. 42-47.
16. Варламов О.О. Параллельная обработка потоков информации на основе виртуальных потоковых баз данных // Известия вузов. Электроника. – 2003. – № 5. – С. 82-89.
17. Варламов О.О. Перспективы создания миварных систем управления для автономных интеллектуальных роботов // Радиопромышленность. – 2015. – № 3. – С. 210-225.
18. Варламов О.О. Практическая реализация линейной вычислительной сложности логического вывода на правилах «Если-То» в миварных сетях и

обработка более трех миллионов правил // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – №1. – С. 60-97.

19. Варламов О.О. Разработка линейного матричного метода определения маршрута логического вывода на адаптивной сети правил // Известия вузов. Электроника. – № 6. – 2002. – С. 43-51.

20. Варламов О.О. Разработка метода распараллеливания потокового множественного доступа к общей базе данных в условиях недопущения взаимного искажения данных // Информационные технологии. – 2003. – № 1. – С. 20-28.

21. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. – М.: Науч.-техн. изд-во «Радио и связь», 2002. – 286 с.

22. Варламов О.О. Системный анализ и синтез моделей данных и методы обработки информации в самоорганизующихся комплексах оперативной диагностики: дис. ... д-ра. технич. наук: 05.13.01: – М., 2003. – 307 с.

23. Варламов О.О., Владимиров А.Н., Бадалов А.Ю., Чванин О.Н. Развитие миварного метода логико-вычислительной обработки информации для АСУ, тренажеров, экспертных систем реального времени и архитектур, ориентированных на сервисы // Труды Научно-исследовательского института радио. – 2010. – № 3. – С. 18-26.

24. 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.

25. Варламов О.О., Майборода Ю.И., Сергушин Г.С., Хадиев А.М. Применение миварных экспертных систем для решения задач понимания текста и распознавания изображений // В мире научных открытий. – 2015. – № 6 (66). – С. 205-214.

26. Варламов О.О., Чибирова М.О., Хадиев А.М., Антонов П.Д., Сергушин Г.С., Протопопова Д.А., Жданович Е.А., Збавитель П.Ю., Сараев Д.В.,

- Шошев И.А., Петерсон А.О. Практикум по миварному моделированию и созданию экспертных систем. На примере программного комплекса "Конструктор экспертных систем МИВАР 1.1" (КЭСМИ 1.1): Учебное пособие / Под ред. О.О. Варламова. – М.: НИИ «МИВАР» 2015. – 246 с.
27. Варламов О.О., Чувилов 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 (дата обращения: 05.04.2017).
28. Варламов О.О., Чувилов Д.А. Создание автономных интеллектуальных медицинских роботов на основе миварных технологий // XXVIII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2016) сборник трудов конференции. – 2017. – С. 223-226.
29. Гаврилова А.В., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем / – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
30. Гаврилова Т.А., Червинская К.Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем / – М.: Радио и связь, 1992. – 200 с.
31. Гречин И.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М., Сороколетов П.В. Элементы динамических экспертных систем. Монография / – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 116 с.
32. Данеев А.В., Несмеянов А.А. Анализ программных средств компьютерного моделирования, используемых при проведении автотехнических экспертиз // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. – 2012. – № 10. – С. 33-39.
33. Девятков В.В. Мир имитационного моделирования: взгляд из России // Прикладная информатика. – 2011. – № 4 (34). – С. 9-29.
34. Девятков В.В. Практическое применение имитационного моделирования в России и странах СНГ: обзор, анализ перспектив // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сборник докладов первой

всероссийской научно-практической конференции ИММОД. – 2003. – Т. 1. – С. 15-18.

35. Елескина Е.А., Карташова Е.Д. Применение моделей столкновения легковых автомобилей, основанных на гипотезе Кудлиха-Слибара, при расследовании дорожно-транспортных происшествий // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2013. – № 1 (5). – С. 148-154.

36. Елисеев Д.В., Сергушин Г.С., Хадиев А.М., Чувилов Д.А. Развитие алгоритма миварной машины логического вывода // Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения. Тезисы докладов II Всероссийской научно-технической конференции. – 2015. – С. 97.

37. Емельянов А.А. Имитационное моделирование в управлении рисками / – СПб.: Инжэкон, 2000. – 376 с.

38. Емельянов А.А., Власова Е.А., Дума Р.В. Имитационное моделирование экономических процессов / – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.

39. 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.

40. Захаров А.А. Методы и алгоритмы синтеза визуальной обстановки для тренажеров транспортных средств: дис. ... канд. технич. наук: 05.13.01: – Владимир, 2004. – 168 с.

41. Калугин А.В. Разработка методов и средств для автоматической регистрации параметров дорожно-транспортного происшествия: дис. ... канд. технич. наук: 05.22.10: – М., 2009. – 209 с.

42. Кобелев Н.Б. Имитационный анализ и синтез некоторых современных мировых проблем. Пособие для разработчиков глобальных имитационных моделей и их пользователей / – М.: ООО «Принт-сервис», 2015. – 96 с.

43. Кобелев Н.Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем. / – М.: ДЕЛО, 2003. – 335 с.
44. Кобелев Н.Б., Половников В.А., Девятков В.В. Имитационное моделирование: Учебное пособие / – М.: НИЦ ИНФРА, 2013 – 368 с.
45. Козлов И.В. Исследование и моделирование процессов автоматизированного контроля параметров движения транспортных средств, влияющих на дорожно-транспортные происшествия: дис. ... канд. технич. наук: 05.13.06: – Орел, 2005. – 153 с.
46. Колесников А.В. Гибридные интеллектуальные системы: Теория и технология разработки / Под ред. Яшина А.М. – СПб: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 711 с.
47. Кондратьев В.Д. Модели и методы управления безопасностью дорожного движения: дис. ... д-ра. технич. наук: 05.13.10: – Воронеж, 2008. – 226 с.
48. Куракина Е.В. Научно-методическое обеспечение автотехнической экспертизы, учитывающей техническое состояние автомобиля и дорожной среды: дис. ... канд. технич. наук: 05.22.10: – СПб., 2014. – 169 с.
49. Лапковский Р.Ю. Алгоритмы и программные средства системного анализа критических ситуаций для управления дорожным движением: дис. ... канд. технич. наук: 05.13.01: – Саратов, 2013. – 125 с.
50. Левашова Т.В. Модели управления контекстом в системах интеллектуальной поддержки принятия решений в структурированных динамических областях: дис. ... канд. технич. наук: 05.13.01: – СПб., 2009. – 117 с.
51. Лемешкин А.В. Разработка экспертной системы определения скорости столкновения автомобиля по деформации силовой структуры кузова: дис. ... канд. технич. наук: 05.22.10: – Волгоград, 2008. – 131 с.
52. Литвинов В. В., Казимир В. В., Хоминич А. В. Программные архитектуры экспертных систем в системах диагностики установок

электроннолучевой сварки // Математические машины и системы. – 2005. – №3. – С. 166-179.

53. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование социально-экономических систем (Системно-динамические модели города и сельскохозяйственного региона) / – Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 181 с.

54. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов: Учебное пособие / – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 254 с.

55. Люгер Джордж, Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / 4-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 864 с.

56. Маликов Р.Ф. Основы систем компьютерного моделирования: Учебное пособие / – Уфа: БГПУ им. М. Акмуллы, 2008. – 279 с.

57. Маликов Р.Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6: Учебное пособие / – Уфа: БГПУ им. М. Акмуллы, 2013. – 298 с.

58. Мезенцев К.Н. Моделирование систем в среде AnyLogic 6.4.1. Часть 1: Учебное пособие / Под ред. Николаева А.Б. – М.: МАДИ, 2011. – 103 с.

59. Мезенцев К.Н. Моделирование систем в среде AnyLogic 6.4.1. Часть 2: Учебное пособие / Под ред. Николаева А.Б. – М.: МАДИ, 2011. – 103 с.

60. Мезенцев К.Н. Мультиагентное моделирование в среде NetLogo: Учебное пособие / – М.: МАДИ, 2014. – 169 с.

61. Муромцев Д.И. Методика преподавания технологии экспертных систем с использованием оболочки Exsys Corvid // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2006. – № 32. – С. 199-201.

62. Мухин О.И. Моделирование систем. Конспект лекций / – Пермь: ПГТУ, 1985. – 95 с.

63. Назарко С.А. Исследование столкновений автомобилей на перекрестке. Методические указания к курсовой работе по дисциплинам

«Экспертиза ДТП» и «Расследование и экспертиза ДТП» / – ГОУ ВПО СибАДИ. Омск, 2009. – 66 с.

64. Нечаевский А.В. История развития компьютерного имитационного моделирования // Системный анализ в науке и образовании. – 2013. – № 2. – С. 1-15.

65. Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. Задания для контрольных работ по учебной дисциплине «Основы управления и безопасность дорожного движения». [Электронный ресурс] / ГБОУ ВО НГИЭУ. Княгинино, 2015. Режим доступа: <http://ngiei.ru/> (дата обращения: 10.06.2016).

66. Николаев А.Б., Демин В.А., Еськова И.А., Окунькова А.А., Приходько М.В. Аналитико-имитационное моделирование технологических процессов производства, обслуживания и ремонта дорожно-строительной техники: монография / – Saint-Louis, USA: Publishing House Science and Innovation Center, 2014. – 242 с.

67. Николаев А.Б., Приходько М.В., Сатышев С.Н., Солнцев А.А., Якунин П.С. Имитационные модели оценки качества транспортного обслуживания // Автотранспортное предприятие. – 2013. – № 2. – С. 52-54.

68. Осипов Г.С. Инструментарий для экспертных систем. Теория SIMER+MIR // Программные продукты и системы. – 1990. – № 3. – С. 23.

69. Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта / – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 296 с.

70. Павловский Ю.Н. Имитационные модели и системы / – М.: Фазис: ВЦ РАН, 2000. – 134 с.

71. Павловский Ю.Н., Белотелов Н.В., Бродский Ю.И. Имитационное моделирование: Учебное пособие / – М.: «Академия», 2008. – 240 с.

72. Плотников А.М., Рыжиков Ю.И., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Анализ современного состояния и тенденции развития имитационного моделирования в Российской Федерации (по материалам конференций

- «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД)) // Труды СПИИРАН. – 2013. – № 2 (25). – С. 42-112.
73. Полковникова Н.А., Курейчик В.М. Нейросетевые технологии, нечёткая кластеризация и генетические алгоритмы в экспертной системе // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 7 (156). – С. 7-15.
74. Полковникова Н.А., Курейчик В.М. Разработка модели экспертной системы на основе нечёткой логики // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 1 (150). – С. 83-92.
75. Попов Э. В. Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ / – М.: Наука, 1987. – 288 с.
76. Попов Э.В. Искусственный интеллект: Спр. В 3 кн. кн. 1. Системы общения и экспертные системы / – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.
77. Попов Э.В., Фирдман Г.Р. Алгоритмические основы интеллектуальных роботов и искусственного интеллекта. – М.: Наука, 1976. – 456 с.
78. Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. Статические и динамические экспертные системы: Учебное пособие / – М: «Финансы и статистика», 1996. – 318 с.
79. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / – М.: Наука, 1986. – 228 с.
80. Поспелов Д.А. Экспертные системы: состояние и перспективы / Институт проблем передачи информации АН СССР, 1989. – 154 с.
81. Поспелов Д.А., Пушкин В.Н. Мышление и автоматы / – М.: Советскоерадио, 1972. – 226 с.
82. Рыбина Г.В. Экспертные системы и инструментальные средства для их разработки: некоторые итоги // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2013. – Т. 11. – № 5. – С. 35-48.
83. Рыбина Г.В. Интегрированные экспертные системы: подходы и принципы глубинной интеграции компонентов // Искусственный интеллект. – 2000. – № 3. – С. 89.

84. Рыбина Г.В. Обучающие интегрированные экспертные системы: некоторые итоги и перспективы // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2008. – № 1. – С. 22-46.
85. Рыбина Г.В. Теория и технология построения интегрированных экспертных систем. – М.: Изд-во «Научтехлитиздат», 2008. – 482 с.
86. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / – СПб.: Альтекс, 2004. – 529 с.
87. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование систем массового обслуживания / – Л.: ВИККИ им. А.Ф. Можайского, 1991. – 111 с.
88. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Курс лекций / – СПб, 2007. – 122 с.
89. Рыжиков Ю.И. Машинные методы расчета систем массового обслуживания / – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1979. – 177 с.
90. Святный В.А., Цайтц М., Аноприенко А.Я. Реализация системы моделирования динамических процессов на параллельной ЭВМ в среде сетевого графического интерфейса // Вопросы радиоэлектроники, серия «ЭВТ». – 1991. – № 2. – С. 85-94.
91. Сидоренко В.Н. Системная динамика / – М.: Эконом. факультет МГУ, ТЕИС, 1998. – 200 с.
92. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло / – М.: Наука, 1973. – 312 с.
93. Степина П.А. Разработка методики совершенствования автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий: дис. ... канд. технич. наук: 05.22.10: – СПб., 2010. – 171 с.
94. Стефанюк В.Л. Некоторые аспекты теории экспертных систем // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 1987. – № 2. – С. 85.
95. Стефанюк В.Л., Жожикашвили А.В. Сотрудничающий компьютер: проблемы, теории, приложения / – М.: Наука, 2007. – 276 с.

96. 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.
97. Филиппович А.Ю. Интеграция систем ситуационного, имитационного и экспертного моделирования / – М.: ООО «Эликс+», 2003. – 300 с.
98. Филиппович А.Ю. Интеграция систем ситуационного, имитационного и экспертного моделирования: дис. ... канд. технич. наук: 05.13.06: – М., 2004. – 166 с.
99. Хейес-Рот Ф., Уотерман Д., Ленат Д. Построение экспертных систем / Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 441 с.
100. Хорошевский В.Ф. Разработка и реализация экспертных систем - инструментальный подход // Изв. АН СССР, серия «Техническая кибернетика». – 1986. – № 5. – С. 104-114.
101. Частиков А.П., Белов Д.Л., Частикова В.А. Регенеративные экспертные системы / – Краснодар, 2014. – 128 с.
102. Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Белов Д.Л. Разработка экспертных систем. среда CLIPS / – СПб.: «БХВ-Петербург», 2006. – 608 с.
103. Частиков А.П., Леднева И.Ю. Нечеткие экспертные системы // Наука Кубани. – 2000. – № 6. – С. 58-63.
104. Черненький В.М. Адаптированное описание системы имитационного моделирования GPSS [Электронный ресурс] / – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 43 с. Режим доступа: http://e-learning.bmstu.ru/portal_iu5/pluginfile.php/644/mod_page/content/7/GPSS.pdf (дата обращения: 11.12.2016).
105. Черненький В.М. Имитационное моделирование / – М.: Высшая школа, 1990. – 112 с.
106. Черненький В.М. Теоретические основы построения имитационного процесса [Электронный ресурс] / – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 24 с. Режим доступа: http://e-learning.bmstu.ru/portal_iu5/pluginfile.php/644/mod_page/content/7/TeorImit.pdf (дата обращения: 11.12.2016)

107. Чибирова М.О. Структурное развитие миварного подхода: классы и отношения // Радиопромышленность. – 2015. – № 3. – С. 44-54.
108. Чибирова М.О. Сравнительный анализ миварного подхода с подходами, основывающимися на онтологиях и когнитивных картах // Радиопромышленность. – 2015. – № 3. – С. 55-66.
109. Чувилов Д.А. Самостоятельная разработка персонального сайта учителем // European student scientific journal. – 2014. – № 1 – С. 16-21.
110. Чувилов Д.А. Универсальные алгоритмы взаимодействия экспертной системы и системы имитационного моделирования // Т-Comm. – 2017. – №4 (11). – С. 34-40.
111. Чувилов Д.А. Имитационное моделирование как средство представления дополнительной информации для принятия решений человеком // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2017. – № 4. – С. 44-53.
112. Чувилов Д.А. Использование системы «Анализ ДТП» при экспертизе и анализе аварийных событий дорожно-транспортных происшествий // Научный альманах. – 2017. – № 3-3 (29). – С. 240-243.
113. Чувилов Д.А. Использование среды Wi!Mi 2.1 для создания интеллектуальных систем // Научный альманах. – 2017. – № 1-3 (27). – С. 137-140.
114. 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.
115. 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.
116. Чувилов Д.А. Методика объединения экспертной системы и системы имитационного моделирования // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2017. – № 3. – С. 11-18

117. Чувилов Д.А. Особенности объединение экспертной системы и технологии имитационного моделирования // Автоматизация и управление в технических системах. – 2017. – № 1. URL: auts.esrae.ru/22-397 (дата обращения: 05.04.2017).
118. Чувилов Д.А. Применение графического движка в решении интеллектуальных задач, связанных с ситуационным трехмерным моделированием // Радиопромышленность. – 2015. – № 3. – С. 200-209.
119. Чувилов 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 II Всероссийской научно-технической конференции. – 2015. – С. 213.
120. Чувилов Д.А. Применение миварного логического ядра в решении задач, связанных с ситуационным трехмерным моделированием // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2016. – Т. 8. – № 6. – С. 53-58.
121. Чувилов 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 (дата обращения: 05.04.2017).
122. Чувилов Д.А. Применение процедурной анимации в решении интеллектуальных задач и проблем, связанных с ситуационным трехмерным моделированием // Радиопромышленность. – 2015. – № 3. – С. 184-190.
123. Чувилов Д.А. Применение технологии WebGL при решении интеллектуальных задач // В сборнике: Современное общество, образование и наука сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 16 частях. – 2015. – С. 151-153.

124. Чувилов Д.А. Применение физического движка в решении задач, связанных с ситуационным трехмерным моделированием в реальном времени // Радиопромышленность. – 2015. – № 3. – С. 191-199.
125. Чувилов Д.А. Применение экспертного и имитационного моделирования для решения интеллектуальных задач // Вестник научных конференций. – 2017. – № 3-4(19). – С. 116-117.
126. Чувилов Д.А. Применение экспертного моделирования в получении новых знаний человеком // Радиопромышленность. – 2017. – № 2. – С. 72-80.
127. Чувилов Д.А. Разработка игрового виртуального симулятора // – М.: БИБЛИО-ГЛОБУС, 2017. – 164 с. ISBN: 978-5-9909278-5-8. DOI: 10.18334/9785990927858.
128. Чувилов Д.А. Разработка персонального сайта учителем школы // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-1. – С. 222.
129. Чувилов Д.А. Разработка электронного образовательного ресурса (ЭОР) «МИВАР». «МИВАР» – логический искусственный интеллект / – Саарбрюкен: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2015. – 65 с.
130. Чувилов Д.А. Роль использования синтеза систем имитационного и экспертного моделирования // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям. «IS&IT'16». – Т. 2. – 2015. – С. 125-128.
131. Чувилов Д.А. Роль процедурной анимации в решении интеллектуальных задач, связанных с ситуационным трехмерным моделированием // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям. «IS&IT'15». – Т. 2. – 2015. – С. 170-173.
132. Чувилов Д.А. Универсальный подход объединения экспертной системы и системы имитационного моделирования // XI Международная отраслевая научно-техническая конференция «Технологии информационного общества». – 2017. – С. 463-464.

133. Чувилов Д.А., Варламов О.О. Использование миварного подхода в решении задач, связанных с имитационным моделированием // Седьмая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2015) в 2 томах. – 2015. – Т.1. – С. 280-284.
134. Чувилов 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 (дата обращения: 05.04.2017).
135. Чувилов 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.
136. Чувилов Д.А., Назаров К.В. Автоматическое конструирование алгоритмов решения задач по физике в программной среде КЭСМИ // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям. «IS&IT'16». – Т. 2. – 2015. – С. 38-41.
137. Чувилов 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 (дата обращения: 05.04.2017).
138. Чувилов 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 (дата обращения: 05.04.2017).
139. 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.

140. Чувилов Д.А., Сараев Д.В. Моделирование поведения автономного робота-гида в среде V-REP с использованием миварного конструктора алгоритмов // XXVIII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2016) сборник трудов конференции. – 2017. – С. 302-305.
141. 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.
142. Чувилов 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.
143. Чувилов 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
144. Чувилов Д.А., Феоктистов В.П. Сравнительный анализ CMS систем для создания электронных образовательных ресурсов // Автоматизация и управление в технических системах. – 2015. – № 1 (13). – С. 119-129.
145. Чувилов 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.
146. 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.
147. Шахов К.С. Метод анализа механизма дорожно-транспортного происшествия: дис. ... канд. технич. наук: 05.22.10: – Тюмень, 2007. – 135 с.

148. Элти Дж., Кумбс М. Экспертные системы: концепции и примеры / Пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 192 с.
149. Юсупов Р.М., Соколов Б.В. Имитационное моделирование и его применение в науке и промышленности // Вестник Российской академии наук. – 2008. – Т. 78. – № 5. – С. 471-472.
150. Borshchev A.V., Karpov Y.G., Kharitonov V.L. Distributed simulation of hybrid systems with AnyLogic and HLA // Future Generation Computer Systems, 2002. Т. 18. № 6. – pp. 829-839.
151. Borshchev A.V., Karpov Y.G., Senichenkov Y.B. Java engine for UML based hybrid state machines // Winter Simulation Conference Proceedings 2000. USA, 2000. – pp. 1888-1894.
152. 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. – pp. 16-22.
153. 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. – pp. 31-50.
154. Dahl Ole-Johan, Myhrhaug B., Nygaard K. SIMULA 67 common base language / Norwegian computing center, 1968. – 141 p.
155. Es-Saheb M.H., Al-Harkan I.M. An Expert System for Powder Selection Using EXSYS-CORVID // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2014. Т. 7. № 10. – pp. 1961-1977.
156. Feigenbaum E. The Art of Artificial Intelligence: Themes and Case Studies of Knowledge Engineering // International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), 1977. – pp. 1014-1029.
157. Forgy Ch.L. Rete: Rete: a fast algorithm for the many pattern/many object pattern match problem // Artificial Intelligence, 1982. – pp. 17-37.
158. Goonatillake S., Khebbal S. Intelligent Hybrid Systems // The First Singapore Int. Conference on Intelligent Systems. Singapore, 1992. – pp. 356-364.

159. Lederberg J., Hunter L. Artificial Intelligence and Molecular Biology / MIT Press, 1993. – 468 p.
160. Nance R.E. A history of discrete event simulation programming languages / Virginia Polytechnic Institute and State University, 1993. – 52 p.
161. Panferov A.A., Zhdanovich E.A., Yufimychev K.A., Chuvikov D.A. Designing algorithms for service robots on the basis of mivar approach // International Journal of Advanced Studies. – 2016. – Т. 6. – № 3. – pp. 72-86.
162. Riley G. CLIPS. What is CLIPS? [Электронный ресурс] / 2008. Режим доступа: <http://clipsrules.sourceforge.net/WhatIsCLIPS.html> (дата обращения: 10.06.2016).
163. Schriber Th.J. An Introduction to Simulation Using GPSS / H. John Wile & Sons, 1991. – 425 p.
164. Shannon R.E. Introduction to the art and science of simulation // Proceedings of the Winter Simulation Conference, 1998. – pp. 7-14.
165. Shannon R.E. Systems Simulation: The Art and Science / Prentice-Hall, 1975. – 387 p.
166. Varlamov O.O. MIVAR technologies of the development of intelligent systems and the creation of the active multi-subject online Mivar encyclopedia // Congress Information System and Technologies - 2011 AIS 11 CAD-2011. 2011, – pp. 31-38.
167. Varlamov O.O., Danilkin I.A. Knowledge representation and reasoning. Mivar technologies // Computer Data Analysis and Modeling: Theoretical and Applied Stochastics: Proc. of the 11-th Intern. Conf., 2016. – pp. 309-313.
168. Varlamov O.O., Danilkin I.A., Shoshev I.A. Mivar technologies in knowledge representation and reasoning // PRIP'2016: Pattern Recognition and Information Processing: Proc. of the 13-th Intern. Conf., 2016. – pp. 30-32.

ПРИЛОЖЕНИЕ №1

Таблица П.1.1. Тормозные качества автомобиля

№	Формула	Вход	Выход	Описание	Связь
1	$t_1 = a \cdot m_t$	a, m_t	t_1	t_1 – время реакции водителя, с; a – длина соответствующих отрезков времени, в делениях, дел; m_t – масштаб времени, с/дел.	–
2	$t_2 = b \cdot m_t$	b, m_t	t_2	t_2 – время запаздывания срабатывания тормозного привода, с; b – длина соответствующих отрезков времени, в делениях, дел; m_t – масштаб времени, с/дел.	–
3	$t_3 = c \cdot m_t$	c, m_t	t_3	t_3 – время нарастания замедления, с; c – длина соответствующих отрезков времени, в делениях, дел; m_t – масштаб времени, с/дел.	–
4	$t_4 = d \cdot m_t$	d, m_t	t_4	t_4 – время торможения с максимальным установившимся замедлением, с; d – длина соответствующих отрезков времени, в делениях, дел; m_t – масштаб времени, с/дел.	–
5	$j_{max} = m_j \cdot e$	m_j, e	j_{max}	j_{max} – величина замедления м/с ² ; m_j – масштаб замедления, м/с ² дел; e – длина отрезка максимального замедления, дел.	–

Продолжение таблицы П.1.1

6	$e = c \cdot \operatorname{tg} \alpha$	c, α	e	e – длина отрезка максимального замедления, дел; c – длина соответствующих отрезков времени, в делениях, дел; α – угол наклона дороги, град.	–
7	$j_{\max} = \frac{f \cdot g}{K_{\text{Э}}}$	$f, g, K_{\text{Э}}$	$j_{\max}$	$j_{\max}$ – величина замедления м/с ² ; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; $K_{\text{Э}}$ – поправочный коэффициент эффективности торможения.	Табл.: П.1.2, П.1.3, П.1.4
8	$j_{\max} = f \cdot g$	f, g	$j_{\max}$	$j_{\max}$ – величина замедления м/с ² ; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² .	Табл.: П.1.2, П.1.4
9	$f = \frac{j_{\max}}{g}$	$j_{\max}, g$	f	$j_{\max}$ – величина замедления м/с ² ; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² .	Табл.: П.1.2, П.1.4
10	$S_1 = V_0 \cdot t_1$	V_0, t_1	S_1	S_1 – путь за время реакции водителя, м; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; t_1 – время реакции водителя, с.	–

Продолжение таблицы П.1.1

11	$S_2 = V_0 \cdot t_2$	V_0, t_2	S_2	S_2 – путь за время запаздывания срабатывания тормозного привода, м; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; t_2 – время запаздывания срабатывания тормозного привода, с.	–
12	$S_3 = V_0 \cdot 0,5 \cdot t_3$	V_0, t_3	S_3	S_3 – путь за время нарастания замедления, м; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; t_3 – время нарастания замедления, с.	–
13	$S_4 = \frac{V_0^2}{2 \cdot j_{\max}}$	$V_0, j_{\max}$	S_4	S_4 – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением (длина пути скольжения шин), м; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; $j_{\max}$ – величина замедления м/с ² .	–
14	$S_T = (t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot V_0 + \frac{V_0^2}{2 \cdot j_{\max}}$	$t_2, t_3, V_0, j_{\max}$	S_T	S_T – длина тормозного пути, м; t_2 – время запаздывания срабатывания тормозного привода, с; t_3 – время нарастания замедления, с; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; $j_{\max}$ – величина замедления м/с ² .	–
15	$S_{OCT} = \sum t \cdot V_0 + \frac{V_0^2}{2 \cdot j_{\max}}$, где $\sum t = t_1 + t_2 + t_3$	$t_1, t_2, t_3, V_0, j_{\max}$	S_{OCT}	S_{OCT} – длина остановочного пути, м; t_{Σ} – суммарное время, с; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; $j_{\max}$ – величина замедления м/с ² .	–

Продолжение таблицы П.1.1

16	$S_{Б_легкового} = S_{ОСТ} + l_{легкового}$	$S_{ОСТ},$ $l_{легкового}$	$S_{Б_легко-}$ $вого$	$S_{Б_легкового}$ – длина дистанции безопасности легкового ТС, м; $S_{ОСТ}$ – остановочный путь, м; $l_{легкового}$ – средняя длина легкового автомобиля ($l_{легкового} = 5\text{м}$), м.	–
17	$S_{Б_грузового} = S_{ОСТ} + l_{грузового}$	$S_{ОСТ},$ $l_{грузового}$	$S_{Б_грузо-}$ $вого$	$S_{Б_грузового}$ – длина дистанции безопасности грузового ТС, м; $S_{ОСТ}$ – остановочный путь, м; $l_{грузового}$ – средняя длина грузового автомобиля ($l_{грузового} = 14\text{м}$), м.	–

Таблица П.1.2. Коэффициенты сцепления шин с различными дорожными покрытиями

Покрытие дороги	Значение коэффициента сцепления f	
	На сухом покрытии	На мокром покрытии
Асфальтобетонное	0,7 – 0,8	0,4 – 0,5
Щебеночное	0,6 – 0,7	0,3 – 0,4
Грунтовое	0,5 – 0,6	0,2 – 0,4
Гравийное	0,5 – 0,6	0,3 – 0,4
Глина	0,5 – 0,6	0,2 – 0,4
Песок	0,5 – 0,6	0,2 – 0,5
Уплотненное снежное	0,2 – 0,3	0,1 – 0,2
Обледененное	0,1 – 0,2	0,08

Таблица П.1.3. Значение K_3 при наличии следов юза

f	Легковые автомобили	Грузовые автомобили и автобусы
0,7 – 0,8	1,2	1,6 – 1,5
0,5 – 0,6	1,1	1,4 – 1,3
Менее 0,4	1,0	1,0

Таблица П.1.4. Дополнительные значения коэффициентов сцепления f

Поверхности скольжения	f
Сталь по асфальту	0,4
Сталь по грязной обочине	0,35

Таблица П.1.5. Скорость автомобиля

№	Формула	Вход	Выход	Описание	Связь
18	$V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot f \cdot S_4}$	f, S_4	V_0	V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; S_4 – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением (длина пути скольжения шин), м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
19	$V_{0_добавочная} = \sqrt{V^2 + V_0^2}$	V, V_0	$V_{0_добавочная}$	$V_{0_добавочная}$ – скорость автомобиля перед началом торможения при добавочной скорости V в момент столкновения ТС, м/с; V – скорость ТС в момент столкновения, м/с; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с.	–

Продолжение таблицы П.1.5

20	$f = \frac{V_0^2}{2 \cdot g \cdot S_4}$	S_4, V_0	f	f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; S_4 – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением (длина пути скольжения шин), м; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с.	Табл.: П.1.2, П.1.4
21	$S_4 = \frac{V_0^2}{2 \cdot g \cdot f}$	V_0, f	S_4	S_4 – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением (длина пути скольжения шин), м; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия.	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.5

22	$S_{4-n} = \frac{V_0^2 - n}{2 \cdot g \cdot f \cdot \eta}$	V_{0-n}, f, η	S_{4-n}	S_{4-n} – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением (длина пути скольжения шин) с учетом коэффициента n , м; V_{0-n} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента n , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; η – коэффициент степени эффективности тормозов.	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
23	$V_{0-n} = \sqrt{2 \cdot g \cdot f \cdot S_{4-n} \cdot \eta}$	S_4, f, η	V_0	V_{0-n} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента n , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; S_4 – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением, м (длина пути скольжения шин); η – коэффициент степени эффективности тормозов.	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6

Продолжение таблицы П.1.5

24	$V = \sqrt{V_0^2 - 2 \cdot g \cdot f \cdot S_4}$	V_0, f, S_4	V	V – скорость ТС в момент столкновения, м/с; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; S_4 – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением (длина пути скольжения шин), м	Табл.: П.1.2, П.1.4
25	$V_{_n} = \sqrt{V_{0_n}^2 - 2 \cdot g \cdot f \cdot S_{4_n}}$	V_{0_n}, f, S_{4_n}	$V_{_n}$	$V_{_n}$ – скорость ТС в момент столкновения с учетом коэффициента n , м/с; V_{0_n} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента n , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; S_{4_n} – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением с учетом коэффициента n , (длина пути скольжения шин) м.	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.5

26	$S_{4подъем} = \frac{V_{0подъем}^2}{2 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot (f - \operatorname{tg} \alpha)}$	$V_{0подъем},$ f, α	$S_{4подъем}$	$S_{4подъем}$ – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением при подъеме, м (длина пути скольжения шин); $V_{0подъем}$ – скорость ТС перед началом торможения при подъеме, м/с; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; α – угол наклона дороги.	Табл.: П.1.2, П.1.4
27	$i = \operatorname{tg} \alpha$	α	i	i – уклон дороги; α – угол наклона дороги.	–
28	$i = \frac{RoadSlope}{100}$	$RoadSlope$	i	i – уклон дороги, рад; $RoadSlope$ – уклон дороги, %.	–
29	$\alpha = \frac{i \cdot 180^0}{\Pi}$	i	α	α – угол наклона, град.; i – уклон дороги, рад.	–
30	$f = \frac{V_{0подъем}^2}{2 \cdot g \cdot S_{4подъем} \cdot \cos \alpha} + \operatorname{tg} \alpha$	$V_{0подъем},$ $S_{4подъем},$ α	f	f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; $V_{0подъем}$ – скорость ТС перед началом торможения при подъеме, м/с; $S_{4подъем}$ – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением при подъеме, м (длина пути скольжения шин); α – угол наклона, град.	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.5

40	$V_{0подъем} = \sqrt{2 \cdot g \cdot S_{4подъем} \cdot (f + tg\alpha)}$	$S_{4подъем}, f, \alpha$	$V_{0подъем}$	$V_{0подъем}$ – скорость ТС перед началом торможения при подъеме, м/с; $S_{4подъем}$ – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением при подъеме, м (длина пути скольжения шин); f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; α – угол наклона дороги.	Табл.: П.1.2, П.1.4
41	$S_{4подъем_п} = \frac{V_{0подъем_п}^2}{2 \cdot g \cdot Cos\alpha \cdot (f - tg\alpha) \cdot \eta}$	V_0, f, α, η	$S_{4подъем_п}$	$S_{4подъем_п}$ – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением при подъеме, м (длина пути скольжения шин) с учетом коэффициента η , м; $V_{0подъем_п}$ – скорость ТС перед началом торможения при подъеме с учетом коэффициента η , м/с; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; α – угол наклона дороги; η – коэффициент степени эффективности тормозов.	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6

Продолжение таблицы П.1.5

42	$V_{0подъем_n} = \sqrt{2 \cdot g \cdot S_{4подъем_n} \cdot (f + tg\alpha) \cdot \eta}$	$S_{4подъем_n}, f, \alpha, \eta$	$V_{0подъем_n}$	$V_{0подъем_n}$ – скорость ТС перед началом торможения при подъеме с учетом коэффициента n , м/с; $S_{4подъем_n}$ – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением при подъеме, м (длина пути скольжения шин) с учетом коэффициента n ; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; α – угол наклона дороги; η – коэффициент степени эффективности тормозов.	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
43	$V_{подъем} = \sqrt{V_{0подъем}^2 - 2 \cdot g \cdot f \cdot S_{4подъем}}$	$V_{0подъем}, f, S_{4подъем}$	$V_{подъем}$	$V_{подъем}$ – скорость ТС в момент столкновения при подъеме, м/с; $V_{0подъем}$ – скорость ТС перед началом торможения, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; $S_{4подъем}$ – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением, м (длина пути скольжения шин).	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.5

44	$\frac{V_{\text{подъем}_n}}{= \sqrt{V_{0\text{подъем}_n}^2 - 2 \cdot g \cdot f \cdot S_{4\text{подъем}_n}}} =$	$V_{0\text{подъем}_n}, S_{4\text{подъем}_n}, f$	$V_{\text{подъем}_n}$	$V_{\text{подъем}_n}$ – скорость ТС в момент столкновения при подъеме с учетом коэффициента n , м/с; $V_{0\text{подъем}_n}$ – скорость ТС перед началом торможения при подъеме с учетом коэффициента n , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; $S_{4\text{подъем}_n}$ – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением при подъеме, м (длина пути скольжения шин) с учетом коэффициента n , м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
45	$S_{4\text{уклон}} = \frac{V_{0\text{уклон}}^2}{2 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot (f + \tan \alpha)}$	V_0, f, α	$S_{4\text{уклон}}$	$S_{4\text{уклон}}$ – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением при уклоне, м (длина пути скольжения шин); $V_{0\text{уклон}}$ – скорость ТС перед началом торможения при уклоне, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; α – угол наклона дороги.	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.5

46	$f = \frac{V_{0\text{уклон}}^2}{2 \cdot g \cdot S_{4\text{уклон}} \cdot \cos \alpha} - \operatorname{tg} \alpha$	$V_{0\text{уклон}}, S_{4\text{уклон}}, \alpha$	f	f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; $V_{0\text{уклон}}$ – скорость ТС перед началом торможения при подъеме, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; $S_{4\text{уклон}}$ – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением при подъеме, м (длина пути скольжения шин); α – угол наклона, град.	Табл.: П.1.2, П.1.4
47	$V_{0\text{уклон}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot S_{4\text{уклон}} (f - \operatorname{tg} \alpha)}$	$S_{4\text{уклон}}, f, \alpha$	$V_{0\text{уклон}}$	$V_{0\text{уклон}}$ – скорость ТС перед началом торможения при уклоне, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; $S_{4\text{уклон}}$ – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением при подъеме, м (длина пути скольжения шин); f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; α – угол наклона дороги.	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.5

48	$S_{4\text{уклон}_n} = \frac{V_{0\text{уклон}_n}^2}{2 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot (f + \operatorname{tg} \alpha) \cdot \eta}$	V_0, f, α, η	$S_{4\text{уклон}_n}$	$S_{4\text{уклон}_n}$ – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением при подъеме (длина пути скольжения шин) с учетом коэффициента n, m ; g – ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$; $V_{0\text{уклон}_n}$ – скорость ТС перед началом торможения при уклоне с учетом коэффициента n, m ; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; α – угол наклона дороги; η – коэффициент степени эффективности тормозов.	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
49	$V_{0\text{уклон}_n} = \sqrt{2 \cdot g \cdot S_{4\text{уклон}_n} \cdot (f - \operatorname{tg} \alpha) \cdot \eta}$	$S_{4\text{уклон}_n}, f, \alpha, \eta$	$V_{0\text{уклон}_n}$	$V_{0\text{уклон}_n}$ – скорость ТС перед началом торможения при уклоне с учетом коэффициента n, m ; g – ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$; $S_{4\text{уклон}_n}$ – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением при подъеме (длина пути скольжения шин) с учетом коэффициента n, m ; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; α – угол наклона дороги; η – коэффициент степени эффективности тормозов.	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6

Продолжение таблицы П.1.5

50	$V_{\text{уклон}} = \sqrt{V_{0\text{уклон}}^2 - 2 \cdot g \cdot f \cdot S_{4\text{уклон}}}$	$V_{0\text{уклон}}, f, S_{4\text{уклон}}$	$V_{\text{уклон}}$	$V_{\text{уклон}}$ - скорость ТС в момент столкновения при уклоне, м/с; $V_{0\text{уклон}}$ - скорость ТС перед началом торможения при уклоне, м/с; g - ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²; f - коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; $S_{4\text{уклон}}$ - путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением, м (длина пути скольжения шин).	Табл.: П.1.2, П.1.4
51	$V_{\text{уклон}_n} = \sqrt{V_{0\text{уклон}_n}^2 - 2 \cdot g \cdot f \cdot S_{4\text{уклон}_n}}$	$V_{0\text{уклон}_n}, f, S_{4\text{уклон}_n}$	$V_{\text{уклон}_n}$	$V_{\text{уклон}_n}$ - скорость ТС в момент столкновения при уклоне с учетом коэффициента n, м/с; $V_{0\text{уклон}_n}$ - скорость ТС перед началом торможения при уклоне с учетом коэффициента n, м/с; g - ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²; f - коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия; $S_{4\text{уклон}_n}$ - путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением (длина пути скольжения шин) с учетом коэффициента n, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.5

52	$V' = \sqrt{\frac{2 \cdot (A_C + A_B + A_{II} + A_K)}{M}}$	$A_C, A_B,$ $A_{II}, A_K,$ M	V'	V' - скорость автомобиля при разъединении (в момент расхождения), м/с; M – масса ТС, кг; A_C – работа, затраченная на скольжение ТС, Н·м; A_B – работа, затраченная на вращение, Н·м; A_{II} – работа, затраченная на преодоление сопротивления подъёму, Н·м; A_K – работа, затраченная на сопротивление качению, Н·м.	–
53	$A_C = M \cdot g \cdot f \cdot S_C$	M, f, S_C	A_C	A_C – работа, затраченная на скольжение ТС, Н·м; M – масса ТС, кг; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f – коэффициент сцепления колёс с дорогой; S_C – расстояние перемещения центра масс автомобиля при скольжении, м.	–

Продолжение таблицы П.1.5

54	$A_B = \frac{2 \cdot M \cdot g \cdot f \cdot L_a \cdot L_b \cdot \varepsilon}{L}$	$M, f,$ $L_a, L_b,$ ε, L	A_B	A_B – работа, затраченная на вращение, Н·м; M – масса ТС, кг; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f – коэффициент сцепления колёс с дорогой; L_a – расстояние от центра масс автомобиля до передней оси, м; L_b – расстояние от центра масс автомобиля до задней оси, м; ε – дополнительный угол разворота автомобиля относительно начального положения, превышающий 90°, рад; L – база автомобиля, м.	–
55	$A_{\Pi} = M \cdot g \cdot i \cdot S_{\text{подъем}}$	$M, i,$ $S_{\text{подъем}}$	A_{Π}	A_{Π} – работа, затраченная на преодоление сопротивления подъёму, Н·м; M – масса ТС, кг; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; $S_{\text{подъем}}$ – расстояние, пройденное по подъёму, м; i – коэффициент сопротивления подъёму.	–
56	$A_K = M \cdot g \cdot \varphi \cdot S_K$ <i>Ограничение:</i> if (x>=0.015) && (x<=0.3) {flag = true;} else {flag = false;}	$M, \varphi,$ S_K	A_K	A_K – работа, затраченная на сопротивление качению, Н·м; M – масса ТС, кг; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; φ – коэффициент сопротивления качению автомобиля; S_K – расстояние, пройденное автомобилем при качении, м	Табл.: П.1.7

Продолжение таблицы П.1.5

57	$L = L_a + L_b$ <i>Ограничение:</i> if $L == a + b$ && $L > a$ && $L > b$ {flag = true;} else {flag = false;}	L_a, L_b	L	L – база автомобиля, м; L_a – расстояние от центра масс автомобиля до передней оси, м; L_b – расстояние от центра масс автомобиля до задней оси, м.	–
58	$L_a = L - L_b$	L, L_b	L_a	L_a – расстояние от центра масс автомобиля до передней оси, м; L_b – расстояние от центра масс автомобиля до задней оси, м; L – база автомобиля, м.	–
59	$L_b = L - L_a$	L, L_a	L_b	L_b – расстояние от центра масс автомобиля до задней оси, м; L – база автомобиля, м; L_a – расстояние от центра масс автомобиля до передней оси, м.	–
60	$M = M1 + M2$ <i>Ограничение:</i> if $L == a + b$ && $L > a$ && $L > b$ {flag = true;} else {flag = false;}	$M1, M2$	M	M – масса ТС, кг; $M1$ – масса передней оси ТС, кг; $M2$ – масса задней оси ТС, кг.	–
61	$M1 = M - M2$	$M, M2$	$M1$	$M1$ – масса передней оси ТС, кг; M – масса ТС, кг; $M2$ – масса задней оси ТС, кг.	–
62	$M2 = M - M1$	$M, M1$	$M2$	$M2$ – масса задней оси ТС, кг; M – масса ТС, кг; $M1$ – масса передней оси ТС, кг.	–
63	$L = \frac{M1 \cdot L_a}{M2} + L_a$	$M1, M2, L_a$	L	L – база автомобиля, м; $M1$ – масса передней оси ТС, кг; $M2$ – масса задней оси ТС, кг; L_a – расстояние от центра масс автомобиля до передней оси, м.	–

Продолжение таблицы П.1.5

64	$L = \frac{M_2 \cdot L_b}{M_1} + L_b$	M_1, M_2, L_b	L	L – база автомобиля, м; M_1 – масса передней оси ТС, кг; M_2 – масса задней оси ТС, кг; L_b – расстояние от центра масс автомобиля до задней оси, м.	–
65	$L_a = \frac{L \cdot M_2}{M}$	L, M_2, M	L_a	L_a – расстояние от центра масс автомобиля до передней оси, м; L – база автомобиля, м; M_1 – масса передней оси ТС, кг; M_2 – масса задней оси ТС, кг.	–
66	$L_b = \frac{L \cdot M_1}{M}$	L, M_1, M	L_b	L_b – расстояние от центра масс автомобиля до задней оси, м; L – база автомобиля, м; M_1 – масса передней оси ТС, кг; M – масса задней ТС, кг.	–
67	$t_{\text{осколков}} = \sqrt{\frac{2 \cdot h_{\text{стекла}}}{g}}$	h	$t_{\text{осколков}}$	$t_{\text{осколков}}$ – время падения осколков, с; $h_{\text{стекла}}$ – высота расположения отделившейся части стекла, м; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² .	–
68	$S_{\text{пад}} = V \cdot t_{\text{осколков}}$	$V, t_{\text{осколков}}$	$S_{\text{пад}}$	$S_{\text{пад}}$ – расстояние, которое могут преодолеть осколки, при падении, м; V – скорость в момент столкновения, м/с; $t_{\text{осколков}}$ – время падения осколков, с.	–

Продолжение таблицы П.1.5

69	$S_{CK} = \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot f}$	V, f	S_{CK}	S_{CK} – расстояние, которое могут преодолеть осколки, скользя и перекатываясь по поверхности дороги, м; V – скорость в момент столкновения, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f – реализуемый коэффициент сцепления осколков с поверхностью дороги.	–
70	$S_{осколков} = S_{над} + S_{CK}$	$S_{над},$ S_{CK}	$S_{осколков}$	$S_{осколков}$ – среднее расстояние отбрасывания осколков, м; $S_{над}$ – расстояние, которое могут преодолеть осколки, при падении, м; S_{CK} – расстояние, которое могут преодолеть осколки, скользя и перекатываясь по поверхности дороги, м.	–
71	$V = g \cdot f \cdot \left[-\sqrt{\frac{2 \cdot h_{стекла}}{g}} + \sqrt{\frac{2 \cdot h_{стекла}}{g} + \frac{2 \cdot S_{осколков}}{g \cdot f}} \right]$	$h_{стекла},$ $S_{осколков},$ f	V	V – Скорости ТС по зоне разброса осколков, м/с; $h_{стекла}$ – высота расположения отделившейся части стекла, м; $S_{осколков}$ – среднее расстояние отбрасывания осколков, м; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f – реализуемый коэффициент сцепления осколков с поверхностью дороги.	–

Продолжение таблицы П.1.5

72	$S_{\text{СЛ}} = \frac{V_{\text{СЛ}}^2}{2 \cdot j_{\text{СЛ}}}$	$V_{\text{СЛ}}, j_{\text{СЛ}}$	$S_{\text{СЛ}}$	$S_{\text{СЛ}}$ – расстояние служебного торможения от полосы движения автомобиля (в зависимости от $j_{\text{СЛ}}$), м; $V_{\text{СЛ}}$ – скорость ТС в начале торможения с постоянным замедлением (в зависимости от $j_{\text{СЛ}}$), м/с; $j_{\text{СЛ}}$ – постоянное замедление, м/с ² .	–
73	$j_{\text{СЛ}} = 0,5 \cdot j_{\text{max}}$	j_{max}	$j_{\text{СЛ}}$	$j_{\text{СЛ}}$ – постоянное замедление, м/с ² ; j_{max} – установившееся замедление, м/с ² .	–
74	$t_{\text{СЛ}} = \frac{S_{\text{СЛ}}}{V_{\text{СЛ}}}$ <i>Примечание:</i> Если водитель автомобиля не тормозил, скорость $V_{\text{СЛ}} = V$ в момент первого контакта	$S_{\text{СЛ}}, V_{\text{СЛ}}$	$t_{\text{СЛ}}$	$t_{\text{СЛ}}$ - время движения ТС на участке с постоянной скоростью (в зависимости от $j_{\text{СЛ}}$), с; $S_{\text{СЛ}}$ - расстояние служебного торможения от полосы движения автомобиля (в зависимости от $j_{\text{СЛ}}$); $V_{\text{СЛ}}$ – скорость ТС в начале торможения с постоянным замедлением (в зависимости от $j_{\text{СЛ}}$), м/с	–
75	$t_{\text{Д}} = \frac{S_{\text{Д}}}{V_{\text{СЛ}}}$	$S_{\text{Д}}, V_{\text{СЛ}}$	$t_{\text{Д}}$	$t_{\text{Д}}$ - время движения автомобиля на участке с постоянной скоростью, с; $S_{\text{Д}}$ - расстояние до места первого контакта, м; $V_{\text{СЛ}}$ – скорость ТС в начале торможения с постоянным замедлением (в зависимости от $j_{\text{СЛ}}$), м/с.	–

Продолжение таблицы П.1.5

76	$t_{оп} = t_{сл} + t_{д}$	$t_{сл}, t_{д}$	$t_{он}$	$t_{он}$ - суммарное время с момента создания опасной ситуации до столкновения, с; $t_{сл}$ - время движения ТС на участке (в зависимости от $j_{сл}$), с; $t_{д}$ - время движения автомобиля на участке с постоянной скоростью, с.	—
77	$V_{сл} = V_{ю} + \Delta V_3$ Ограничение: if $V_{сл} = V_{ю} + \Delta V_3 \ \&\& \ V_H > V_{ю} \ \&\& \ V_H > \Delta V_3$ {flag = true;} else {flag = false;}	$V_{ю}, \Delta V_3$	$V_{сл}$	$V_{сл}$ - начальная скорость автомобиля (в зависимости от $j_{сл}$), м/с; $V_{ю}$ - скорость в начале появления следов, м/с; ΔV_3 - изменение скорости за время нарастания замедления t_3 , м/с.	—
78	$V_{ю} = V_{сл} - \Delta V_3$	$V_{сл}, \Delta V_3$	$V_{ю}$	$V_{ю}$ - скорость в начале появления следов, м/с; $V_{сл}$ - начальная скорость автомобиля (в зависимости от $j_{сл}$), м/с; ΔV_3 - изменение скорости за время нарастания замедления t_3 , м/с.	—
79	$\Delta V_3 = V_{сл} - V_{ю}$	$V_{сл}, V_{ю}$	ΔV_3	ΔV_3 - изменение скорости за время нарастания замедления t_3 , м/с; $V_{сл}$ - начальная скорость автомобиля (в зависимости от $j_{сл}$), м/с; $V_{ю}$ - скорость в начале появления следов, м/с.	—
80	$S_{уд} = t_{он} \cdot V_o$	$t_{он}, V_o$	$S_{уд}$	$S_{уд}$ - удаление от места контакта ТС, м; $t_{он}$ - суммарное время с момента создания опасной ситуации до столкновения, с; V_o - начальная скорость ТС.	—

Продолжение таблицы П.1.5

81	$t_T = \frac{\Delta V}{j_{\max}}$	$\Delta V, j_{\max}$	t_T	t_T - время торможения автомобиля на участке следов торможения, с; ΔV – диапазон изменения скорости, м/с; $j_{\max}$ – установившееся замедление, м/с ² .	–
----	-----------------------------------	----------------------	-------	--	---

Таблица П.1.6. Коэффициент степени эффективности тормозов η

Состояние колесных тормозных механизмов	η
Тормозят три колеса	0,86
Тормозят два колеса	0,70
Тормозит одно колесо	0,50

Таблица П.1.7. Среднее значение коэффициента сопротивления качению φ при нормальном давлении воздуха в шинах

Дорожное покрытие и его состояние	Коэффициент сопротивления качению φ
Асфальтобетонное покрытие в отличном состоянии	0,015-0,018
Асфальтобетонное покрытие в удовлетворительном состоянии	0,018-0,020
Гравийное покрытие	0,02-0,025
Булыжник	0,035-0,045
Грунтовая дорога, сухая	0,03-0,035
Грунтовая дорога, после дождя	0,05-0,10
Песок сухой	0,15-0,30
Песок влажный	0,08-0,10
Снежная дорога	0,025-0,03
Лед	0,018-0,02

Таблица П.1.8. Зависимость степени травмирования от изменения скорости при столкновении

V, км/ч	Без ремней безопасности	С ремнями безопасности
До 20	Легкие и без ранений	Без ранений
20-30	Легкие и умеренные	Без ранений
30-40	Умеренные и тяжелые	Легкие и умеренные
40-50	Тяжелые и смертельные	Умеренные и тяжелые
более 50	Тяжелые и смертельные	Тяжелые и смертельные

Таблица П.1.9. Повреждения легковых автомобилей при столкновении в зависимости от приведенной скорости V

V, км/ч	ΔH , мм	Результат
< 15	<100	Легкое столкновение
15 – 30	100 – 300	Легкое столкновение
30 – 50	< 600	Столкновения средней тяжести
50 – 80	400 – 900	Тяжелые столкновения
> 80	>900	ТС восстановлению не подлежит

Примечание: ΔH – величина деформации в мм.

Таблица П.1.10. Повреждения автобусов и грузовых автомобилей при столкновении в зависимости от приведенной скорости V

V, км/ч	ΔH , мм	Результат
< 15	200 – 300	Легкое столкновение
15 – 30	300 – 500	Столкновения средней тяжести
30 – 50	< 600	Тяжелые столкновения
50 – 80	600 – 900	Очень тяжелые столкновения
> 80	>900	ТС восстановлению не подлежит

Примечание: ΔH – величина деформации в мм.

Таблица П.1.11. Значение установившегося замедления j_{max} , м/с² ТС, в зависимости от их нагрузки и коэффициента сцепления шин с дорогой

Категория АТС	f	j_{max} , м/с ²											
		Одиночные ТС						Автопоезда					
		$M1$	$M2$	$M3$	$N1$	$N2$	$N3$	$M1$	$M2$	$M3$	$N1$	$N2$	$N3$
Снаряженное состояние	0,7	6,8	6,8	5,7	5,7	5,9	6,2	6,1	5,7	5,5	4,7	5,5	5,5
	0,6	5,9	5,9	5,7	5,7	5,9	5,9	5,9	5,7	5,5	4,7	5,5	5,5
	0,5	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,7	4,9
	0,4	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
	0,3	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
	0,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
50 % нагрузки	0,7	6,6	6,1	5,6	5,1	5,2	5,4	5,7	5,1	5,3	4,4	5,0	5,0
	0,6	5,9	5,9	5,6	5,1	5,2	5,4	5,7	5,1	5,3	4,4	5,0	5,0
	0,5	4,9	3,9	4,9	4,9	4,9	4,9	3,9	3,9	3,9	4,4	4,9	4,9
	0,4	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
	0,3	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
	0,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Полная масса	0,7	6,3	5,4	5,4	4,5	4,5	4,5	5,2	4,5	5,0	4,0	4,5	4,5
	0,6	5,9	5,4	5,4	4,5	4,5	4,5	4,9	4,5	4,9	4,0	4,5	4,5
	0,5	4,9	4,9	4,9	4,5	4,5	4,5	4,9	4,5	4,9	4,0	4,5	4,5
	0,4	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
	0,3	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
	0,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Таблица П.1.12. Зависимость значений времени запаздывания срабатывания тормозной системы t_2 и t_3 времени нарастания замедления АТС, в зависимости от их нагрузки и коэффициента сцепления шин с дорогой

Категория АТС	f	t_3, c											
		Одиночные ТС						Автопоезда					
		$M1$	$M2$	$M3$	$N1$	$N2$	$N3$	$M1$	$M2$	$M3$	$N1$	$N2$	$N3$
Снаряженное состояние	0,7	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,35	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6
	0,6	0,3	0,5	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6
	0,5	0,25	0,45	0,5	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5	0,35	0,55	0,55
	0,4	0,2	0,35	0,4	0,25	0,4	0,4	0,2	0,4	0,45	0,3	0,45	0,45
	0,3	0,15	0,25	0,3	0,2	0,3	0,3	0,15	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,15	0,2	0,2
50 % нагрузки	0,7	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6
	0,6	0,3	0,55	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6
	0,5	0,3	0,55	0,6	0,35	0,55	0,55	0,3	0,55	0,55	0,35	0,6	0,6
	0,4	0,2	0,4	0,4	0,25	0,45	0,45	0,25	0,45	0,45	0,3	0,5	0,5
	0,3	0,15	0,3	0,3	0,2	0,35	0,35	0,2	0,35	0,35	0,25	0,35	0,35
	0,2	0,1	0,2	0,2	0,15	0,25	0,25	0,15	0,25	0,25	0,15	0,25	0,25
Полная масса	0,7	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6
	0,6	0,3	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6
	0,5	0,25	0,55	0,55	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6
	0,4	0,2	0,45	0,45	0,3	0,5	0,5	0,25	0,5	0,45	0,35	0,5	0,5
	0,3	0,15	0,3	0,3	0,25	0,4	0,4	0,2	0,4	0,35	0,25	0,4	0,4
	0,2	0,1	0,2	0,2	0,15	0,25	0,25	0,15	0,25	0,25	0,2	0,25	0,25
t_2		0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2

Примечание: Классификация ТС: М1, М2, М3, N1, N2, N3 разбита на соответствующие категории.

- Категория М – это ТС, имеющие не менее четырех колес и используемые для перевозки пассажиров, включая:

- о Категория М1 – это ТС, используемые для перевозки пассажиров и имеющие, помимо места водителя, не более восьми мест для сидения. Например: автобусы, троллейбусы, специализированные пассажирские транспортные средства и их шасси.

- о Категория М2 – это ТС, используемые для перевозки пассажиров, имеющие, помимо места водителя, более восьми мест для сидения, максимальная масса которых не превышает 5 тонн.

о Категория МЗ – это ТС, используемые для перевозки пассажиров, имеющие, помимо места водителя, более восьми мест для сидения, максимальная масса которых превышает 5 тонн.

- Категория N – это ТС, используемые для перевозки грузов:
- Категория N1 – это ТС, предназначенные для перевозки грузов, имеющие максимальную массу не более 3,5 тонн.
- Категория N2 – это ТС, предназначенные для перевозки грузов, имеющие максимальную массу свыше 3,5 тонн, но не более 12 тонн.
- Категория N3 – это ТС, предназначенные для перевозки грузов, имеющие максимальную массу более 12 тонн.

Таблица П.1.13. Случаи скольжения автомобиля при торможении

№	Формула	Вход	Выход	Описание	Связь
82	$V_0 = \sqrt{g \cdot (f_1 + f_2) \cdot S_4}$ $g = 9,81 \text{ м/с}^2$	f_1, f_2, S_4	V_0	V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; S_4 – длина следов скольжения колес, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.13

83	$f_1 = \frac{V_0^2}{g \cdot S_4} - f_2$	V_0, f_2, S_4	f_1	f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; S_4 – длина следов скольжения колес, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
84	$f_2 = \frac{V_0^2}{g \cdot S_4} - f_1$	f_1, V_0, S_4	f_2	f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; S_4 – длина следов скольжения колес, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
85	$S_4 = \frac{V_0^2}{g \cdot (f_1 + f_2)}$	V_0, f_1, f_2, S_4	S_4	S_4 – длина следов скольжения колес, м; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины.	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.13

86	$V_{0_n} = \sqrt{g \cdot (f_1 + f_2) \cdot S_{4_n} \cdot n}$	f_1, f_2, S_{4_n}, η	V_{0_n}	V_{0_n} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента n , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; S_{4_n} – длина следов скольжения колес с учетом коэффициента n , м; η – коэффициент степени эффективности тормозов.	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
87	$f_1 = \frac{V_{0_n}^2}{g \cdot S_{4_n} \cdot n} - f_2$	$V_{0_n}, f_2, S_{4_n}, \eta$	f_1	f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; V_{0_n} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента n , м/с; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; S_{4_n} – длина следов скольжения колес с учетом коэффициента n , м; η – коэффициент степени эффективности тормозов.	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6

Продолжение таблицы П.1.13

88	$f_2 = \frac{V_{0_n}^2}{g \cdot S_{4_n} \cdot n} - f_1$	$f_1, V_{0_n}, S_{4_n}, \eta$	f_2	f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; V_{0_n} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента n , м/с; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; S_{4_n} – длина следов скольжения колес с учетом коэффициента n , м; η – коэффициент степени эффективности тормозов.	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
89	$S_{4_n} = \frac{V_{0_n}^2}{g \cdot (f_1 + f_2) \cdot n}$	V_{0_n}, f_1, f_2, η	S_{4_n}	S_{4_n} – длина следов скольжения колес с учетом коэффициента n , м; V_{0_n} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента n , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; η – коэффициент степени эффективности тормозов.	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6

Продолжение таблицы П.1.13

90	$V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (f_1 \cdot S_4' + f_2 \cdot S_4'')}$	f_1, f_2, S_4', S_4''	V_0	V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; S_4' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части, м; S_4'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
91	$f_1 = \frac{\frac{V_0^2}{2 \cdot g} - f_2 \cdot S_4''}{S_4'}$	V_0, f_2, S_4', S_4''	f_1	f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; S_4' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части, м; S_4'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.13

92	$f_2 = \frac{\frac{V_0^2}{2 \cdot g} - f_1 \cdot S_4'}{S_4''}$	V_0, f_1, S_4', S_4''	f_2	f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; S_4' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части, м; S_4'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
93	$S_4' = \frac{\frac{V_0^2}{2 \cdot g} - f_2 \cdot S_4''}{f_1}$	V_0, f_1, f_2, S_4''	S_4'	S_4' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части, м; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; S_4'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.13

94	$S_4'' = \frac{\frac{V_0^2}{2 \cdot g} - f_1 \cdot S_4'}{f_2}$	V_0, f_1, f_2, S_4'	S_4''	S_4'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины, м; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; S_4' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
95	$V_{0_n} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(f_1 \cdot S_{4_n}' + f_2 \cdot S_{4_n}'' \right) \cdot n}$	$f_1, f_2, S_{4_n}', S_{4_n}'', \eta$	V_{0_n}	V_{0_n} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента n , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; S_{4_n}' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части с учетом коэффициента n , м; S_{4_n}'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины с учетом коэффициента η , м; η – коэффициент степени эффективности. тормозов.	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6

Продолжение таблицы П.1.13

96	$f_1 = \frac{\frac{V_{0_n}^2}{2 \cdot g \cdot n} - f_2 \cdot S_{4_n}''}{S_{4_n}'}$	$V_{0_n}, f_2,$ $S_{4_n}',$ S_{4_n}'', η	f_1	f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; V_{0_n} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента n , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; S_{4_n}' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части с учетом коэффициента n , м; S_{4_n}'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины с учетом коэффициента η , м; η – коэффициент степени эффективности. тормозов.	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
----	---	--	-------	--	-------------------------------------

Продолжение таблицы П.1.13

97	$f_2 = \frac{\frac{V_{0_n}^2}{2 \cdot g \cdot n} - f_1 \cdot S_{4_n}'}{S_{4_n}''}$	$V_{0_n}, f_1,$ $S_{4_n}',$ S_{4_n}'', η	f_2	f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; V_{0_n} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента n , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; S_{4_n}' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части с учетом коэффициента n , м; S_{4_n}'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины с учетом коэффициента η , м; η – коэффициент степени эффективности. тормозов.	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
----	---	--	-------	--	-------------------------------------

Продолжение таблицы П.1.13

98	$S'_{4_n} = \frac{\frac{V_{0_n}^2}{2 \cdot g \cdot n} - f_2 \cdot S''_{4_n}}{f_1}$	$V_{0_n}, f_1,$ $f_2,$ S''_{4_n}, η	S'_{4_n}	S'_{4_n} – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части с учетом коэффициента n , м; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; V_{0_n} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента n , м/с; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; S''_{4_n} – длина следов скольжения шин по поверхности обочины с учетом коэффициента η , м; η – коэффициент степени эффективности тормозов.	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
----	---	--	-------------	---	-------------------------------------

Продолжение таблицы П.1.13

99	$S_{4_n}'' = \frac{\frac{V_{0_n}^2}{2 \cdot g \cdot n} - f_1 \cdot S_{4_n}'}{f_2}$	$V_{0_n}, f_1, f_2, S_{4_n}', \eta$	S_{4_n}''	S_{4_n}'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины с учетом коэффициента n , м; V_{0_n} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента η , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; S_{4_n}' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части с учетом коэффициента η , м; η – коэффициент степени эффективности. тормозов.	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
----	---	---------------------------------------	--------------	---	-------------------------------------

Продолжение таблицы П.1.13

100	$V_{0_{f3}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(f_1 \cdot S_4' + f_2 \cdot S_4'' + f_3 \cdot S_4''' \right)}$	$f_1, f_2, f_3, S_4', S_4'', S_4'''$	$V_{0_{f3}}$	$V_{0_{f3}}$ – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента f_3, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; f_3 – коэффициент сцепления колес с иным покрытием; S_4' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части, м; S_4'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины, м; S_4''' – длина следов скольжения шин по иной поверхности, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
-----	--	--------------------------------------	--------------	---	---------------------

Продолжение таблицы П.1.13

101	$f_1 = \frac{\frac{V_{0-f_3}^2}{2 \cdot g} - f_2 \cdot S_4'' - f_3 \cdot S_4'''}{S_4'}$	$V_{0-f_3}, f_2, f_3, S_4', S_4'', S_4'''$	f_1	f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; V_{0-f_3} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента f_3 , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; f_3 – коэффициент сцепления колес с иным покрытием; S_4' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части, м; S_4'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины, м; S_4''' – длина следов скольжения шин по иной поверхности, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
-----	---	--	-------	---	---------------------

Продолжение таблицы П.1.13

102	$f_2 = \frac{\frac{V_{0-f_3}^2}{2 \cdot g} - f_1 \cdot S_4' - f_3 \cdot S_4'''}{S_4''}$	$V_{0-f_3}, f_1, f_3, S_4', S_4'', S_4'''$	f_2	f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; V_{0-f_3} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента f_3 , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_3 – коэффициент сцепления колес с иным покрытием; S_4' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части, м; S_4'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины, м; S_4''' – длина следов скольжения шин по иной поверхности, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
-----	---	--	-------	---	---------------------

Продолжение таблицы П.1.13

103	$f_3 = \frac{\frac{V_{0-f_3}^2}{2 \cdot g} - f_1 \cdot S_4' - f_2 \cdot S_4''}{S_4'''}$	$V_{0-f_3}, f_1, f_2, S_4', S_4'', S_4'''$	f_3	f_3 – коэффициент сцепления колес с иным покрытием; V_{0-f_3} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента f_3 , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; S_4' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части, м; S_4'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины, м; S_4''' – длина следов скольжения шин по иной поверхности, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
-----	---	--	-------	---	---------------------

Продолжение таблицы П.1.13

104	$S_4' = \frac{\frac{V_{0-f_3}^2}{2 \cdot g} - f_2 \cdot S_4'' - f_3 \cdot S_4''' }{f_1}$	$V_{0-f_3}, f_1, f_2, f_3, S_4'', S_4'''$	S_4'	S_4' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части, м; V_{0-f_3} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента f_3, м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; f_3 – коэффициент сцепления колес с иным покрытием; S_4'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины, м; S_4''' – длина следов скольжения шин по иной поверхности, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
-----	--	---	--------	--	---------------------------

Продолжение таблицы П.1.13

105	$S_4'' = \frac{\frac{V_{0-f_3}^2}{2 \cdot g} - f_1 \cdot S_4' - f_3 \cdot S_4'''}{f_2}$	$V_{0-f_3}, f_1, f_2, f_3, S_4', S_4'''$	S_4''	S_4'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины, м; V_{0-f_3} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента f_3 , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; f_3 – коэффициент сцепления колес с иным покрытием; S_4' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части, м; S_4''' – длина следов скольжения шин по иной поверхности, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
-----	---	--	---------	---	---------------------

Продолжение таблицы П.1.13

106	$S_4''' = \frac{\frac{V_{0-f_3}^2}{2 \cdot g} - f_1 \cdot S_4' - f_2 \cdot S_4''}{f_3}$	$V_{0-f_3}, f_1, f_2, f_3, S_4', S_4''$	S_4'''	S_4''' – длина следов скольжения шин по иной поверхности, м; V_{0-f_3} – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента f_3 , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; f_3 – коэффициент сцепления колес с иным покрытием; S_4' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части, м; S_4'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
-----	---	---	----------	---	---------------------

Продолжение таблицы П.1.13

107	$V_{0_n_f3} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(f_1 \cdot S_{4_n}' + f_2 \cdot S_{4_n}'' + f_3 \cdot S_{4_n}''' \right) \cdot n}$	$f_1, f_2, f_3,$ $S_{4_n}',$ $S_{4_n}'',$ S_{4_n}'''	$V_{0_n_f3}$	$V_{0_n_f3}$ – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента η и коэффициента f_3 , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; f_3 – коэффициент сцепления колес с иным покрытием; S_{4_n}' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части с учетом коэффициента η , м; S_{4_n}'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины с учетом коэффициента η , м; S_{4_n}''' – длина следов скольжения шин по иной поверхности с учетом коэффициента η , м; η – коэффициент степени эффективности	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
-----	---	--	----------------	--	----------------------------

Продолжение таблицы П.1.13

108	$f_1 = \frac{V_{0_n_f_3}^2}{2 \cdot g \cdot n} - f_2 \cdot S_{4_n}'' - f_3 \cdot S_{4_n}'''$	$V_{0_n_f_3},$ $f_2, f_3,$ $S_{4_n}',$ $S_{4_n}'',$ S_{4_n}'''	f_1	f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; $V_{0_n_f_3}$ – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента η и коэффициента f_3 , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; f_3 – коэффициент сцепления колес с иным покрытие; S_{4_n}' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части с учетом коэффициента n , м; S_{4_n}'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины с учетом коэффициента n , м; S_{4_n}''' – длина следов скольжения шин по иной поверхности с учетом коэффициента n , м; η – коэффициент степени эффективности	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
-----	--	---	-------	---	----------------------------

Продолжение таблицы П.1.13

109	$f_2 = \frac{V_{0_n_f_3}^2}{2 \cdot g \cdot n} - f_1 \cdot S_{4_n}' - f_3 \cdot S_{4_n}''$	$V_{0_n_f_3},$ $f_1, f_3,$ $S_{4_n}',$ $S_{4_n}'',$ S_{4_n}'''	f_2 — коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; $V_{0_n_f_3}$ — скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента η и коэффициента f_3 , м/с; g — ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 — коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_3 — коэффициент сцепления колес с иным покрытием; S_{4_n}' — длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части с учетом коэффициента n , м; S_{4_n}'' — длина следов скольжения шин по поверхности обочины с учетом коэффициента n , м; S_{4_n}''' — длина следов скольжения шин по иной поверхности с учетом коэффициента n , м; η — коэффициент степени эффективности	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
-----	--	---	---	----------------------------

Продолжение таблицы П.1.13

110	$f_3 = \frac{\frac{V_{0_n_f_3}^2}{2 \cdot g \cdot n} - f_1 \cdot S_{4_n}' - f_2 \cdot S_{4_n}''}{S_{4_n}'''}$	$V_{0_n_f_3},$ $f_1, f_2,$ $S_{4_n}',$ $S_{4_n}'',$ S_{4_n}'''	f_3	f_3 – коэффициент сцепления колес с иным покрытием; $V_{0_n_f_3}$ – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента η и коэффициента f_3 , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; S_{4_n}' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части с учетом коэффициента n , м; S_{4_n}'' – длина следов скольжения шин по поверхности обочины с учетом коэффициента η , м; S_{4_n}''' – длина следов скольжения шин по иной поверхности с учетом коэффициента η , м; η – коэффициент степени эффективности	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
-----	--	---	-------	--	-------------------------------------

Продолжение таблицы П.1.13

111	$S'_{4_n} = \frac{\frac{V_{0_n_f3}^2}{2 \cdot g \cdot n} - f_2 \cdot S''_{4_n} - f_3 \cdot S'''_{4_n}}{f_1}$	$V_{0_n_f3},$ $f_1, f_2, f_3,$ $S''_{4_n},$ S'''_{4_n}	S'_{4_n}	S'_{4_n} – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части с учетом коэффициента η , м; $V_{0_n_f3}$ – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента η и коэффициента f_3 , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; f_3 – коэффициент сцепления колес с иным покрытие; S''_{4_n} – длина следов скольжения шин по поверхности обочины с учетом коэффициента n , м; S'''_{4_n} – длина следов скольжения шин по иной поверхности с учетом коэффициента η , м; η – коэффициент степени эффективности	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
-----	---	---	-------------	--	-------------------------------------

Продолжение таблицы П.1.13

112	$S_{4_n}'' = \frac{V_{0_n_f_3}^2}{2 \cdot g \cdot n} - f_1 \cdot S_{4_n}' - f_2$	$V_{0_n_f_3},$ $f_1, f_2, f_3,$ $S_{4_n}',$ S_{4_n}''	S_{4_n}''	S_{4_n}'' - длина следов скольжения шин по поверхности обочины с учетом коэффициента n , м; $V_{0_n_f_3}$ - скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента η и коэффициента f_3 , м/с; g - ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$; f_1 - коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 - коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; f_3 - коэффициент сцепления колес с иным покрытие; S_{4_n}' - длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части с учетом коэффициента η , м; S_{4_n}'' - длина следов скольжения шин по иной поверхности с учетом коэффициента η , м; η - коэффициент степени эффективности	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
-----	--	--	--------------	---	-------------------------------------

Продолжение таблицы П.1.13

113	$S_{4_n}''' = \frac{\frac{V_{0_n_f_3}^2}{2 \cdot g \cdot n} - f_1 \cdot S_{4_n}' - f_2 \cdot S_{4_n}''}{f_3}$	$V_{0_n_f_3},$ $f_1, f_2, f_3,$ $S_{4_n}',$ S_{4_n}''	S_{4_n}'''	S_{4_n}''' - длина следов скольжения шин по иной поверхности с учетом коэффициента η , м; $V_{0_n_f_3}$ – скорость автомобиля перед началом торможения с учетом коэффициента η и коэффициента f_3 , м/с; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с ² ; f_1 – коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги; f_2 – коэффициент сцепления колес с покрытием обочины; f_3 – коэффициент сцепления колес с иным покрытие; S_{4_n}' – длина следов скольжения шин по поверхности проезжей части с учетом коэффициента η , м; S_{4_n}'' - длина следов скольжения шин по поверхности обочины с учетом коэффициента η , м; η - коэффициент степени эффективности	Табл.: П.1.2, П.1.4, П.1.6
114	$\Delta V = V_{Ю} - V$	$V_{Ю}, V$	ΔV	ΔV – диапазон изменения скорости, м/с; $V_{Ю}$ – скорость в начале торможения с установившимся замедлением, м/с; V – скорость в конце следов скольжения (например в момент его контакта с другим ТС), м/с.	–
115	$V(м/с) = \frac{V(км/ч) \cdot 3600}{1000}$	$V(м/с)$	$V(км/ч)$	$V(км/ч)$ – скорость в км/ч; $V(м/с)$ – скорость в м/с.	–

Продолжение таблицы П.1.13

116	$V(км/ч) = \frac{V(м/с) \cdot 3600}{1000}$	$V(км/ч)$	$V(м/с)$	$V(м/с)$ – скорость в м/с; $V(км/ч)$ – скорость в км/ч.	–
117	$V_{Ю} = \sqrt{2 \cdot j_{max} \cdot S_4 + V^2}$	j_{max}, S_4, V	$V_{Ю}$	$V_{Ю}$ – скорость в начале торможения с установившимся замедлением, м/с; j_{max} – установившееся замедление, м/с ² ; S_4 – путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением (длина пути скольжения шин), м; V – скорость в конце следов скольжения (например в момент его контакта с другим ТС), м/с.	–
118	$V_{Ю} = \sqrt{(2 \cdot j_{max} \cdot S_{4_n} + V_{-n}^2) \cdot n}$	j_{max}, S_4, V	$V_{Ю}$	$V_{Ю}$ – скорость в начале торможения с установившимся замедлением, м/с; j_{max} – установившееся замедление, м/с ² ; S_{4_n} – длина следов скольжения колес с учетом коэффициента n, м; V_{-n} – скорость ТС в момент столкновения с учетом коэффициента n, м/с; η – коэффициент степени эффективности тормозов.	–
119	$\Delta V_3 = 0,5 \cdot t_3 \cdot j_{max}$	t_3, j_{max}	ΔV_3	ΔV_3 – изменение скорости за время нарастания замедления t_3 , м/с; t_3 – время нарастания замедления, выбирается в зависимости от категории транспортного средства; j_{max} – установившееся замедление, м/с ² .	–

Продолжение таблицы П.1.13

120	$V_O = \Delta V_3 + V_{Ю}$ Ограничение: if $V_O = \Delta V_3 + V_{Ю} \ \&\& \ V_O >$ $\Delta V_3 \ \&\& \ V_O > V_{Ю} \ \{flag =$ true;} else {flag = false;}	$\Delta V_3, V_{Ю}$	V_O	V_O – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; ΔV_3 – изменение скорости за время нарастания замедления t_3 , м/с; $V_{Ю}$ – скорость в начале торможения с установившимся замедлением, м/с.	–
121	$\Delta V_3 = V_O - V_{Ю}$	$V_O, V_{Ю}$	ΔV_3	ΔV_3 – изменение скорости за время нарастания замедления t_3 , м/с; V_O – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; $V_{Ю}$ – скорость в начале торможения с установившимся замедлением, м/с.	–
122	$V_{Ю} = V_O - \Delta V_3$	$V_O, \Delta V_3$	$V_{Ю}$	$V_{Ю}$ – скорость в начале торможения с установившимся замедлением, м/с; ΔV_3 – изменение скорости за время нарастания замедления t_3 , м/с; V_O – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с;	–

Таблица П.1.14. Движение автомобиля на криволинейных участках дороги

№	Формула	Вход	Выход	Описание	Связь
123	$R_H = R + \frac{\omega}{4}$	R, ω	R_H	R_H – радиус поворота наружной полосы движения, м; R – радиус поворота дороги, м; ω – ширина проезжей части, м.	–

Продолжение таблицы П.1.14

124	$R_B = R - \frac{\omega}{4}$	R, ω	R_B	R_B – радиус поворота внутренней полосы движения, м; R – радиус поворота дороги, м; ω – ширина проезжей части, м.	–
125	$f_{\Pi} = 0,8 \cdot f$	f	f_{Π}	f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия (в продольном направлении).	Табл.: П.1.2, П.1.4
126	$f = \frac{f_{\Pi}}{0,8}$	f_{Π}	f	f – коэффициент сцепления шины с поверхностью дорожного покрытия (в продольном направлении); f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении.	Табл.: П.1.2, П.1.4
127	$V_{кр.з.} = \sqrt{g \cdot f_{\Pi} \cdot R_H}$	f_{Π}, R_H	$V_{кр.з.}$	$V_{кр.з.}$ – максимальная скорость движения автомобиля на криволинейном участке (критическая скорость, с которой можно вести автомобиль без опасности заноса), м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; R_H – радиус поворота наружной полосы движения, м.	–

Продолжение таблицы П.1.14

128	$f_{\Pi} = \frac{V_{кр.з.}^2}{g \cdot R_H}$	$V_{кр.з.}, R_H$	f_{Π}	f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; $V_{кр.з.}$ – максимальная скорость движения автомобиля на криволинейном участке (критическая скорость, с которой можно вести автомобиль без опасности заноса), м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; R_H – радиус поворота наружной полосы движения, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
129	$R_H = \frac{V_{кр.з.}^2}{g \cdot f_{\Pi}}$	$f_{\Pi}, V_{кр.з.}$	R_H	R_H – радиус поворота наружной полосы движения, м; $V_{кр.з.}$ – максимальная скорость движения автомобиля на криволинейном участке (критическая скорость, с которой можно вести автомобиль без опасности заноса), м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении.	–
130	$V_{кр.о.} = \sqrt{\frac{g \cdot R_H \cdot B}{2 \cdot h_C}}$ $g = 9,81 \text{ м/с}^2$	R_H, B, h_C	$V_{кр.о.}$	$V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; R_H – радиус поворота наружной полосы движения, м; B – ширина колеи автомобиля, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м.	Табл.: П.1.15

Продолжение таблицы П.1.14

131	$R_H = \frac{2 \cdot V_{кр.о.}^2 \cdot h_C}{g \cdot B}$	$V_{кр.о.}, B, h_C$	R_H	R_H – радиус поворота наружной полосы движения, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; B – ширина колеи автомобиля, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м.	Табл.: П.1.15
132	$B = \frac{2 \cdot V_{кр.о.}^2 \cdot h_C}{g \cdot R_H}$	$R_H, V_{кр.о.}, h_C$	B	B – ширина колеи автомобиля, м; R_H – радиус поворота наружной полосы движения, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; h_C – высота расположения центра тяжести, м.	Табл.: П.1.15
133	$h_C = \frac{g \cdot R_H \cdot B}{2 \cdot V_{кр.о.}^2}$	$R_H, B, V_{кр.о.}$	h_C	h_C – высота расположения центра тяжести, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; R_H – радиус поворота наружной полосы движения, м; B – ширина колеи автомобиля, м.	Табл.: П.1.15

Продолжение таблицы П.1.14

134	$V_{кр.о.} = \sqrt{R_H \cdot g \cdot \frac{f_{\Pi} + tg\Theta}{1 - f_{\Pi} \cdot tg\Theta}}$	R_H, f_{Π}, Θ	$V_{кр.о.}$	$V_{кр.о.}$ - критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; R_H – радиус поворота наружной полосы движения, м; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; f_{Π} - коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; Θ - угол наклона, град.	–
135	$f_{\Pi} = \frac{\frac{V_{кр.о.}^2}{g \cdot R_H} - tg\Theta}{1 + \frac{V_{кр.о.}^2}{g \cdot R_H} \cdot tg\Theta}$	$R_H, V_{кр.о.}, \Theta$	f_{Π}	f_{Π} - коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; $V_{кр.о.}$ - критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; R_H – радиус поворота наружной полосы движения, м Θ - угол наклона, град.	Табл.: П.1.2, П.1.4
136	$R_H = \frac{V_{кр.о.}^2}{g \cdot \frac{f_{\Pi} + tg\Theta}{1 - f_{\Pi} \cdot tg\Theta}}$	$V_{кр.о.}, f_{\Pi}, \Theta$	R_H	R_H – радиус поворота наружной полосы движения, м; $V_{кр.о.}$ - критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; f_{Π} - коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; Θ - угол наклона, град.	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.14

137	$V_{кр.о.} = \sqrt{R_H \cdot g \cdot \frac{B + 2 \cdot h_C \cdot tg\Theta}{2 \cdot h_C - B \cdot tg\Theta}}$	R_H, B, h_C	$V_{кр.о.}$	$V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; R_H – радиус поворота наружной полосы движения, м; B – ширина колеи автомобиля, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м; Θ – угол.	Табл.: П.1.15
138	$R_H = \frac{V_{кр.о.}^2}{g \cdot \frac{B + 2 \cdot h_C \cdot tg\Theta}{2 \cdot h_C - B \cdot tg\Theta}}$	$V_{кр.о.}, B, h_C$	R_H	R_H – радиус поворота наружной полосы движения, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; B – ширина колеи автомобиля, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м; Θ – угол.	Табл.: П.1.15
139	$B = \frac{2 \cdot h_C \cdot (\frac{V_{кр.о.}^2}{g \cdot R_H} - tg\Theta)}{1 + \frac{V_{кр.о.}^2 \cdot tg\Theta}{g \cdot R_H}}$	$R_H, V_{кр.о.}, h_C$	B	B – ширина колеи автомобиля, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; R_H – радиус поворота наружной полосы движения, м; Θ – угол.	Табл.: П.1.15

Продолжение таблицы П.1.14

140	$h_c = \frac{B \cdot (1 + \frac{V_{кр.о.}^2 \cdot \operatorname{tg} \Theta}{g \cdot R_H})}{2 \cdot (\frac{V_{кр.о.}^2}{g \cdot R_H} - \operatorname{tg} \Theta)}$	$R_H, B, V_{кр.о.}$	h_c	h_c – высота расположения центра тяжести, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; R_H – радиус поворота наружной полосы движения, м; B – ширина колеи автомобиля, м; Θ – угол.	Табл.: П.1.15
141	$V_{кр.з.} = \sqrt{g \cdot f_{\Pi} \cdot R_B}$	f_{Π}, R_B	$V_{кр.з.}$	$V_{кр(з)}$ – максимальная скорость движения автомобиля на криволинейном участке, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; R_B – радиус поворота внутренней полосы движения, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
142	$f_{\Pi} = \frac{V_{кр.з.}^2}{g \cdot R_B}$	$V_{кр.з.}, R_B$	f_{Π}	f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; $V_{кр(з)}$ – максимальная скорость движения автомобиля на криволинейном участке, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; R_B – радиус поворота внутренней полосы движения, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.14

143	$R_B = \frac{V_{кр.з.}^2}{g \cdot f_{\Pi}}$	$f_{\Pi}, V_{кр.з.}$	R_B	R_B – радиус поворота внутренней полосы движения, м; $V_{кр(з)}$ – максимальная скорость движения автомобиля на криволинейном участке, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении.	Табл.: П.1.2, П.1.4
144	$V_{кр.о.} = \sqrt{\frac{g \cdot R_B \cdot B}{2 \cdot h_C}}$	R_B, B, h_C	$V_{кр.о.}$	$V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; R_B – радиус поворота внутренней полосы движения, м; B – ширина колеи автомобиля, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м.	Табл.: П.1.15
145	$R_B = \frac{2 \cdot V_{кр.о.}^2 \cdot h_C}{g \cdot B}$	$V_{кр.о.}, B, h_C$	R_B	R_B – радиус поворота внутренней полосы движения, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; B – ширина колеи автомобиля, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м.	Табл.: П.1.15

Продолжение таблицы П.1.14

146	$B = \frac{2 \cdot V_{кр.о.}^2 \cdot h_C}{g \cdot R_B}$	$R_B, V_{кр.о.}, h_C$	B	B – ширина колеи автомобиля, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; R_B – радиус поворота внутренней полосы движения, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м.	Табл.: П.1.15
147	$h_C = \frac{g \cdot R_B \cdot B}{2 \cdot V_{кр.о.}^2}$	$R_B, B, V_{кр.о.}$	h_C	h_C – высота расположения центра тяжести, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; R_B – радиус поворота внутренней полосы движения, м; B – ширина колеи автомобиля, м.	Табл.: П.1.15
148	$V_{кр.о.} = \sqrt{R_B \cdot g \cdot \frac{f_{\Pi} + tg\Theta}{1 - f_{\Pi} \cdot tg\Theta}}$	R_B, f_{Π}, Θ	$V_{кр.о.}$	$V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; R_B – радиус поворота внутренней полосы движения, м; f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; Θ – угол.	Табл.: П.1.2, П.1.4
149	$f_{\Pi} = \frac{\frac{V_{кр.о.}^2}{g \cdot R_B} - tg\Theta}{1 + \frac{V_{кр.о.}^2 \cdot tg\Theta}{g \cdot R_B}}$	$R_B, V_{кр.о.}, \Theta$	f_{Π}	f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; R_B – радиус поворота внутренней полосы движения, м; Θ – угол.	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.14

150	$R_B = \frac{V_{кр.о.}^2}{g \cdot \frac{f_{II} + tg\Theta}{1 - f_{II} \cdot tg\Theta}}$	$V_{кр.о.}, f_{II}, \Theta$	R_B	R_B – радиус поворота внутренней полосы движения, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; f_{II} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; Θ – угол.	Табл.: П.1.2, П.1.4
151	$V_{кр.о.} = \sqrt{R_B \cdot g \cdot \frac{B + 2 \cdot h_C \cdot tg\Theta}{2 \cdot h_C - B \cdot tg\Theta}}$	R_B, B, h_C	$V_{кр.о.}$	$V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; R_B – радиус поворота внутренней полосы движения, м; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; B – ширина колеи автомобиля, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м; Θ – угол.	Табл.: П.1.15
152	$R_B = \frac{V_{кр.о.}^2}{g \cdot \frac{B + 2 \cdot h_C \cdot tg\Theta}{2 \cdot h_C - B \cdot tg\Theta}}$	$V_{кр.о.}, B, h_C$	R_B	R_B – радиус поворота внутренней полосы движения, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; B – ширина колеи автомобиля, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м; Θ – угол.	Табл.: П.1.15

Продолжение таблицы П.1.14

153	$B = \frac{2 \cdot h_C \cdot \left(\frac{V_{кр.о.}^2}{g \cdot R_B} - tg\Theta \right)}{1 + \frac{V_{кр.о.}^2 \cdot tg\Theta}{g \cdot R_B}}$	$R_B, V_{кр.о.}, h_C$	B	B – ширина колеи автомобиля, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; R_B – радиус поворота внутренней полосы движения, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м; Θ – угол.	Табл.: П.1.15
154	$h_C = \frac{B \cdot \left(1 + \frac{V_{кр.о.}^2 \cdot tg\Theta}{g \cdot R_B} \right)}{2 \cdot \left(\frac{V_{кр.о.}^2}{g \cdot R_B} - tg\Theta \right)}$	$R_B, B, V_{кр.о.}, h_C$	h_C	h_C – высота расположения центра тяжести, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; R_B – радиус поворота внутренней полосы движения, м; B – ширина колеи автомобиля, м; Θ – угол.	Табл.: П.1.15
155	$V_{кр.з.} = \sqrt{g \cdot f_{\Pi} \cdot R_{уч.дороги}}$	$f_{\Pi}, R_{уч.дороги}$	$V_{кр.з.}$	$V_{кр.з.}$ – максимальная скорость движения автомобиля на криволинейном участке, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; $R_{уч. дороги}$ – радиус участка дороги, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4
156	$f_{\Pi} = \frac{V_{кр.з.}^2}{g \cdot R_{уч.дороги}}$	$V_{кр.з.}, R_{уч.дороги}$	f_{Π}	f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; $V_{кр.з.}$ – максимальная скорость движения автомобиля на криволинейном участке, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; $R_{уч. дороги}$ – радиус участка дороги, м.	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.14

157	$R_{уч.дороги} = \frac{V_{кр.з.}^2}{g \cdot f_{\Pi}}$	$f_{\Pi}, V_{кр.з.}$	$R_{уч.дороги}$	$R_{уч. дороги}$ – радиус участка дороги, м; $V_{кр.з.}$ – максимальная скорость движения автомобиля на криволинейном участке, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении.	Табл.: П.1.2, П.1.4
158	$V_{кр.о.} = \sqrt{\frac{g \cdot R_{уч.дороги} \cdot B}{2 \cdot h_C}}$	$R_{уч.дороги}, B, h_C$	$V_{кр.о.}$	$V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; $R_{уч. дороги}$ – радиус участка дороги, м; B – ширина колеи автомобиля, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м.	Табл.: П.1.15
159	$R_{уч.дороги} = \frac{2 \cdot V_{кр.о.}^2 \cdot h_C}{g \cdot B}$	$V_{кр.о.}, B, h_C$	$R_{уч.дорог}$ $и$	$R_{уч. дороги}$ – радиус участка дороги, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; B – ширина колеи автомобиля, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м.	Табл.: П.1.15
160	$B = \frac{2 \cdot V_{кр.о.}^2 \cdot h_C}{g \cdot R_{уч.дороги}}$	$R_{уч.дороги}, V_{кр.о.}, h_C$	B	B – ширина колеи автомобиля, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; $R_{уч. дороги}$ – радиус участка дороги, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м.	Табл.: П.1.15

Продолжение таблицы П.1.14

161	$h_C = \frac{g \cdot R_{\text{уч.дороги}} \cdot B}{2 \cdot V_{\text{кр.о.}}^2}$	$R_{\text{уч.дороги}}, B, V_{\text{кр.о.}}$	h_C	h_C – высота расположения центра тяжести, м; $V_{\text{кр.о.}}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; $R_{\text{уч. дороги}}$ – радиус участка дороги, м; B – ширина колеи автомобиля, м.	Табл.: П.1.15
162	$V_{\text{кр.о.}} = \sqrt{R_{\text{уч.дороги}} \cdot g \cdot \frac{f_{\Pi} + tg\Theta}{1 - f_{\Pi} \cdot tg\Theta}}$	$R_{\text{уч.дороги}}, f_{\Pi}, \Theta$	$V_{\text{кр.о.}}$	$V_{\text{кр.о.}}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; $R_{\text{уч. дороги}}$ – радиус участка дороги, м; f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; Θ – угол.	Табл.: П.1.2, П.1.4
163	$f_{\Pi} = \frac{\frac{V_{\text{кр.о.}}^2}{g \cdot R_{\text{уч.дороги}}} - tg\Theta}{1 + \frac{V_{\text{кр.о.}}^2}{g \cdot R_{\text{уч.дороги}}} \cdot tg\Theta}$	$R_{\text{уч.дороги}}, V_{\text{кр.о.}}, \Theta$	f_{Π}	f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; $V_{\text{кр.о.}}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; $R_{\text{уч. дороги}}$ – радиус участка дороги, м; Θ – угол.	Табл.: П.1.2, П.1.4
164	$R_{\text{уч.дороги}} = \frac{V_{\text{кр.о.}}^2}{g \cdot \frac{f_{\Pi} + tg\Theta}{1 - f_{\Pi} \cdot tg\Theta}}$	$V_{\text{кр.о.}}, f_{\Pi}, \Theta$	$R_{\text{уч.дороги}}$	$R_{\text{уч.дороги}}$ – радиус участка дороги, м; $V_{\text{кр.о.}}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; f_{Π} – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении; Θ – угол.	Табл.: П.1.2, П.1.4

Продолжение таблицы П.1.14

165	$V_{кр.о.} = \sqrt{R_{уч.дороги} \cdot g \cdot \frac{B + 2 \cdot h_C \cdot tg\Theta}{2 \cdot h_C - B \cdot tg\Theta}}$	$R_{уч.дороги}, B, h_C$	$V_{кр.о.}$	$V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; $R_{уч.дороги}$ – радиус участка дороги, м; B – ширина колеи автомобиля, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м; Θ – угол.	Табл.: П.1.15
166	$R_{уч.дороги} = \frac{V_{кр.о.}^2}{g \cdot \frac{B + 2 \cdot h_C \cdot tg\Theta}{2 \cdot h_C - B \cdot tg\Theta}}$	$V_{кр.о.}, B, h_C$	$R_{уч.дороги}$	$R_{уч.дороги}$ – радиус участка дороги, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; B – ширина колеи автомобиля, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м; Θ – угол.	Табл.: П.1.15
167	$B = \frac{2 \cdot h_C \cdot (\frac{V_{кр.о.}^2}{g \cdot R_{уч.дороги}} - tg\Theta)}{1 + \frac{V_{кр.о.}^2 \cdot tg\Theta}{g \cdot R_{уч.дороги}}}$	$R_{уч.дороги}, V_{кр.о.}, h_C$	B	B – ширина колеи автомобиля, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; $R_{уч.дороги}$ – радиус участка дороги, м; h_C – высота расположения центра тяжести, м; Θ – угол.	Табл.: П.1.15
168	$h_C = \frac{B \cdot (1 + \frac{V_{кр.о.}^2 \cdot tg\Theta}{g \cdot R_{уч.дороги}})}{2 \cdot (\frac{V_{кр.о.}^2}{g \cdot R_{уч.дороги}} - tg\Theta)}$	$R_{уч.дороги}, B, V_{кр.о.}$	h_C	h_C – высота расположения центра тяжести, м; $V_{кр.о.}$ – критическая скорость по условиям опрокидывания, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с ² ; $R_{уч.дороги}$ – радиус участка дороги, м; B – ширина колеи автомобиля, м; Θ – угол.	Табл.: П.1.15

Таблица П.1.15. Технические характеристики некоторых автомобилей

№	Марка автомобиля	Масса автомобиля в снаряжении m, кг	Сила, действующая на задние колеса автомобиля G ₂ , Н	База автомобиля в, м	Ширина колеи автомобиля В, м (в среднем)	Высота расположения центра тяжести автомобиля НС, м	
						в снаряженном состоянии	с полной массой
1	ВАЗ 2107	1030	4649,9	2,42	1,34	0,56	0,58
2	Москвич 2141	1045	4757,9	2,42	1,23	0,57	0,60
3	ГАЗ 3102	1420	6523,7	2,80	1,44	0,55	0,62
4	ГАЗ 3302	1750	7210,4	2,62	1,42	0,75	0,73
5	ПАЗ 3204	4535	24505,4	3,60	1,81	1,00	1,10
6	ЛиАЗ 5256	6850	45616,5	4,19	1,98	0,63	0,83
7	УАЗ 2206	1540 (1870)	6670,8 (12841,3)	2,3	1,44	0,71	0,87
8	ГАЗ 3307	3250 (7400)	17559,9 (50815,8)	3,70	1,66	0,75	1,15
9	ЗИЛ 5301МЕ	4300 (10525)	21385,8 (72250,7)	3,80	1,80	0,89	1,22
10	МАЗ 533603	6725 (14950)	32373 (102661,6)	3,95	1,92	1,05	1,45

Примечание: Значения в скобках берутся для автомобилей с полной массой.

Таблица П.1.16. Наезд на пешехода при равномерном движении и неограниченной видимости

№	Формула	Вход	Выход	Описание	Связь
169	$t_B = \frac{S_{II}}{V_{II}}$	S_{II}, V_{II}	t_B	t_B – время видимости пешехода, с; S_{II} – путь, пройденный пешеходом с момента возникновения опасной обстановки, т.е. когда пешеход появился на проезжей части до наезда, м; V_{II} – скорость пешехода, м/с.	–

Продолжение таблицы П.1.16

170	$t_{B_{-ly}} = \frac{\Delta Y + l_y}{V_{II}}$	$\Delta Y, l_y, V_{II}$	$t_{B_{-ly}}$	$t_{B_{-ly}}$ - время видимости пешехода в зависимости от l_y , с; ΔY - расстояние от боковой поверхности автомобиля до границы опасной зоны, м; V_{II} - скорость пешехода, м/с. l_y - расстояние от боковой поверхности автомобиля до места удара передней части, м.	—
171	$t_{B-B} = \frac{\Delta Y + B}{V_{II}}$	$\Delta Y, B, V_{II}$	t_{B-B}	t_{B-B} - время видимости пешехода в зависимости от ширина колеи автомобиля B , с; ΔY - расстояние от боковой поверхности автомобиля до границы опасной зоны, м; B - ширина колеи автомобиля, м; V_{II} - скорость пешехода, м/с. l_y - расстояние от боковой поверхности автомобиля до места удара передней части, м.	—
172	$\Delta X = \Delta Y + B$	$\Delta Y, B$	ΔX	ΔX - сумма расстояний от боковой поверхности автомобиля до границы опасной зоны и ширины колеи автомобиля, м; ΔY - расстояние от боковой поверхности автомобиля до границы опасной зоны, м; B - ширина колеи автомобиля, м.	—
173	$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3$	t_1, t_2, t_3	t_{Σ}	t_{Σ} - суммарное время, с; t_1 - время реакции водителя, с; t_2 - время запаздывания срабатывания тормозного привода, с; t_3 - время нарастания замедления (сек)	—

Продолжение таблицы П.1.16

174	$S_{\text{ост}} = V_0 \cdot (t_{\Sigma} + \frac{V_0}{2 \cdot j_{\max}})$	$V_0, t_{\Sigma}, j_{\max}$	$S_{\text{ост}}$	$S_{\text{ост}}$ – длина остановочного пути, м; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; t_{Σ} – суммарное время, с; $j_{\max}$ – величина замедления м/с ² .	–
175	$S_B = V_0 \cdot t_B - l_X$	V_0, t_B, l_X	S_B	S_B - расстояние видимости пешехода (удаленность автомобиля от места наезда), м; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; t_B - время видимости пешехода, с; l_X – расстояние от передней части автомобиля до места удара на боковой поверхности, замеренное параллельно продольной оси автомобиля, м.	–
176	$S_{B_{ly}} = V_0 \cdot t_{B_{ly}} - l_X$	$V_0, t_{B_{ly}}, l_X$	$S_{B_{ly}}$	$S_{B_{ly}}$ - расстояние видимости пешехода (удаленность автомобиля от места наезда) в зависимости от l_y , м; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; $t_{B_{ly}}$ – время видимости пешехода в зависимости от ширины колеи автомобиля B в зависимости от l_y , с; l_X – расстояние от передней части автомобиля до места удара на боковой поверхности, замеренное параллельно продольной оси автомобиля, м.	–

Продолжение таблицы П.1.16

177	$S_B = V_0 \cdot t_B$	V_0, t_B	S_B	S_B - расстояние видимости пешехода (удаленность автомобиля от места наезда), м; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; t_B – время видимости пешехода, с.	–
178	$S_H = S_{OCT} - S_B$	S_{OCT}, S_B	S_H	S_H – расстояние, на которое переместился бы автомобиль после пересечения линии следования пешехода, если бы водитель действовал технически правильно, своевременно затормозив, м; S_{OCT} – остановочный путь, м; S_B – расстояние видимости пешехода (удаленность автомобиля от места наезда), м.	–
179	$S_{H_{ly}} = S_{OCT} - S_{B_{ly}}$	$S_{OCT}, S_{B_{ly}}$	$S_{H_{ly}}$	$S_{H_{ly}}$ – расстояние, на которое переместился бы автомобиль после пересечения линии следования пешехода, если бы водитель действовал технически правильно, своевременно затормозив в зависимости от l_y , м; S_{OCT} – остановочный путь, м; $S_{B_{ly}}$ – расстояние видимости пешехода (удаленность автомобиля от места наезда) в зависимости от l_y , м.	–

Продолжение таблицы П.1.16

180	$V_H = \sqrt{S_H \cdot j_{\max}}$	$S_H, j_{\max}$	V_H	V_H – скорость автомобиля в момент пересечения им линии следования пешехода при условии своевременного торможения, м/с; S_H – расстояние, на которое переместился бы автомобиль после пересечения линии следования пешехода, если бы водитель действовал технически правильно, своевременно затормозив, м; $j_{\max}$ – величина замедления м/с ² .	–
181	$V_{H_ly} = \sqrt{S_{H_ly} \cdot j_{\max}}$	$S_{H_ly}, j_{\max}$	V_{H_ly}	V_{H_ly} – скорость автомобиля в момент пересечения им линии следования пешехода при условии своевременного торможения в зависимости от ly , м/с; S_{H_ly} – расстояние, на которое переместился бы автомобиль после пересечения линии следования пешехода, если бы водитель действовал технически правильно, своевременно затормозив в зависимости от ly , м; $j_{\max}$ – величина замедления м/с ² .	–

Продолжение таблицы П.1.16

182	$V_H = V_0 - t_B \cdot j_{\max}$	$V_0, t_B, j_{\max}$	V_H	V_H – скорость автомобиля в момент пересечения им линии следования пешехода при условии своевременного торможения, м/с; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; t_B – время видимости пешехода, с; $j_{\max}$ – величина замедления м/с ² .	–
183	$V_H = V_0 - t_{B-B} \cdot j_{\max}$	$V_0, t_{B-B}, j_{\max}$	V_H	V_H – скорость автомобиля в момент пересечения им линии следования пешехода при условии своевременного торможения, м/с; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; t_{B-B} – время видимости пешехода в зависимости от ширины колеи автомобиля В, с; $j_{\max}$ – величина замедления м/с ² .	–

Продолжение таблицы П.1.16

184	$t'_H = t_\Sigma + \frac{V_0 - V_H}{j_{\max}}$	$t_\Sigma, V_0, V_H, j_{\max}$	t'_H	t'_H – время движения автомобиля с момента возникновения опасной обстановки до пересечения линии следования пешехода при условии своевременного торможения, с; t_Σ – суммарное время, с; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; V_H – скорость автомобиля в момент пересечения им линии следования пешехода при условии своевременного торможения, м/с; $j_{\max}$ – величина замедления м/с ² .	–
185	$t'_{H_{ly}} = t_\Sigma + \frac{V_0 - V_{H_{ly}}}{j_{\max}}$	$t_\Sigma, V_0, V_{H_{ly}}, j_{\max}$	$t'_{H_{ly}}$	$t'_{H_{ly}}$ – время движения автомобиля с момента возникновения опасной обстановки до пересечения линии следования пешехода при условии своевременного торможения в зависимости от l_y , с; t_Σ – суммарное время, с; V_0 – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с; $V_{H_{ly}}$ – скорость автомобиля в момент пересечения им линии следования пешехода при условии своевременного торможения в зависимости от l_y , м/с; $j_{\max}$ – величина замедления м/с ² .	–

Продолжение таблицы П.1.16

186	$S'_{\Pi} = t'_H \cdot V_{\Pi}$	t'_H, V_{Π}	S'_{Π}	S'_{Π} – перемещение пешехода за время t'_H , м; t'_H – время движения автомобиля с момента возникновения опасной обстановки до пересечения линии следования пешехода при условии своевременного торможения, с; V_{Π} – скорость пешехода, м/с.	–
187	$S'_{\Pi_{ly}} = t'_{H_{ly}} \cdot V_{\Pi}$	$t'_{H_{ly}}, V_{\Pi}$	$S'_{\Pi_{ly}}$	$S'_{\Pi_{ly}}$ – перемещение пешехода за время $t'_{H_{ly}}$, м; $t'_{H_{ly}}$ – время движения автомобиля с момента возникновения опасной обстановки до пересечения линии следования пешехода при условии своевременного торможения в зависимости от ly , с; V_{Π} – скорость пешехода, м/с.	–

Примечание: в ЭС «Анализ ДТП» параметр P является определяющей переменной возможности предотвращения ДТП.

Таблица П.1.17. Условия возможности предотвращения ДТП

Условие	Результат
$t_B < t_{\Sigma}$	Водитель не имел технической возможности предотвратить ДТП.
$t_B > t_{\Sigma}$	Водитель имел возможность принять меры к предотвращению ДТП
$t_{B_ly} < t_{\Sigma}$	Водитель не имел технической возможности предотвратить ДТП.
$t_{B_ly} > t_{\Sigma}$	Водитель имел возможность принять меры к предотвращению ДТП.
$S_{ост} < S_B$	Водитель имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением.
$S_{ост} > S_B$	Водитель не имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением. ТС не остановилось при торможении у линии следования пешехода, а пересекло ее.
$S_{ост} < S_{B_ly}$	Водитель имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением.
$S_{ост} > S_{B_ly}$	Водитель не имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением. ТС не остановилось при торможении у линии следования пешехода, а пересекло ее.
$S'_{\Pi} < \Delta X$	Условие не безопасного перехода полосы движения ТС.
$S'_{\Pi} > \Delta X$	Условие безопасного перехода полосы движения ТС.
$S'_{\Pi_ly} < \Delta X$	Условие не безопасного перехода полосы движения ТС.
$S'_{\Pi_ly} > \Delta X$	Условие безопасного перехода полосы движения ТС.
$S_{ост} < S_{\Pi}$	Водитель ТС сумеет предотвратить наезд на пешехода.
$S_{ост} > S_{\Pi}$	Водитель ТС не сумеет предотвратить наезд на пешехода.

ПРИЛОЖЕНИЕ №2

П.2.1. Задача №1: Определение безопасной дистанции грузового ТС

Задача №1: Определить дистанцию безопасности, которую должен выдержать водитель грузового автомобиля, движущегося со скоростью 50 км/ч на уклоне в 60° , что бы не столкнуться с впереди идущим другим грузовым автомобилем при неожиданном торможении последнего. Покрытие дороги неизвестно.

Исходные данные: $V_0 = 50 \text{ км/ч}$; $a = 6 \text{ дел}$; $b = 2 \text{ дел}$; $c = 1 \text{ дел}$; $\alpha = 60^\circ$;
 $m_t = 0,1 \text{ с/дел}$; $m_j = 1 \text{ м/с}^2 \cdot \text{дел}$; $l_{\text{грузового}} = 14 \text{ м}$ (константа).

Найти: $S_{\text{Б_грузового}}$.

Решение: Введенные данные с полученным результатом представлены на рисунке П.2.1. Черным цветом отмечены введенные данные. Красным цветом отмечены результаты, которые были получены в процессе расчета. Синим цветом отмечены константы.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП								
I Характеристики ДТП и ТС								
Характеристика ДТП								
i (рад)	Число		Vn (м/с)	Число		t2 (с)	0.2	
R (м)	Число		Vподъем (м/с)	Число		t3 (с)	0.1	
RoadSlope (%)	Число		Vподъем_n (м/с)	Число		t4 (с)	Число	
Re (м)	Число		Vсл (м/с)	Число		tw (с)	Число	
Rn (м)	Число		Уклон (м/с)	Число		tw_ly (с)	Число	
Руч.дороги (м)	Число		Уклон_n (м/с)	Число		td (с)	Число	
α (град)	60		Vo (м/с)	Число		tn' (с)	Число	
ε (рад)	Число		Перевод V (км/ч) → V (м/с)			tn_ly (с)	Число	
Θ (град)	Число		V (км/ч) - перевод	Число		top (с)	Число	
ω (м)	Число		Vo (км/ч) - перевод	50		tosколов (с)	Число	
Характеристика ТС			III Путь ТС			tcl (с)	Число	
B (м)	Число		S1 (м)	Число		tr (с)	Число	
hc (м)	Число		S2 (м)	Число		V (км/ч) - результат	Число	
hстекла (м)	Число		S3 (м)	Число		Vo (км/ч) - результат	Число	
jmax (м/с ²)	1.732050807		S4 (м)	Число		Vo_добавочная (км/ч)	Число	
jсл (м/с ²)	Число		S4_n (м)	Число		Анализ ДТП		
L (м)	Число		S4_подъем (м)	Число		ΔH_грузового (мм)	Текст	
La (м)	Число		S4_подъем_n (м)	Число		ΔH_легкового (мм)	Текст	
Lb (м)	Число		S4_уклон (м)	Число		BeltOFF	Текст	
Ix (м)	0		S4_уклон_n (м)	Число		BeltON	Текст	
Iy (м)	Число		S4' (м)	Число		P - предотвращение ДТП		
M (кг)	Число		S4'_n (м)	Число		P_ly - предотвращение ДТП		
M1 (кг)	Число		S4'' (м)	Число		Скоростной режим		
M2 (кг)	Число		S4''_n (м)	Число		Константы		
ΔX (м)	Число		S4''' (м)	Число		g (м/с ²)	9.81	
ΔY (м)	Число		S4'''_n (м)	Число		Iгрузового (м)	14	
Av (Н·м)	Число		S6_грузового (м)	81.49134540		Iлегкового (м)	5	
Ak (Н·м)	Число		S6_легкового (м)	Число		Кoeffициенты		
An (Н·м)	Число		Sw (м)	Число				
Ac (Н·м)	Число		Sw_ly (м)	Число				
II Скорость ТС			Sd (м)	Число				
ΔV (м/с)	Число		Sk (м)	Число				
ΔV3 (м/с)	Число		Sn (м)	Число				
V (м/с)	Число		Sn_ly (м)	Число				
V' (м/с)	Число		Sосколов (м)	Число				
V_n (м/с)	Число		Sост (м)	67.49134540				
Vo (м/с)	13.88888888		Sn (м)	Число				
Vo_f3 (м/с)	Число		Sn' (м)	Число				
Vo_n (м/с)	Число		Sn'_ly (м)	Число				
Vкр.з. (м/с)	Число		Sпад (м)	Число				
Vн (м/с)	Число		Sподъем (м)	Число				
Vн_ly (м/с)	Число		Sc (м)	Число				
Vo_n_f3 (м/с)	Число		Sck (м)	Число				
Vo_подъем (м/с)	Число		Scl (м)	Число				
Vo_подъем_n (м/с)	Число		St (м)	Число				
Vo_уклон (м/с)	Число		Sуд (м)	Число				
Vo_уклон_n (м/с)	Число		IV Время					
Vn (м/с)	Число		a (дел)	6				
Vподъем (м/с)	Число		b (дел)	2				
Vподъем_n (м/с)	Число		c (дел)	1				
Vсл (м/с)	Число		d (дел)	Число				
Уклон (м/с)	Число		e (дел)	1.732050807				
Уклон_n (м/с)	Число		mj (м/с ² -дел)	1				
			mt (с/дел)	0.1				
			tΣ (с)	0.85				
			t1 (с)	0.6				

Рисунок П.2.1. Решение задачи №1: Определение безопасной дистанции грузового ТС

Модель решения представлена на рисунке П.2.2 в виде графа.

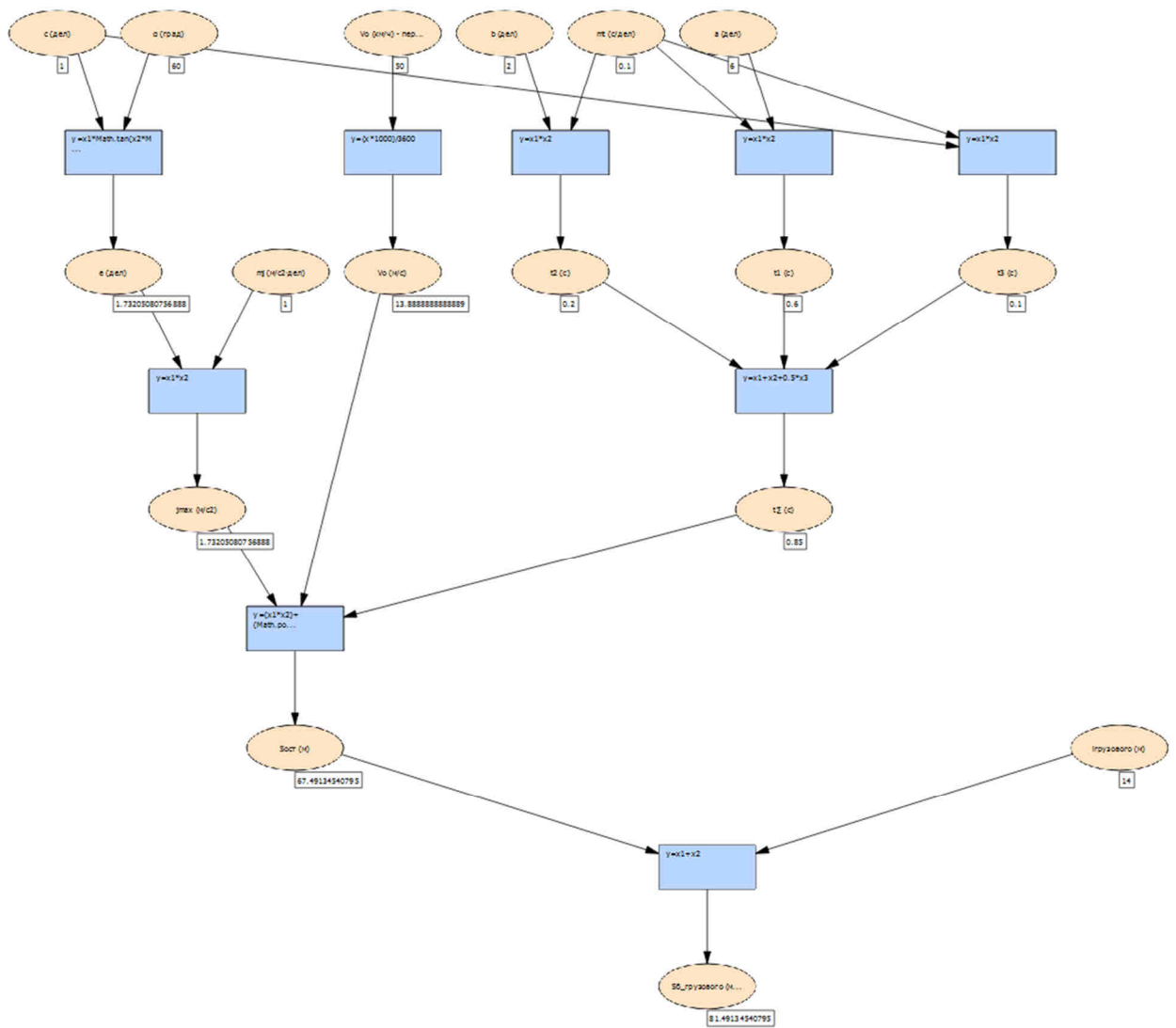


Рисунок П.2.2. Граф-решения задачи №1: Определение безопасной дистанции грузового ТС

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 9 шагов:

Шаг № 0

Отношение: e – длина отрезка максимального замедления

Правило: e – длина отрезка максимального замедления

Входные параметры:

c (дел)=1;

α (град)=60;

Формула:

$y = x1 * \text{Math.tan}(x2 * \text{Math.PI} / 180)$

Результат: e (дел)=1.73205080756888;

Шаг № 1

Отношение: $t1, t2, t3, t4, j_{\max}, j_{\max}$ (без K_{α}), $S1, S2, S_{п'}$, $S_{п'_{ly}}, S_{пад}, S_{уд}$

Правило: $j_{\max}$ – величина замедления

Входные параметры:

m_j (м/с²·дел)=1;

e (дел)=1.73205080756888;

Формула:

$$y=x_1 \cdot x_2$$

Результат: $j_{\max} \text{ (м/с}^2\text{)}=1.73205080756888;$

Шаг № 2

Отношение: Перевод $V \text{ (км/ч)} \rightarrow V \text{ (м/с)}$

Правило: $V_0 \text{ (км/ч)} \rightarrow V_0 \text{ (м/с)}$

Входные параметры:

$V_0 \text{ (км/ч)}$ - перевод=50;

Формула:

$$y=(x \cdot 1000)/3600$$

Результат: $V_0 \text{ (м/с)}=13.8888888888889;$

Шаг № 3

Отношение: $t_1, t_2, t_3, t_4, j_{\max}, j_{\max} \text{ (без Кэ)}, S_1, S_2, S_{п'}, S_{п'}_{ly}, S_{пад}, S_{уд}$

Правило: t_2 – время запаздывания срабатывания тормозного привода

Входные параметры:

$b \text{ (дел)}=2;$

$mt \text{ (с/дел)}=0.1;$

Формула:

$$y=x_1 \cdot x_2$$

Результат: $t_2 \text{ (с)}=0.2;$

Шаг № 4

Отношение: $t_1, t_2, t_3, t_4, j_{\max}, j_{\max} \text{ (без Кэ)}, S_1, S_2, S_{п'}, S_{п'}_{ly}, S_{пад}, S_{уд}$

Правило: t_1 – время реакции водителя

Входные параметры:

$a \text{ (дел)}=6;$

$mt \text{ (с/дел)}=0.1;$

Формула:

$$y=x_1 \cdot x_2$$

Результат: $t_1 \text{ (с)}=0.6;$

Шаг № 5

Отношение: $t_1, t_2, t_3, t_4, j_{\max}, j_{\max} \text{ (без Кэ)}, S_1, S_2, S_{п'}, S_{п'}_{ly}, S_{пад}, S_{уд}$

Правило: t_3 – время нарастания замедления

Входные параметры:

$c \text{ (дел)}=1;$

$mt \text{ (с/дел)}=0.1;$

Формула:

$$y=x_1 \cdot x_2$$

Результат: $t_3 \text{ (с)}=0.1;$

Шаг № 6

Отношение: t_{Σ} – суммарное время

Правило: t_{Σ} - суммарное время

Входные параметры:

$t_3 (c)=0.1;$

$t_1 (c)=0.6;$

$t_2 (c)=0.2;$

Формула:

$y=x_1+x_2+0.5 \cdot x_3$

Результат: $t_{\Sigma} (c)=0.85;$

Шаг № 7

Отношение: $S_{ост}$ - длина остановочного пути

Правило: $S_{ост}$ - длина остановочного пути

Входные параметры:

$j_{max} (м/с^2)=1.73205080756888;$

$t_{\Sigma} (c)=0.85;$

$V_0 (м/с)=13.8888888888889;$

Формула:

$y=(x_1 \cdot x_2)+(Math.pow(x_2, 2)/(2 \cdot z))$

Результат: $S_{ост} (м)=67.49134540795;$

Шаг № 8

Отношение: $S_{б_грузового}$, $S_{б_легкового}$, ΔX , L , M , $S_{осколков}$, V_0 , $t_{оп}$, $V_{сл}$

Правило: $S_{б_грузового}$ - длина дистанции безопасности грузового ТС, м

Входные параметры:

$S_{ост} (м)=67.49134540795;$

$l_{грузового} (м)=14;$

Формула:

$y=x_1+x_2$

Результат: $S_{б_грузового} (м)=81.49134540795;$

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $S_{б_грузового} = 81,49 \text{ м.}$

Проведем проверку полученного результата, для этого необходимо произвести расчет вручную.

Осуществим перевод км/ч в м/с:

$$V_0 = \frac{50 \cdot 1000}{3600} \approx 13,89 \text{ м/с.}$$

Определим длину отрезка максимального замедления:

$$e = c \cdot tg\alpha = 1 \cdot tg60^\circ \approx 1,73 \text{ дел.}$$

Определим величина максимального замедления j_{max} :

$$j_{max} = m_j \cdot e = 1 \cdot 1,73 = 1,73 \text{ м/с}^2.$$

Определим величины отрезков времени t :

$$t_1 = a \cdot m_t = 6 \cdot 0,1 = 0,6 \text{ с};$$

$$t_2 = b \cdot m_t = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ с};$$

$$t_3 = c \cdot m_t = 1 \cdot 0,1 = 0,1 \text{ с}.$$

Определим суммарное время t_{Σ} :

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 = 0,6 + 0,2 + 0,5 \cdot 0,1 = 0,85 \text{ с}.$$

Определим длину остановочного пути S_{OCT} :

$$S_{OCT} = t_{\Sigma} \cdot V_0 + \frac{V_0^2}{2 \cdot j_{\max}} = 0,85 \cdot 13,89 + \frac{13,89^2}{2 \cdot 1,73} = 11,81 + 55,76 \approx 67,57 \text{ м}.$$

Определим длину дистанции безопасности грузового ТС $S_{Б_грузового}$:

$$S_{Б_грузового} = S_{OCT} + l_{грузового} = 67,57 + 14 = 81,57 \text{ м}.$$

Ответ: $S_{Б_грузового} = 81,57 \text{ м}.$

Так как в проверочном «ручном» расчете использовалось округление до сотых, то полученный результат длины безопасной дистанции грузового ТС представлен с погрешностью, которая составила 0,08 метра. Таким образом, данные, полученные из ЭС «Анализ ДТП» более точны. Конечный ответ рассматриваемой задачи: $S_{Б_легкового} = 81,49134540795 \text{ м}.$

П.2.2. Задача №2: Определение величины тормозного пути ТС

Задача №2: Определить величину тормозного пути автомобиля при экстренном торможении с начальной скоростью 98 км/ч.

Исходные данные: $V_0 = 98 \text{ км/ч}$; $a = 10 \text{ дел}$; $b = 1,5 \text{ дел}$; $c = 3 \text{ дел}$; $\alpha = 70^\circ$;
 $m_t = 0,1 \text{ с/дел}$; $m_j = 1 \text{ м/с}^2 \cdot \text{дел}.$

Найти: S_T .

Решение: Введенные данные с полученным результатом представлены на рисунке П.2.3. Черным цветом отмечены введенные данные. Красным цветом отмечены результаты, которые были получены в процессе расчета. Синим цветом отмечены константы.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП			S4''_п (м)	Число		тосколков (с)	Число	
I Характеристики ДТП и ТС			S4''' (м)	Число		тсл (с)	Число	
II Скорость ТС			S4''''_п (м)	Число		тр (с)	Число	
ΔV (м/с)	Число		S6_грузового (м)	Число		V (км/ч) - результат	Число	
ΔV3 (м/с)	Число		S6_легкового (м)	Число		Vo (км/ч) - результат	Число	
V (м/с)	Число		Sw (м)	Число		Vo_добавочная (км/ч)	Число	
V' (м/с)	Число		Sw_ly (м)	Число		▷ Анализ ДТП		
V_п (м/с)	Число		Sd (м)	Число		▷ Константы		
Vo (м/с)	27.22222222		Sk (м)	Число		▷ Коэффициенты		
Vo_f3 (м/с)	Число		Sn (м)	Число				
Vo_n (м/с)	Число		Sn_ly (м)	Число				
Vкр.з. (м/с)	Число		Sосколков (м)	Число				
Vкр.о. (м/с)	Число		Sост (м)	Число				
Vn (м/с)	Число		Sn (м)	Число				
Vn_ly (м/с)	Число		Sn' (м)	Число				
Vo_n_f3 (м/с)	Число		Sn'_ly (м)	Число				
Vo_подъем (м/с)	Число		Snad (м)	Число				
Vo_подъем_n (м/с)	Число		Sподъем (м)	Число				
Vo_уклон (м/с)	Число		Sc (м)	Число				
Vo_уклон_n (м/с)	Число		Sск (м)	Число				
Vп (м/с)	Число		Sсл (м)	Число				
Vподъем (м/с)	Число		Ст (м)	53.11998623				
Vподъем_n (м/с)	Число		Суд (м)	Число				
Vсл (м/с)	Число		IV Время					
Ууклон (м/с)	Число		а (дел)	10				
Ууклон_n (м/с)	Число		б (дел)	1,5				
Vю (м/с)	Число		с (дел)	3				
Перевод V (км/ч) — V (м/с)			д (дел)	Число				
V (км/ч) - перевод	Число		е (дел)	8.242432258				
Vo (км/ч) - перевод	98		mj (м/с2-дел)	1				
III Путь ТС			mt (с/дел)	0,1				
S1 (м)	Число		tΣ (с)	Число				
S2 (м)	Число		t1 (с)	Число				
S3 (м)	Число		t2 (с)	0.15				
S4 (м)	Число		t3 (с)	0.3				
S4_п (м)	Число		t4 (с)	Число				
S4_подъем (м)	Число		tw (с)	Число				
S4_подъем_n (м)	Число		tw_ly (с)	Число				
S4_уклон (м)	Число		td (с)	Число				
S4_уклон_n (м)	Число		tn' (с)	Число				
S4' (м)	Число		tn'_ly (с)	Число				
S4'_п (м)	Число		top (с)	Число				
S4'' (м)	Число							

Рисунок П.2.3. Решение задачи №2: Определение величины тормозного пути ТС

Модель решения представлена на рисунке П.2.4 в виде графа.

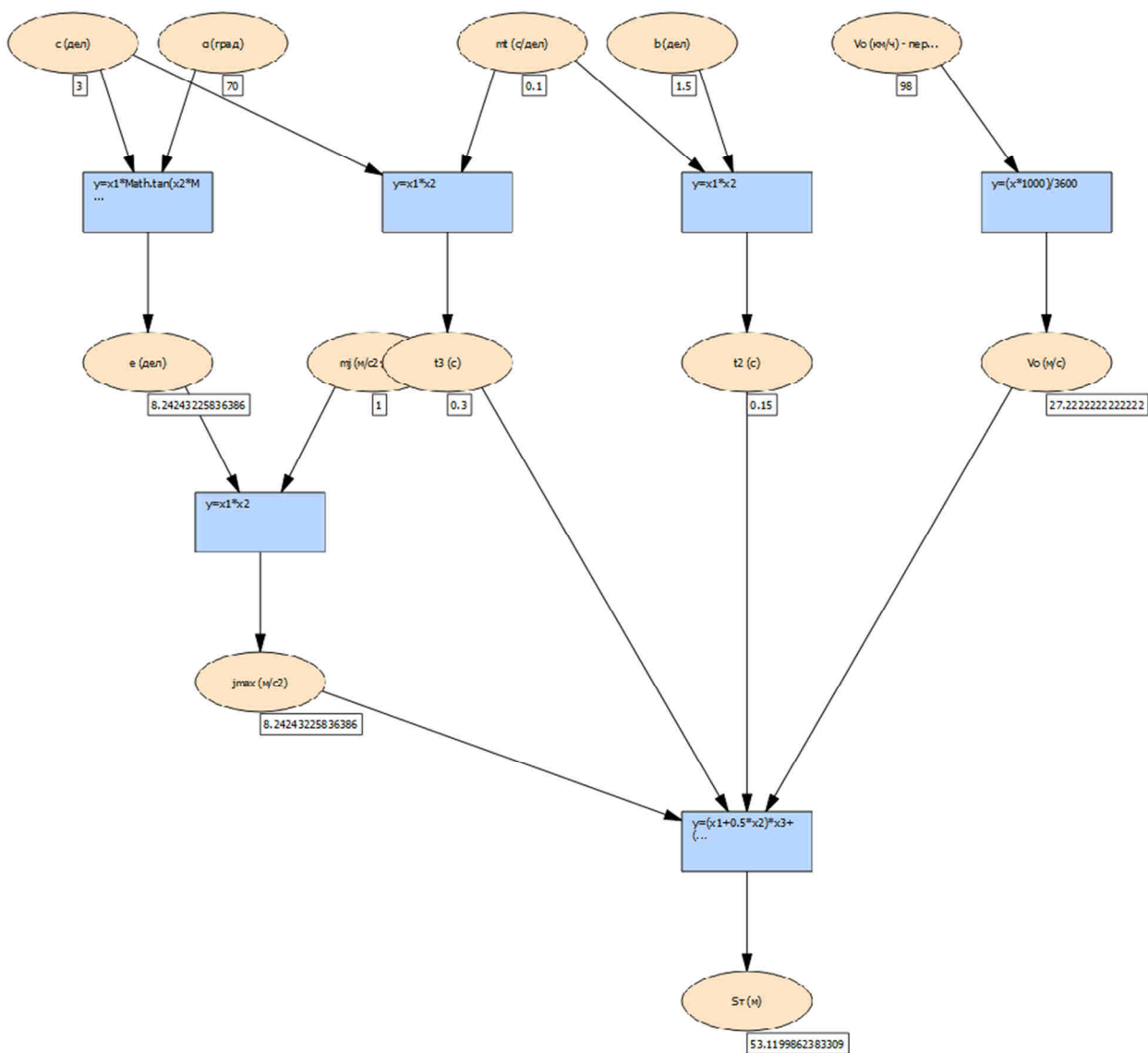


Рисунок П.2.4. Решение задачи №2: Определение величины тормозного пути ТС

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 6 шагов:

Шаг № 0

Отношение: e – длина отрезка максимального замедления

Правило: e – длина отрезка максимального замедления

Входные параметры:

c (дел)=3;

α (град)=70;

Формула:

$y = x1 * \text{Math.tan}(x2 * \text{Math.PI} / 180)$

Результат: e (дел)=8.24243225836386;

Шаг № 1

Отношение: $t1, t2, t3, t4, j_{\max}, j_{\max}$ (без K_{α}), $S1, S2, S_{\pi'}, S_{\pi'}_{ly}, S_{\text{пад}}, S_{\text{уд}}$

Правило: $j_{\max}$ – величина замедления

Входные параметры:

$m_j \text{ (м/с}^2\cdot\text{дел)}=1;$
 $e \text{ (дел)}=8.24243225836386;$
 Формула:
 $y=x_1\cdot x_2$
 Результат: $j_{\max} \text{ (м/с}^2\text{)}=8.24243225836386;$

Шаг № 2

Отношение: $t_1, t_2, t_3, t_4, j_{\max}, j_{\max} \text{ (без } K_{\varepsilon}), S_1, S_2, S_{п'}, S_{п'}_{ly}, S_{пад}, S_{уд}$

Правило: t_3 – время нарастания замедления

Входные параметры:

$c \text{ (дел)}=3;$

$mt \text{ (с/дел)}=0.1;$

Формула:

$y=x_1\cdot x_2$

Результат: $t_3 \text{ (с)}=0.3;$

Шаг № 3

Отношение: $t_1, t_2, t_3, t_4, j_{\max}, j_{\max} \text{ (без } K_{\varepsilon}), S_1, S_2, S_{п'}, S_{п'}_{ly}, S_{пад}, S_{уд}$

Правило: t_2 – время запаздывания срабатывания тормозного привода

Входные параметры:

$b \text{ (дел)}=1.5;$

$mt \text{ (с/дел)}=0.1;$

Формула:

$y=x_1\cdot x_2$

Результат: $t_2 \text{ (с)}=0.15;$

Шаг № 4

Отношение: Перевод $V \text{ (км/ч)} \rightarrow V \text{ (м/с)}$

Правило: $V_0 \text{ (км/ч)} \rightarrow V_0 \text{ (м/с)}$

Входные параметры:

$V_0 \text{ (км/ч)} - \text{перевод}=98;$

Формула:

$y=(x\cdot 1000)/3600$

Результат: $V_0 \text{ (м/с)}=27.2222222222222;$

Шаг № 5

Отношение: S_T – длина тормозного пути

Правило: S_T – длина тормозного пути

Входные параметры:

$V_0 \text{ (м/с)}=27.2222222222222;$

$j_{\max} \text{ (м/с}^2\text{)}=8.24243225836386;$

$t_2 \text{ (с)}=0.15;$

$t_3 \text{ (с)}=0.3;$

Формула:

$y=(x_1+0.5\cdot x_2)\cdot x_3+(\text{Math.pow}(x_3, 2)/(2\cdot z))$

Результат: $S_T \text{ (м)}=53.1199862383309;$

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $S_T = 53,12 \text{ м}$.

Проведем проверку полученного результата, для этого необходимо произвести расчет вручную.

Осуществим перевод км/ч в м/с:

$$V_0 = \frac{98 \cdot 1000}{3600} \approx 27,22 \text{ м/с}.$$

Определим величины отрезков времени t :

$$t_2 = b \cdot m_t = 1,5 \cdot 0,1 = 0,15 \text{ с};$$

$$t_3 = c \cdot m_t = 3 \cdot 0,1 = 0,3 \text{ с};$$

Определим длину отрезка максимального замедления:

$$e = c \cdot \operatorname{tg} \alpha = 3 \cdot \operatorname{tg} 70^\circ \approx 8,25 \text{ дел.}$$

Определим величина максимального замедления $j_{\max}$:

$$j_{\max} = m_j \cdot e = 1 \cdot 8,25 = 8,25 \text{ м/с}^2.$$

Определим величина тормозного пути S_t :

$$S_T = (t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot V_0 + \frac{V_0^2}{2 \cdot j_{\max}} = (0,15 + 0,5 \cdot 0,3) \cdot 27,22 + \frac{27,22^2}{2 \cdot 8,25} = 8,17 + 44,91 \approx 53,08 \text{ м}.$$

Ответ: $S_T = 53,08 \text{ м}$.

Так как в проверочном «ручном» расчете использовалось округление до сотых, то величина тормозного пути представлена с погрешностью, которая составила 0,04 метра. Таким образом, данные, полученные из ЭС «Анализ ДТП» более точны. Конечный ответ рассматриваемой задачи: $S_T = 53.1199862383309 \text{ м}$.

П.2.3. Задача №3: Определение возможности предотвращения ДТП

Задача №3: Определить, сумеет ли водитель автомобиля, движущегося со скоростью 60 км/ч по сухому асфальтобетонному покрытию при экстренном торможении, предотвратить наезд на пешехода, внезапно

появившегося на проезжей части? Расстояние до пешехода в момент начала торможения 30 м.

Исходные данные: $V_0 = 60 \text{ км/ч}$; $a = 7 \text{ дел}$; $b = 1 \text{ дел}$; $c = 1 \text{ дел}$; $m_t = 0,1 \text{ с/дел}$; $f = 0,75$; $S_{II} = 30 \text{ м}$.

Найти: Дать заключение, сумеет ли водитель автомобиля предотвратить наезд на пешехода.

Решение: Введенные данные с полученным результатом представлены на рисунке П.2.5. Черным цветом отмечены введенные данные. Красным цветом отмечены результаты, которые были получены в процессе расчета. Синим цветом отмечены константы.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП			S4_подъем_п (м)	Число		ΔН_легкового (мм)	Текст	
I Характеристики ДТП и ТС			S4_уклон (м)	Число		BeitOFF	Текст	
Характеристика ДТП			S4_уклон_п (м)	Число		BeitON	Текст	
Характеристика ТС			S4' (м)	Число		P – предотвращение ДТП		
B (м)	Число		S4'_п (м)	Число		P (Sост < Sв, Sост > Sв)	Текст	
hс (м)	Число		S4'' (м)	Число		P (Sост < Sп, Sост > Sп)	пешехода, а	
hсте́кла (м)	Число		S4'''_п (м)	Число		P (Sп' < ΔX, Sп' > ΔX)	Текст	
jmax (м/с²)	7.3575		S4'''' (м)	Число		P (te < tΣ, te > tΣ)	Текст	
jсл (м/с²)	Число		S4''''_п (м)	Число		P_ly – предотвращение ДТП		
L (м)	Число		S6_грузового (м)	Число		Скоростной режим		
La (м)	Число		S6_легкового (м)	Число		Константы		
Lb (м)	Число		Sв (м)	Число		g (м/с²)	9.81	
lx (м)	0		Sв_ly (м)	Число		lгрузового (м)	14	
ly (м)	Число		Sд (м)	Число		lлегкового (м)	5	
M (кг)	Число		Sк (м)	Число		Коэффициенты		
M1 (кг)	Число		Sн (м)	Число		f (0,08 - 0,8)	0,75	
M2 (кг)	Число		Sн_ly (м)	Число		f1 (0,08 - 0,8)	Число	
ΔX (м)	Число		Sосколков (м)	Число		f2 (0,08 - 0,8)	Число	
ΔY (м)	Число		Sост (м)	33.04385170		f3 (0,08 - 0,8)	Число	
Ав (Н·м)	Число		Sп (м)	30		fn (0,08 - 0,8)	Число	
Ак (Н·м)	Число		Sп' (м)	Число		η (0,5 - 0,86)	Число	
Ап (Н·м)	Число		Sп'_ly (м)	Число		φ (0,015 - 0,3)	Число	
Ас (Н·м)	Число		Sпад (м)	Число		Kз (1,0 - 1,6)	Число	
II Скорость ТС			Sподъем (м)	Число				
ΔV (м/с)	Число		Sс (м)	Число				
ΔV3 (м/с)	Число		Sск (м)	Число				
V (м/с)	Число		Sсл (м)	Число				
V' (м/с)	Число		Sт (м)	Число				
V_n (м/с)	Число		Sуд (м)	Число				
Vo (м/с)	16.66666666		IV Время					
Vo_f3 (м/с)	Число		a (дел)	7				
Vo_n (м/с)	Число		b (дел)	1				
Vкр.з. (м/с)	Число		c (дел)	1				
Vкр.о. (м/с)	Число		d (дел)	Число				
Vн (м/с)	Число		e (дел)	Число				
Vн_ly (м/с)	Число		mj (м/с²·дел)	Число				
Vo_n_f3 (м/с)	Число		mt (с/дел)	0,1				
Vo_подъем (м/с)	Число		tΣ (с)	0.85				
Vo_подъем_п (м/с)	Число		t1 (с)	0.7				
Vo_уклон (м/с)	Число		t2 (с)	0.1				
Vo_уклон_п (м/с)	Число		t3 (с)	0.1				
Vп (м/с)	Число		t4 (с)	Число				
Vподъем (м/с)	Число		tw (с)	Число				
Vподъем_п (м/с)	Число		tw_ly (с)	Число				
Vсл (м/с)	Число		td (с)	Число				
Vуклон (м/с)	Число		tn' (с)	Число				
Vуклон_п (м/с)	Число		tn'_ly (с)	Число				
Vю (м/с)	Число		ton (с)	Число				
Перевод V (км/ч) → V (м/с)			tosколков (с)	Число				
V (км/ч) - перевод	Число		tсл (с)	Число				
Vo (км/ч) - перевод	60		tr (с)	Число				
III Путь ТС			V (км/ч) - результат	Число				
S1 (м)	Число		Vo (км/ч) - результат	Число				
S2 (м)	Число		Vo_добавочная (км/ч)	Число				
S3 (м)	Число		Анализ ДТП					
S4 (м)	Число		ΔН_грузового (мм)	Текст				
S4_п (м)	Число		ΔН_легкового (мм)	Текст				
S4_подъем (м)	Число							

Рисунок П.2.5. Решение задачи №3: Определение возможности предотвращения ДТП

Модель решения представлена на рисунке П.2.6 в виде графа.

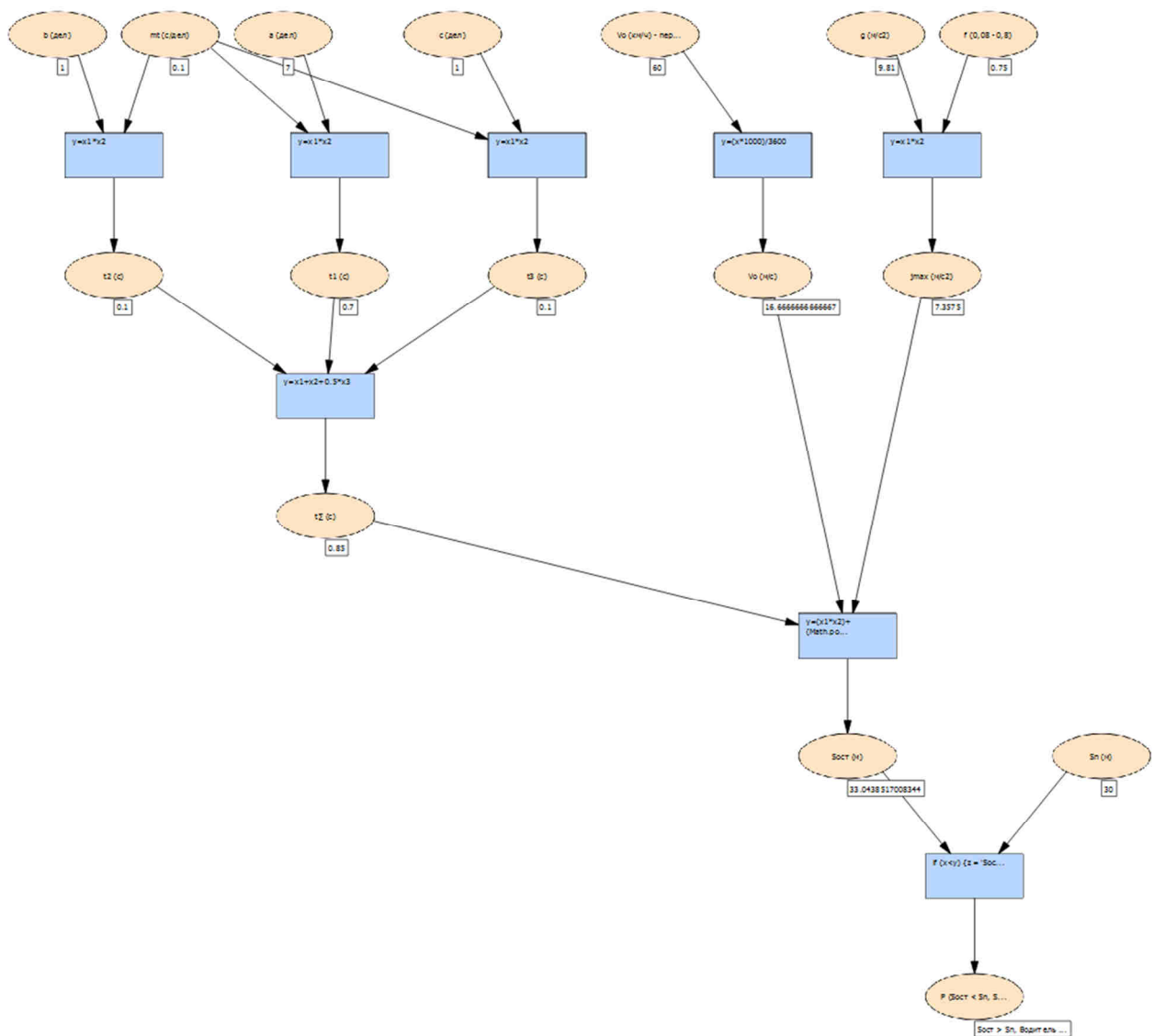


Рисунок П.2.6. Решение задачи №3: Определение возможности предотвращения ДТП

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 8 шагов:

Шаг № 0

Отношение: t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , $j_{\max}$, $j_{\max}$ (без K_{θ}), S_1 , S_2 , $S_{п'}$,

$S_{п'_{ly}}$, $S_{пад}$, $S_{уд}$

Правило: t_2 – время запаздывания срабатывания тормозного привода

Входные параметры:

b (дел)=1;

mt (с/дел)=0.1;

Формула:

$y = x_1 * x_2$

Результат: t_2 (с)=0.1;

Шаг № 1

Отношение: t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , $j_{\max}$, $j_{\max}$ (без K_{θ}), S_1 , S_2 , $S_{п'}$,

$S_{п'_{ly}}$, $S_{пад}$, $S_{уд}$

Правило: t_1 – время реакции водителя

Входные параметры:

a (дел)=7;
 mt (с/дел)=0.1;
 Формула:
 $y=x_1 \cdot x_2$
 Результат: t_1 (с)=0.7;

Шаг № 2

Отношение: $t_1, t_2, t_3, t_4, j_{\max}, j_{\max}$ (без K_{ε}), $S_1, S_2, S_{п'}$,
 $S_{п'_{ly}}, S_{пад}, S_{уд}$
 Правило: t_3 – время нарастания замедления
 Входные параметры:
 c (дел)=1;
 mt (с/дел)=0.1;
 Формула:
 $y=x_1 \cdot x_2$
 Результат: t_3 (с)=0.1;

Шаг № 3

Отношение: t_{Σ} – суммарное время
 Правило: t_{Σ} – суммарное время
 Входные параметры:
 t_3 (с)=0.1;
 t_1 (с)=0.7;
 t_2 (с)=0.1;
 Формула:
 $y=x_1+x_2+0.5 \cdot x_3$
 Результат: t_{Σ} (с)=0.85;

Шаг № 4

Отношение: Перевод V (км/ч) $\rightarrow V$ (м/с)
 Правило: V_0 (км/ч) $\rightarrow V_0$ (м/с)
 Входные параметры:
 V_0 (км/ч) – перевод=60;
 Формула:
 $y=(x \cdot 1000)/3600$
 Результат: V_0 (м/с)=16.66666666666667;

Шаг № 5

Отношение: $t_1, t_2, t_3, t_4, j_{\max}, j_{\max}$ (без K_{ε}), $S_1, S_2, S_{п'}$,
 $S_{п'_{ly}}, S_{пад}, S_{уд}$
 Правило: $j_{\max}$ (без K_{ε}) – величина замедления без K_{ε} –
 поправочный коэффициент эффективности торможения
 Входные параметры:
 g (м/с²)=9.81;
 f (0,08 – 0,8)=0.75;
 Формула:
 $y=x_1 \cdot x_2$
 Результат: $j_{\max}$ (м/с²)=7.3575;

Шаг № 6

Отношение: $S_{ост}$ – длина остановочного пути

Правило: $S_{ост}$ – длина остановочного пути

Входные параметры:

$j_{max} (м/с^2) = 7.3575;$

$t_{\Sigma} (с) = 0.85;$

$V_0 (м/с) = 16.6666666666667;$

Формула:

$y = (x_1 \cdot x_2) + (\text{Math.pow}(x_2, 2) / (2 \cdot z))$

Результат: $S_{ост} (м) = 33.0438517008344;$

Шаг № 7

Отношение: $P (S_{ост} < S_{п}, S_{ост} > S_{п})$ – предотвращение ДТП

Правило: $S_{ост} < S_{п}, S_{ост} > S_{п}$

Входные параметры:

$S_{ост} (м) = 33.0438517008344;$

$S_{п} (м) = 30;$

Формула:

$\text{if } (x < y) \{z = 'S_{ост} \setminus u003C S_{п}, \text{Водитель имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением'};\} \text{ else } \{z = 'S_{ост} \setminus u003E S_{п}, \text{Водитель не имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением. ТС не остановилось при торможении у линии следования пешехода, а пересекло ее'};\}$

Результат: $P (S_{ост} < S_{п}, S_{ост} > S_{п}) = S_{ост} > S_{п}$, Водитель не имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением. ТС не остановилось при торможении у линии следования пешехода, а пересекло ее;

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $S_{ост} > S_{п} = 33,04 \text{ м} > 30 \text{ м}$, Водитель не имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением. ТС не остановилось при торможении у линии следования пешехода, а пересекло ее.

Проведем проверку полученного результата, для этого необходимо произвести расчет вручную.

Осуществим перевод км/ч в м/с:

$$V_0 = \frac{60 \cdot 1000}{3600} \approx 16,67 \text{ м/с.}$$

Определим величины отрезков времени t :

$$t_1 = a \cdot m_t = 7 \cdot 0,1 = 0,7 \text{ с};$$

$$t_2 = b \cdot m_t = 1 \cdot 0,1 = 0,1 \text{ с};$$

$$t_3 = c \cdot m_t = 1 \cdot 0,1 = 0,1 \text{ с.}$$

Определим суммарное время t_{Σ} :

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 = 0,7 + 0,1 + 0,5 \cdot 0,1 = 0,85 \text{ с.}$$

Определим величина максимального замедления $j_{\max}$:

$$j_{\max} = f \cdot g = 0,75 \cdot 9,81 = 7,36 \text{ м/с}^2.$$

Определим длину остановочного пути S_{OCT} :

$$S_{OCT} = t_{\Sigma} \cdot V_0 + \frac{V_0^2}{2 \cdot j_{\max}} = 0,85 \cdot 16,67 + \frac{16,67^2}{2 \cdot 7,36} = 14,17 + 18,88 \approx 33,05 \text{ м.}$$

Сравним длину остановочного пути ТС и длину пути, пройденного пешеходом с момента возникновения опасной обстановки:

$$S_{OCT} > S_{II} = 33,05 \text{ м} > 30 \text{ м.}$$

Ответ: водитель не имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением.

Так как в проверочном «ручном» расчете использовалось округление до сотых, то длина остановочного пути представлена с погрешностью, которая составила 0,01 метра. Таким образом, данные, полученные из ЭС «Анализ ДТП» более точны.

П.2.4. Задача №4: Определение скорости ТС перед торможением

Задача №4: При расследовании ДТП было установлено, что один из автомобилей, причастный к ДТП при экстренном торможении и движении под уклон на сухом асфальтобетонном покрытии, оставил следы скольжения длиной 35,4 м. Величина уклона 10,5%. Определить скорость автомобиля перед торможением.

Исходные данные: $f = 0,75$; $S_{4_уклон} = 35,4 \text{ м}$; $RoadSlope = 10,5\%$.

Найти: V_0

Решение: Введенные данные с полученным результатом представлены на рисунке П.2.7. Черным цветом отмечены введенные данные. Красным цветом отмечены результаты, которые были получены в процессе расчета. Синим цветом отмечены константы.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП			S1 (м)	Число		g (м/с ²)	9.81	
I Характеристики ДТП и ТС			S2 (м)	Число		lгрузового (м)	14	
Характеристика ДТП			S3 (м)	Число		lлегкового (м)	5	
i (рад)	0.105		S4 (м)	Число		Кoeffициенты		
R (м)	Число		S4_n (м)	Число		f (0,08 - 0,8)	0,75	
RoadSlope (%)	10,5		S4_подъем (м)	Число		f1 (0,08 - 0,8)	Число	
Rв (м)	Число		S4_подъем_n (м)	Число		f2 (0,08 - 0,8)	Число	
Rн (м)	Число		S4_уклон (м)	35,4		f3 (0,08 - 0,8)	Число	
Rуч.дороги (м)	Число		S4_уклон_n (м)	Число		fn (0,08 - 0,8)	Число	
α (град)	6.016056846		S4' (м)	Число		η (0,5 - 0,86)	Число	
ε (рад)	Число		S4'_n (м)	Число		φ (0,015 - 0,3)	Число	
Θ (град)	Число		S4'' (м)	Число		Kα (1,0 - 1,6)	Число	
ω (м)	Число		S4''_n (м)	Число				
> Характеристика ТС			S4''' (м)	Число				
II Скорость ТС			S4'''_n (м)	Число				
ΔV (м/с)	Число		S6_грузового (м)	Число				
ΔV3 (м/с)	Число		S6_легкового (м)	Число				
V (м/с)	Число		Sв (м)	Число				
V' (м/с)	Число		Sв_lу (м)	Число				
V_n (м/с)	Число		Sд (м)	Число				
Vo (м/с)	Число		Sк (м)	Число				
Vo_f3 (м/с)	Число		Sн (м)	Число				
Vo_n (м/с)	Число		Sн_lу (м)	Число				
Vкр.з. (м/с)	Число		Sосколков (м)	Число				
Vкр.о. (м/с)	Число		Sост (м)	Число				
Vн (м/с)	Число		Sп (м)	Число				
Vн_lу (м/с)	Число		Sп' (м)	Число				
Vo_n_f3 (м/с)	Число		Sп'_лу (м)	Число				
Vo_подъем (м/с)	Число		Sпад (м)	Число				
Vo_подъем (м/с)	Число		Sподъем (м)	Число				
Vo_подъем_n (м/с)	Число		Sc (м)	Число				
Vo_уклон (м/с)	21.15925953		Sск (м)	Число				
Vo_уклон_n (м/с)	Число		Sсл (м)	Число				
Vп (м/с)	Число		St (м)	Число				
Vподъем (м/с)	Число		Sуд (м)	Число				
Vподъем_n (м/с)	Число		IV Время					
Vсл (м/с)	Число		V (км/ч) - результат	Число				
Vуклон (м/с)	Число		Vo (км/ч) - результат	76.17333432				
Vуклон_n (м/с)	Число		Vo_добавочная (км/ч)	Число				
Vю (м/с)	Число		> Анализ ДТП					
> Перевод V (км/ч) → V (м/с)								

Рисунок П.2.7. Решение задачи №4: Определение скорости ТС перед торможением

Модель решения представлена на рисунке П.2.8 в виде графа.

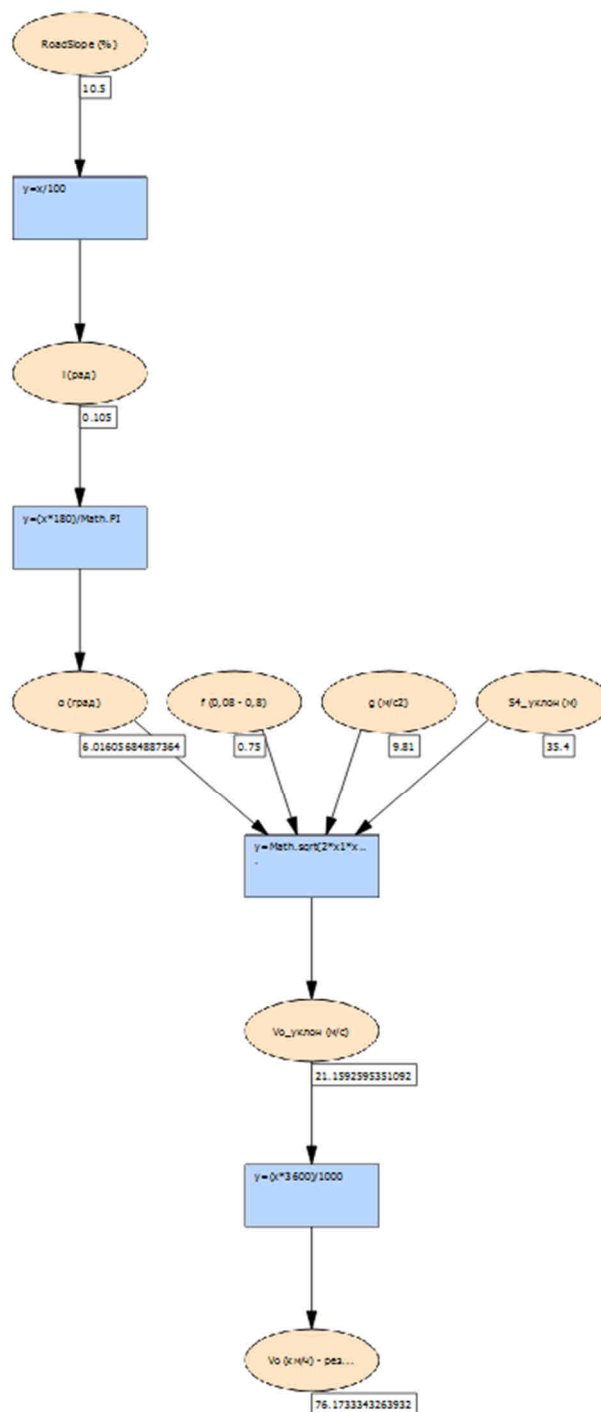


Рисунок П.2.8. Граф-решения задачи №4: Определение скорости ТС перед торможением

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 4 шагов:

Шаг № 0

Отношение: i – уклон дороги

Правило: i – уклон дороги

Входные параметры:

RoadSlope (%)=10.5;

Формула:

$y=x/100$

Результат: i (рад)=0.105;

Шаг № 1

Отношение: α – угол наклона

Правило: α – угол наклона

Входные параметры:

i (рад)=0.105;

Формула:

$y = (x \cdot 180) / \text{Math.PI}$

Результат: α (град)=6.01605684887364;

Шаг № 2

Отношение: $V_{o_уклон}$ – скорость ТС перед началом торможения при уклоне

Правило: $V_{o_уклон}$ – скорость ТС перед началом торможения при уклоне

Входные параметры:

f (0,08 - 0,8)=0.75;

g (м/с²)=9.81;

α (град)=6.01605684887364;

$S4_уклон$ (м)=35.4;

Формула:

$y = \text{Math.sqrt}(2 \cdot x1 \cdot x2 \cdot (x3 - \text{Math.tan}(x4 \cdot \text{Math.PI} / 180)))$

Результат: $V_{o_уклон}$ (м/с)=21.1592595351092;

Шаг № 3

Отношение: Перевод V (м/с) $\rightarrow V$ (км/ч)

Правило: $V_{o_уклон}$ (м/с) $\rightarrow V_o$ (км/ч)

Входные параметры:

$V_{o_уклон}$ (м/с)=21.1592595351092;

Формула:

$y = (x \cdot 3600) / 1000$

Результат: V_o (км/ч) - результат=76.1733343263932;

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $V_o = 76,17$ км/ч.

Проведем проверку полученного результата, для этого необходимо произвести расчет вручную.

Определим наклон дороги i :

$$i = \frac{\text{RoadSlope}}{100} = \frac{10,5}{100} = 0,105 \text{ рад.}$$

Определим наклон дороги α в градусах:

$$\alpha = \frac{i \cdot 180^0}{\pi} = \frac{0,105 \cdot 180^0}{3,14} \approx 6,02 \text{ град.}$$

Определим скорость ТС перед началом торможения при уклоне $V_{0\text{уклон}}$:

$$V_{0\text{уклон}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot S_{4\text{уклон}} \cdot (f - \operatorname{tg} \alpha)} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 35,4 \cdot (0,75 - \operatorname{tg} 6,02)} \approx 21,16 \text{ м/с.}$$

Осуществим перевод м/с в км/ч:

$$V_0 = \frac{21,16 \cdot 3600}{1000} \approx 76,18 \text{ км/ч.}$$

Ответ: $V_0 = 76,18 \text{ км/ч.}$

Так как в проверочном «ручном» расчете использовалось округление до сотых, то полученный результат скорости ТС перед началом торможения при уклоне представлен с погрешностью, которая составила 0,01 км/ч. Таким образом, данные, полученные из ЭС «Анализ ДТП» более точны. Конечный ответ рассматриваемой задачи: $V_0 = 76,1733343263932 \text{ км/ч.}$

П.2.5. Задача №5: Определение добавочной скорости ТС в начале торможения

Задача №5: Автомобиль при экстренном торможении оставил на сухом асфальтобетонном покрытии до столкновения следы скольжения длиной 25 м. Скорость в момент столкновения была 35 км/ч. Определить добавочную скорость автомобиля в начале торможения.

Исходные данные: $f = 0,75$; $S_4 = 25 \text{ м}$; $V = 35 \text{ км/ч}$.

Найти: $V_{0\text{добавочная}}$.

Решение: Введенные данные с полученным результатом представлены на рисунке П.2.9. Черным цветом отмечены введенные данные. Красным цветом отмечены результаты, которые были получены в процессе расчета. Синим цветом отмечены константы.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП			Перевод V (км/ч) $\rightarrow V$ (м/с)			Сост (м)	Число	☐
I Характеристики ДТП и ТС			V (км/ч) - перевод	35	☐	S_n (м)	Число	☐
II Скорость ТС			V_o (км/ч) - перевод	Число	☐	S_n' (м)	Число	☐
ΔV (м/с)	Число	☐	III Путь ТС			$S_n'_{ly}$ (м)	Число	☐
ΔV_3 (м/с)	Число	☐	S_1 (м)	Число	☐	$S_{пад}$ (м)	Число	☐
V (м/с)	9.722222222	☐	S_2 (м)	Число	☐	$S_{подъем}$ (м)	Число	☐
V' (м/с)	Число	☐	S_3 (м)	Число	☐	S_c (м)	Число	☐
V_n (м/с)	Число	☐	S_4 (м)	25	☐	$S_{ск}$ (м)	Число	☐
V_o (м/с)	19.18006777	☐	S_{4_n} (м)	Число	☐	$S_{сл}$ (м)	Число	☐
V_{o_f3} (м/с)	Число	☐	$S_{4_подъем}$ (м)	Число	☐	S_t (м)	Число	☐
V_{o_n} (м/с)	Число	☐	$S_{4_подъем_n}$ (м)	Число	☐	$S_{уд}$ (м)	Число	☐
$V_{кр.з.}$ (м/с)	Число	☐	$S_{4_уклон}$ (м)	Число	☐	IV Время		
$V_{кр.о.}$ (м/с)	Число	☐	$S_{4_уклон_n}$ (м)	Число	☐	V (км/ч) - результат	Число	☐
V_n (м/с)	Число	☐	S_4' (м)	Число	☐	V_o (км/ч) - результат	Число	☐
V_{n_ly} (м/с)	Число	☐	$S_{4'_n}$ (м)	Число	☐	$V_o_{добавочная}$ (км/ч)	77.41227292	☒
$V_{o_n_f3}$ (м/с)	Число	☐	S_4'' (м)	Число	☐	Анализ ДТП		
$V_{o_добавочная}$ (м/с)	21.50340914	☐	$S_{4''_n}$ (м)	Число	☐	А Константы		
$V_{o_подъем}$ (м/с)	Число	☐	S_4''' (м)	Число	☐	g (м/с ²)	9.81	☐
$V_{o_подъем_n}$ (м/с)	Число	☐	$S_{4''''}$ (м)	Число	☐	$I_{грузового}$ (м)	14	☐
$V_{o_уклон}$ (м/с)	Число	☐	$S_{4''''_n}$ (м)	Число	☐	$I_{легкового}$ (м)	5	☐
$V_{o_уклон_n}$ (м/с)	Число	☐	$S_{6_грузового}$ (м)	Число	☐	А Коэффициенты		
V_n (м/с)	Число	☐	$S_{6_легкового}$ (м)	Число	☐	f (0,08 - 0,8)	0,75	☐
$V_{подъем}$ (м/с)	Число	☐	S_e (м)	Число	☐	f_1 (0,08 - 0,8)	Число	☐
$V_{подъем_n}$ (м/с)	Число	☐	S_{e_ly} (м)	Число	☐	f_2 (0,08 - 0,8)	Число	☐
$V_{сл}$ (м/с)	Число	☐	S_d (м)	Число	☐	f_3 (0,08 - 0,8)	Число	☐
$V_{уклон}$ (м/с)	Число	☐	S_k (м)	Число	☐	f_n (0,08 - 0,8)	Число	☐
$V_{уклон_n}$ (м/с)	Число	☐	S_n (м)	Число	☐	η (0,5 - 0,86)	Число	☐
$V_{ю}$ (м/с)	Число	☐	S_{n_ly} (м)	Число	☐	φ (0,015 - 0,3)	Число	☐
			$S_{осколков}$ (м)	Число	☐	K_3 (1,0 - 1,6)	Число	☐

Рисунок П.2.9. Решение задачи №5: Определение добавочной скорости ТС в начале торможения

Модель решения представлена на рисунке П.2.10 в виде графа.

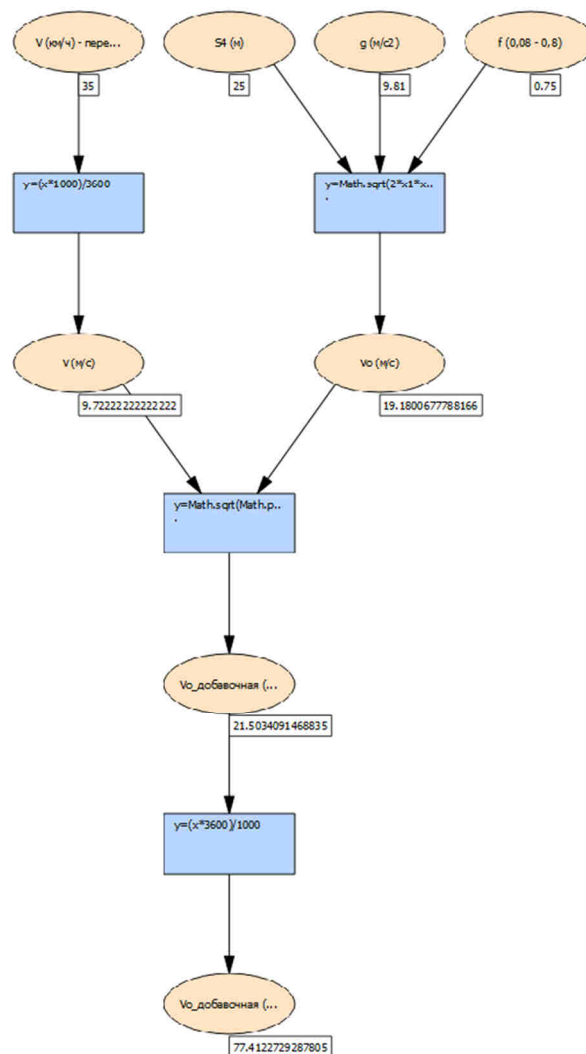


Рисунок П.2.10. Граф-решения задачи №5: Определение скорости ТС перед торможением

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 4 шагов:

Шаг № 0

Отношение: Перевод V (км/ч) $\rightarrow$ V (м/с)

Правило: V (км/ч) $\rightarrow$ V (м/с)

Входные параметры:

V (км/ч) - перевод=35;

Формула:

$y = (x * 1000) / 3600$

Результат: V (м/с)=9.72222222222222;

Шаг № 1

Отношение: V_0 - скорость ТС перед началом торможения

Правило: V_0 - скорость ТС перед началом торможения

Входные параметры:

$S4$ (м)=25;

g (м/с²)=9.81;

f (0,08 - 0,8)=0.75;

Формула:

```
y=Math.sqrt(2*x1*x2*x3)
Результат: Vo (м/с)=19.1800677788166;
-----
```

Шаг № 2

Отношение: Vo_добавочная – скорость автомобиля перед началом торможения при добавочной скорости V в момент столкновения ТС

Правило: Vo_добавочная – скорость автомобиля перед началом торможения при добавочной скорости V в момент столкновения ТС

Входные параметры:

V (м/с)=9.72222222222222;

Vo (м/с)=19.1800677788166;

Формула:

y=Math.sqrt(Math.pow(x1,2)+Math.pow(x2,2))

Результат: Vo_добавочная (м/с)=21.5034091468835;

Шаг № 3

Отношение: Перевод V (м/с) → V (км/ч)

Правило: Vo_добавочная (м/с) → Vo_добавочная (км/ч)

Входные параметры:

Vo_добавочная (м/с)=21.5034091468835;

Формула:

y=(x*3600)/1000

Результат: Vo_добавочная (км/ч)=77.4122729287805;

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ:

$V_{\text{одобавочная}} = 77,41 \text{ км/ч.}$

Проведем проверку полученного результата, для этого необходимо произвести расчет вручную.

Осуществим перевод км/ч в м/с V:

$$V = \frac{35 \cdot 1000}{3600} \approx 9,72 \text{ м/с.}$$

Определим скорость ТС перед началом торможения V_0 :

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot f \cdot S_4} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,75 \cdot 25} \approx 19,18 \text{ м/с.}$$

Определим скорость ТС перед началом торможения, с учетом добавочной скорости V в момент столкновения ТС $V_{\text{одобавочная}}$:

$$V_{0_добавочная} = \sqrt{V^2 + V_0^2} = \sqrt{9,72^2 + 19,18^2} \approx 21,50 \text{ м/с.}$$

Осуществим перевод м/с в км/ч $V_{0_добавочная}$:

$$V_{0_добавочная} = \frac{21,50 \cdot 3600}{1000} = 77,40 \text{ км/ч.}$$

Ответ: $V_{добавочная} = 77,40 \text{ км/ч.}$

Так как в проверочном «ручном» расчете использовалось округление до сотых, то полученный результат скорости ТС перед началом торможения, с учетом добавочной скорости V в момент столкновения ТС представлена с погрешностью, которая составила 0,01 км/ч. Таким образом, данные, полученные из ЭС «Анализ ДТП» более точны. Конечный ответ рассматриваемой задачи: $V_{добавочная} = 77,4122729287805 \text{ км/ч.}$

П.2.6. Задача №6: Установление факта нарушения ПДД по скоростному режиму

Задача №6: Определить, были ли нарушены правила дорожного движения ТС по скоростному режиму в населенном пункте, если служебным расследованием дорожно-транспортного происшествия было установлено: автомобиль оставил следы скольжения трех колёс длиной 23,2 м, движение совершалось под уклон в 14% на мокром асфальтобетонном покрытии.

Исходные данные: $f = 0,45$; $S_{4_уклон_п} = 23,2 \text{ м}$; $RoadSlope = 14\%$; $\eta = 0,86$; $SpeedLimit = 60 \text{ км/ч.}$

Найти: Определить, были ли нарушены ПДД по скоростному режиму.

Решение: Введенные данные с полученным результатом представлены на рисунке П.2.11. Черным цветом отмечены введенные данные. Красным цветом отмечены результаты, которые были получены в процессе расчета. Синим цветом отмечены константы.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП						Анализ SL V	Текст	
I Характеристики ДТП и ТС			Vo_подъем (м/с)	Число		Анализ SL Vo	Скорость ТС	
Характеристика ДТП			Vo_подъем_n (м/с)	Число		Анализ SL Vo_добавочная	Текст	
i (рад)	0.14		Vo_уклон (м/с)	Число		Константы		
R (м)	Число		Vo_уклон_n (м/с)	10.99959867		g (м/с ²)	9.81	
RoadSlope (%)	14		Vn (м/с)	Число		Iгрузового (м)	14	
Re (м)	Число		Vподъем (м/с)	Число		Iлегкового (м)	5	
Rn (м)	Число		Vподъем_n (м/с)	Число		Коэффициенты		
Руч.дороги (м)	Число		Vсл (м/с)	Число		f (0,08 - 0,8)	0.45	
α (град)	8.021409131		Vуклон (м/с)	Число		f1 (0,08 - 0,8)	Число	
ε (рад)	Число		Vуклон_n (м/с)	Число		f2 (0,08 - 0,8)	Число	
Θ (град)	Число		Vю (м/с)	Число		f3 (0,08 - 0,8)	Число	
ω (м)	Число		Перевод V (км/ч) → V (м/с)			fn (0,08 - 0,8)	Число	
Характеристика ТС			III Путь ТС			η (0,5 - 0,86)	0.86	
II Скорость ТС			IV Время			φ (0,015 - 0,3)	Число	
ΔV (м/с)	Число		V (км/ч) - результат	Число		Kα (1,0 - 1,6)	Число	
ΔV3 (м/с)	Число		Vo (км/ч) - результат	39.59855522				
V (м/с)	Число		Vo_добавочная (км/ч)	Число				
V' (м/с)	Число		Анализ ДТП					
V_n (м/с)	Число		ΔH_грузового (мм)	Текст				
Vo (м/с)	Число		ΔH_легкового (мм)	Текст				
Vo_f3 (м/с)	Число		BeltOFF	Текст				
Vo_n (м/с)	Число		BeltON	Текст				
Vкр.з. (м/с)	Число		P – предотвращение ДТП					
Vкр.о. (м/с)	Число		P (Sост < Sв, Sост > Sв)	Текст				
Vn (м/с)	Число		P (Sост < Sn, Sост > Sn)	Текст				
Vn_lу (м/с)	Число		P (Sn' < ΔX, Sn' > ΔX)	Текст				
Vo_n_f3 (м/с)	Число		P (tв < tΣ, tв > tΣ)	Текст				
Vo_добавочная (м/с)	Число		P_lу – предотвращение ДТП					
			Скоростной режим					
			SpeedLimit (км/ч)	60				

Рисунок П.2.11. Решение задачи №6: Установление факта нарушения ПДД по скоростному режиму

Модель решения представлена на рисунке П.2.12 в виде графа.

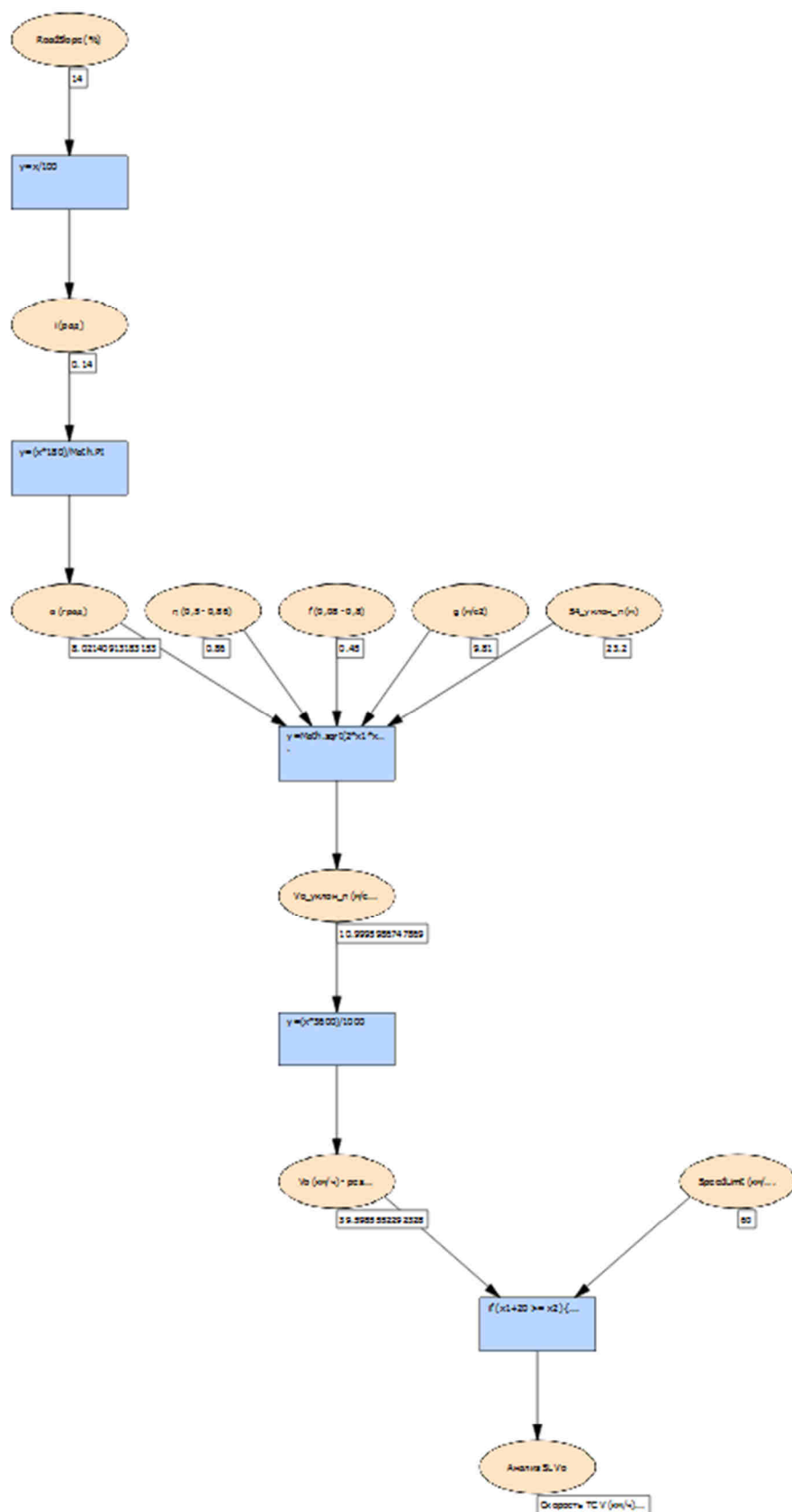


Рисунок П.2.12. Граф-решения задачи №6: Установление факта нарушения ПДД по скоростному режиму

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 5 шагов:

Шаг № 0

Отношение: i – уклон дороги

Правило: i – уклон дороги

Входные параметры:

RoadSlope (%)=14;

Формула:

$y=x/100$

Результат: i (рад)=0.14;

Шаг № 1

Отношение: α – угол наклона

Правило: α – угол наклона

Входные параметры:

i (рад)=0.14;

Формула:

$y=(x*180)/\text{Math.PI}$

Результат: α (град)=8.02140913183153;

Шаг № 2

Отношение: $V_{o_уклон_n}$ (с учетом коэффициента η) – скорость ТС перед началом торможения при уклоне

Правило: $V_{o_уклон_n}$ (с учетом коэффициента η) – скорость ТС перед началом торможения при уклоне

Входные параметры:

η (0,5 - 0,86)=0.86;

f (0,08 - 0,8)=0.45;

g (м/с²)=9.81;

α (град)=8.02140913183153;

$S4_уклон_n$ (м)=23.2;

Формула:

$y=\text{Math.sqrt}(2*x1*x2*(x3-\text{Math.tan}(x4*\text{Math.PI}/180))*x5)$

Результат: $V_{o_уклон_n}$ (м/с)=10.9995986747869;

Шаг № 3

Отношение: Перевод V (м/с) → V (км/ч)

Правило: $V_{o_уклон_n}$ (м/с) → V_o (км/ч)

Входные параметры:

$V_{o_уклон_n}$ (м/с)=10.9995986747869;

Формула:

$y=(x*3600)/1000$

Результат: V_o (км/ч) - результат=39.5985552292328;

Шаг № 4

Отношение: **SpeedLimit** - ограничение максимальной скорости

Правило: Анализ **SL** V_o – параметр определяющий нарушение скоростного режима водителем по V_o

Входные параметры:

SpeedLimit (км/ч)=60;

V_o (км/ч) - результат=39.5985552292328;

Формула:

```

if (x1 >= x2) {y = 'Скорость ТС V (км/ч) ≤ SpeedLimit, Водитель
соблюдал скоростной режим';} else {y = 'Скорость ТС V (км/ч)
\003E SpeedLimit, Водитель не соблюдал скоростной режим';}
Результат: Анализ SL V0=Скорость ТС V (км/ч) ≤ SpeedLimit,
Водитель соблюдал скоростной режим;
-----

```

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $V_0 = 39,60$ км/ч. Водитель соблюдал скоростной режим.

Проведем проверку полученного результата, для этого необходимо произвести расчет вручную.

Определим наклон дороги i :

$$i = \frac{RoadSlope}{100} = \frac{14}{100} = 0,14 \text{ рад.}$$

Определим наклон дороги α в градусах:

$$\alpha = \frac{i \cdot 180^0}{\pi} = \frac{0,14 \cdot 180^0}{3,14} \approx 8,03 \text{ град.}$$

Определим скорость ТС перед началом торможения при уклоне $V_{0\text{уклон}}$:

$$V_{0\text{уклон}_n} = \sqrt{2 \cdot g \cdot S_{4\text{уклон}_n} \cdot (f - \operatorname{tg} \alpha) \cdot \eta} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 23,2 \cdot (0,45 - \operatorname{tg} 8,03) \cdot 0,86} \approx 11,02 \text{ м/с.}$$

Осуществим перевод м/с в км/ч:

$$V_0 = \frac{11,02 \cdot 3600}{1000} \approx 39,67 \text{ км/ч.}$$

Сравним скорость ТС перед началом торможения с допустимой скоростью в населенных пунктах:

$$V_{0\text{уклон}_n} < SpeedLimit = 39,67 \text{ км/ч} < 60 \text{ км/ч.}$$

Ответ: Водитель соблюдал скоростной режим.

Так как в проверочном «ручном» расчете использовалось округление до сотых, то величина скорости ТС перед началом торможения при уклоне представлена с погрешностью, которая составила 0,07 км/ч. Таким образом, данные, полученные из ЭС «Анализ ДТП» более точны.

П.2.7. Задача №7: Определить коэффициент сцепления покрытия проезжей части с шинами ТС

Задача №7: Автомобиль оставил следы торможения длиной 18,4 м одновременно на проезжей части дороги и обочине. Определить коэффициент сцепления покрытия проезжей части с шинами автомобиля, если коэффициент сцепления шин с поверхностью обочины равен 0,5, а скорость автомобиля перед торможением была 55 км/ч.

Дано: $S_4 = 18,4$ м; $f_2 = 0,5$; $V_0 = 55$ км/ч

Найти: f_1

Решение: Введенные данные с полученным результатом представлены на рисунке П.2.13. Черным цветом отмечены введенные данные. Красным цветом отмечены результаты, которые были получены в процессе расчета. Синим цветом отмечены константы.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП			Перевод V (км/ч) → V (м/с)			Сост (м)	Число	
Характеристики ДТП и ТС			V (км/ч) - перевод	Число		Sn (м)	Число	
II Скорость ТС			Vo (км/ч) - перевод	55		Sn' (м)	Число	
ΔV (м/с)	Число		III Путь ТС			Sn'_ly (м)	Число	
ΔV3 (м/с)	Число		S1 (м)	Число		Спад (м)	Число	
V (м/с)	Число		S2 (м)	Число		Сподъем (м)	Число	
V' (м/с)	Число		S3 (м)	Число		Sc (м)	Число	
V_n (м/с)	Число		S4 (м)	18,4		Сск (м)	Число	
Vo (м/с)	15.27777777		S4_n (м)	Число		Ссл (м)	Число	
Vo_f3 (м/с)	Число		S4_подъем (м)	Число		St (м)	Число	
Vo_n (м/с)	Число		S4_подъем_n (м)	Число		Syd (м)	Число	
Vкр.з. (м/с)	Число		S4_уклон (м)	Число		IV Время		
Vкр.о. (м/с)	Число		S4_уклон_n (м)	Число		V (км/ч) - результат	Число	
Vn (м/с)	Число		S4' (м)	Число		Vo (км/ч) - результат	Число	
Vn_ly (м/с)	Число		S4'_n (м)	Число		Vo_добавочная (км/ч)	Число	
Vo_n_f3 (м/с)	Число		S4'' (м)	Число		Анализ ДТП		
Vo_добавочная (м/с)	Число		S4''_n (м)	Число		Константы		
Vo_подъем (м/с)	Число		S4''' (м)	Число		g (м/с ²)	9.81	
Vo_подъем_n (м/с)	Число		S4'''_n (м)	Число		I грузового (м)	14	
Vo_уклон (м/с)	Число		S6_грузового (м)	Число		I легкового (м)	5	
Vo_уклон_n (м/с)	Число		S6_легкового (м)	Число		Кoeffициенты		
Vn (м/с)	Число		S6 (м)	Число		f (0,08 - 0,8)	Число	
Vподъем (м/с)	Число		Se_ly (м)	Число		f1 (0,08 - 0,8)	0.793104273	
Vподъем_n (м/с)	Число		Sd (м)	Число		f2 (0,08 - 0,8)	0,5	
Vсл (м/с)	Число		Sd' (м)	Число		f3 (0,08 - 0,8)	Число	
Vуклон (м/с)	Число		Sk (м)	Число		fn (0,08 - 0,8)	Число	
Vуклон_n (м/с)	Число		Sn (м)	Число		η (0,5 - 0,86)	Число	
Vю (м/с)	Число		Sn_ly (м)	Число		φ (0,015 - 0,3)	Число	
			Sосколков (м)	Число		Kз (1,0 - 1,6)	Число	

Рисунок П.2.13. Решение задачи №7: Определение коэффициента сцепления покрытия проезжей части с шинами ТС

Модель решения представлена на рисунке П.2.14 в виде графа.

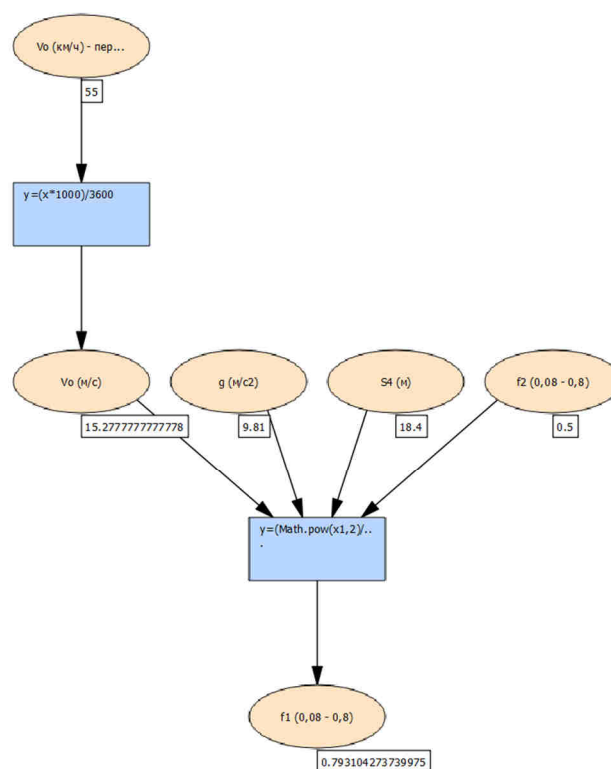


Рисунок П.2.14. Граф-решения задачи №7: Определение коэффициента сцепления покрытия проезжей части с шинами ТС

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 2 шагов:

Шаг № 0

Отношение: Перевод V (км/ч) $\rightarrow$ V (м/с)

Правило: V_0 (км/ч) $\rightarrow$ V_0 (м/с)

Входные параметры:

V_0 (км/ч) - перевод=55;

Формула:

$y = (x * 1000) / 3600$

Результат: V_0 (м/с)=15.2777777777778;

Шаг № 1

Отношение: f_1 , f_2 (в зависимости от V_0)

Правило: f_1 (в зависимости от V_0) - коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги

Входные параметры:

g (м/с²)=9.81;

S_4 (м)=18.4;

V_0 (м/с)=15.2777777777778;

f_2 (0,08 - 0,8)=0.5;

Формула:

$y = (\text{Math.pow}(x_1, 2) / (z_1 * z_2)) - x_2$

Результат: f_1 (0,08 - 0,8)=0.793104273739975;

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $f_1 = 0,79$.

Проведем проверку полученного результата, для этого необходимо произвести расчет вручную.

Осуществим перевод км/ч в м/с:

$$V_0 = \frac{55 \cdot 1000}{3600} \approx 15,28 \text{ м/с.}$$

Определим коэффициент сцепления колес с покрытием проезжей части дороги f_1 :

$$f_1 = \frac{V_0^2}{g \cdot S_4} - f_2 = \frac{15,28^2}{9,81 \cdot 18,4} - 0,5 = 0,79$$

Ответ: $f_1 = 0,79$.

Данные, полученные из ЭС «Анализ ДТП» более точны. Конечный ответ рассматриваемой задачи: $f_1 = 0,793104273739975$.

П.2.8. Задача №8: Установление факта нарушения ПДД по скоростному режиму

Задача №8: На дороге вне населенного пункта водитель легкового автомобиля пытался предотвратить встречное столкновение с автомобилем ЗИЛ-5301 с прицепом и начал экстренное торможение, оставив следы торможения на проезжей части длиной 37,5 м. Однако касательного столкновения с прицепом избежать не удалось. Автомобиль перевернулся на крышу и оставил следы скольжения на асфальтобетонном покрытии длиной 12,4 м. Далее автомобиль в перевернутом состоянии продолжал скользить по грязной обочине, зафиксировав на ней следы скольжения длиной 7,3 м. Было ли нарушение ПДД по скоростному режиму со стороны водителя легкового автомобиля?

Дано: $S_4' = 37,5 \text{ м}$; $S_4'' = 12,4 \text{ м}$; $S_4''' = 7,3 \text{ м}$; $f_1 = 0,75$; $f_2 = 0,4$; $f_3 = 0,35$;
 $SpeedLimit = 60 \text{ км/ч}$.

Найти: Установить было ли нарушение ПДД по скоростному режиму со стороны водителя легкового автомобиля.

Синим цветом отмечены константы.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
И ДТП			S6_грузового (м)	Число		fn (0,08 - 0,8)	Число	
И Характеристики ДТП и ТС			S6_легкового (м)	Число		η (0,5 - 0,86)	Число	
И Скорость ТС			Sв (м)	Число		φ (0,015 - 0,3)	Число	
ΔV (м/с)	Число		Sв_ly (м)	Число		Kз (1,0 - 1,6)	Число	
ΔV3 (м/с)	Число		Sд (м)	Число				
V (м/с)	Число		Sк (м)	Число				
V' (м/с)	Число		Sн (м)	Число				
V_n (м/с)	Число		Sн_ly (м)	Число				
Vo (м/с)	Число		Sосколков (м)	Число				
Vo_ф3 (м/с)	26.44346422		Sост (м)	Число				
Vo_n (м/с)	Число		Sп (м)	Число				
Vкр.з. (м/с)	Число		Sп' (м)	Число				
Vкр.о. (м/с)	Число		Sп'_ly (м)	Число				
Vн (м/с)	Число		Sпад (м)	Число				
Vн_ly (м/с)	Число		Sподъем (м)	Число				
Vo_n_ф3 (м/с)	Число		Sс (м)	Число				
Vo_добавочная (м/с)	Число		Sск (м)	Число				
Vo_подъем (м/с)	Число		Sсл (м)	Число				
Vo_подъем_n (м/с)	Число		Sт (м)	Число				
Vo_уклон (м/с)	Число		Sуд (м)	Число				
Vo_уклон_n (м/с)	Число		И Время					
Vп (м/с)	Число		V (км/ч) - результат	Число				
Vподъем (м/с)	Число		Vo (км/ч) - результат	95.19647119				
Vподъем_n (м/с)	Число		Vo_добавочная (км/ч)	Число				
Vсл (м/с)	Число		И Анализ ДТП					
Vуклон (м/с)	Число		ΔH_грузового (мм)	Текст				
Vуклон_n (м/с)	Число		ΔH_легкового (мм)	Текст				
Vю (м/с)	Число		BeltOFF	Текст				
И Перевод V (км/ч) — V (м/с)			BeltON	Текст				
И Путь ТС			И Р — предотвращение ДТП					
S1 (м)	Число		И Р_ly — предотвращение ДТП					
S2 (м)	Число		И Скоростной режим					
S3 (м)	Число		SpeedLimit (км/ч)	90				
S4 (м)	Число		Анализ SL V	Текст				
S4_n (м)	Число		Анализ SL Vo	ьблюдая скор				
S4_подъем (м)	Число		Анализ SL Vo_добавочная	Текст				
S4_подъем_n (м)	Число		И Константы					
S4_уклон (м)	Число		g (м/с²)	9.81				
S4_уклон_n (м)	Число		lгрузового (м)	14				
S4' (м)	37,5		lлегкового (м)	5				
S4'_n (м)	Число		И Коэффициенты					
S4'' (м)	12,4		f (0,08 - 0,8)	Число				
S4''_n (м)	Число		f1 (0,08 - 0,8)	0,75				
S4''' (м)	7,3		f2 (0,08 - 0,8)	0,4				
S4'''_n (м)	Число		f3 (0,08 - 0,8)	0,35				

Рисунок П.2.15. Решение задачи №8: Установление факта нарушения ПДД по скоростному режиму

Модель решения представлена на рисунке П.2.16 в виде графа.

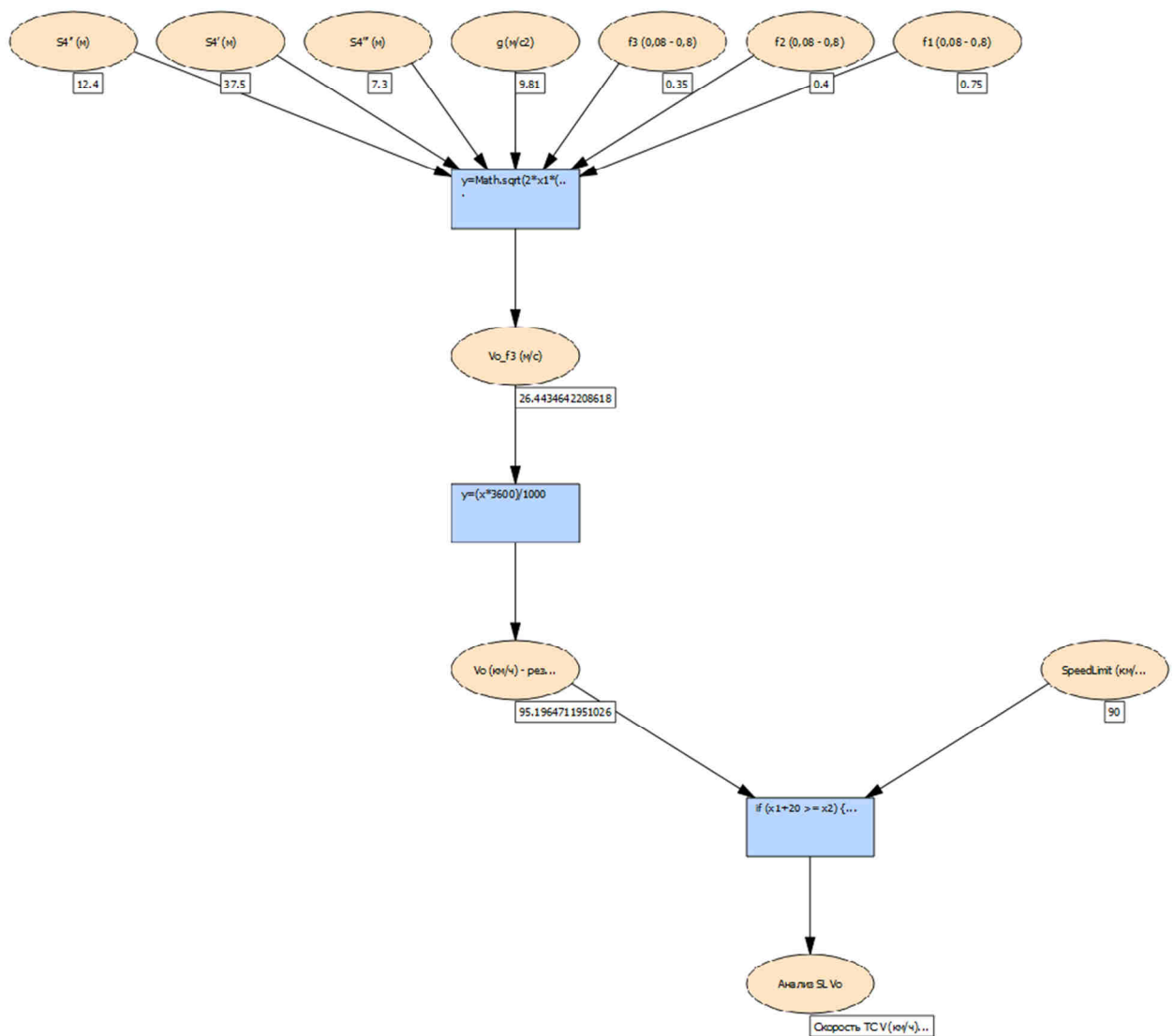


Рисунок П.2.16. Граф-решения задачи №8: Установление факта нарушения ПДД по скоростному режиму

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 3 шагов:

Шаг № 0

Отношение: V_{o_f3} (при скольжении $f1, f2, f3$) – скорость ТС перед началом торможения

Правило: V_{o_f3} (при скольжении $f1, f2, f3$) – скорость ТС перед началом торможения

Входные параметры:

$S4'''$ (м)=12.4;

$S4'$ (м)=37.5;

$S4'''$ (м)=7.3;

g (м/с²)=9.81;

$f3$ (0,08 - 0,8)=0.35;

$f2$ (0,08 - 0,8)=0.4;

$f1$ (0,08 - 0,8)=0.75;

Формула:

$y = \text{Math.sqrt}(2 * x1 * ((x2 * x3) + (x4 * x5) + (x6 * x7)))$

Результат: V_{o_f3} (м/с)=26.4434642208618;

Шаг № 1

Отношение: Перевод V (м/с) $\rightarrow$ V (км/ч)

Правило: V_{o_f3} (м/с) $\rightarrow$ V_o (км/ч)

Входные параметры:

V_{o_f3} (м/с)=26.4434642208618;

Формула:

$y=(x*3600)/1000$

Результат: V_o (км/ч) - результат=95.1964711951026;

Шаг № 2

Отношение: **SpeedLimit** - ограничение максимальной скорости

Правило: Анализ **SL** V_o - параметр определяющий нарушение скоростного режима водителем по V_o

Входные параметры:

SpeedLimit (км/ч)=90;

V_o (км/ч) - результат=95.1964711951026;

Формула:

if ($x_1 \geq x_2$) { y = 'Скорость ТС V (км/ч) $\leq$ **SpeedLimit**, Водитель соблюдал скоростной режим';} else { y = 'Скорость ТС V (км/ч) $\geq$ **SpeedLimit**, Водитель не соблюдал скоростной режим';}

Результат: Анализ **SL** V_o -дополнительная=Скорость ТС V (км/ч) $>$ **SpeedLimit**, Водитель не соблюдал скоростной режим;

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $V_o = 95,20$ км/ч. Водитель не соблюдал скоростной режим.

Проведем проверку полученного результата, для этого необходимо произвести расчет вручную.

Определим скорость автомобиля перед началом торможения V_o :

$$V_o = \sqrt{2 \cdot g \cdot (f_1 \cdot S'_4 + f_2 \cdot S''_4 + f_3 \cdot S'''_4)} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (0,75 \cdot 37,5 + 0,4 \cdot 12,4 + 0,35 \cdot 7,3)} \approx 26,44 \text{ м/с.}$$

Осуществим перевод м/с в км/ч:

$$V_o = \frac{26,44 \cdot 3600}{1000} \approx 95,18 \text{ км/ч.}$$

Сравним скорость ТС перед началом торможения с допустимой скоростью вне населенных пунктов:

$$V_o < \text{SpeedLimit} = 95,18 \text{ км/ч} > 90 \text{ км/ч.}$$

Ответ: Водитель не соблюдал скоростной режим.

Так как в проверочном «ручном» расчете использовалось округление до сотых, то величина скорости ТС перед началом торможения при уклоне представлена с погрешностью, которая составила 0,01 км/ч. Таким образом, данные, полученные из ЭС «Анализ ДТП» более точны.

П.2.9. Задача №9: Определение скорости ТС перед торможением

Задача №9: При расследовании ДТП было выявлено, что автомобиль, совершивший наезд на препятствие, оставил следы скольжения колес длиной 12,5 м сначала на поверхности асфальтового покрытия, а затем длиной 8,3 м на грунтовой обочине. Определение скорости ТС перед торможением.

Дано: $S_4' = 12,5 \text{ м}$; $S_4'' = 8,3 \text{ м}$; $f_1 = 0,75$; $f_2 = 0,55$;

Найти: V_0 .

Решение: Введенные данные с полученным результатом представлены на рисунке П.2.17. Черным цветом отмечены введенные данные. Красным цветом отмечены результаты, которые были получены в процессе расчета. Синим цветом отмечены константы.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП			Перевод $V \text{ (км/ч)} \rightarrow V \text{ (м/с)}$			$S_n' \text{ (м)}$	Число	
I Характеристики ДТП и ТС			III Путь ТС			$S_n'_{ly} \text{ (м)}$	Число	
II Скорость ТС			$S_1 \text{ (м)}$	Число		$S_{пад} \text{ (м)}$	Число	
$\Delta V \text{ (м/с)}$	Число		$S_2 \text{ (м)}$	Число		$S_{подъем} \text{ (м)}$	Число	
$\Delta V_3 \text{ (м/с)}$	Число		$S_3 \text{ (м)}$	Число		$S_c \text{ (м)}$	Число	
$V \text{ (м/с)}$	Число		$S_4 \text{ (м)}$	Число		$S_{ск} \text{ (м)}$	Число	
$V' \text{ (м/с)}$	Число		$S_{4_n} \text{ (м)}$	Число		$S_{сл} \text{ (м)}$	Число	
$V_n \text{ (м/с)}$	Число		$S_{4_подъем} \text{ (м)}$	Число		$S_t \text{ (м)}$	Число	
$V_{0_f3} \text{ (м/с)}$	Число		$S_{4_подъем_n} \text{ (м)}$	Число		$S_{уд} \text{ (м)}$	Число	
$V_{0_n} \text{ (м/с)}$	Число		$S_{4_уклон} \text{ (м)}$	Число		IV Время		
$V_{кр.з.} \text{ (м/с)}$	Число		$S_{4_уклон_n} \text{ (м)}$	Число		$V \text{ (км/ч)} - \text{результат}$	Число	
$V_{кр.о.} \text{ (м/с)}$	Число		$S_4' \text{ (м)}$	Число		$V_0 \text{ (км/ч)} - \text{результат}$	Число	
$V_n \text{ (м/с)}$	Число		$S_4'' \text{ (м)}$	Число		$V_{0_добавочная} \text{ (км/ч)}$	Число	
$V_{n_ly} \text{ (м/с)}$	Число		$S_4''' \text{ (м)}$	Число		Анализ ДТП		
$V_{0_n_f3} \text{ (м/с)}$	Число		$S_4''_{n} \text{ (м)}$	Число		Константы		
$V_{0_добавочная} \text{ (м/с)}$	Число		$S_4''' \text{ (м)}$	Число		$g \text{ (м/с}^2\text{)}$	Число	
$V_{0_подъем} \text{ (м/с)}$	Число		$S_4'''_{n} \text{ (м)}$	Число		$l_{грузового} \text{ (м)}$	Число	
$V_{0_подъем_n} \text{ (м/с)}$	Число		$S_6_{грузового} \text{ (м)}$	Число		$l_{легкового} \text{ (м)}$	Число	
$V_{0_уклон} \text{ (м/с)}$	Число		$S_6_{легкового} \text{ (м)}$	Число		Коэффициенты		
$V_{0_уклон_n} \text{ (м/с)}$	Число		$S_6 \text{ (м)}$	Число		$f \text{ (0,08 - 0,8)}$	Число	
$V_n \text{ (м/с)}$	Число		$S_6_{ly} \text{ (м)}$	Число		$f_1 \text{ (0,08 - 0,8)}$	Число	
$V_{подъем} \text{ (м/с)}$	Число		$S_4 \text{ (м)}$	Число		$f_2 \text{ (0,08 - 0,8)}$	Число	
$V_{подъем_n} \text{ (м/с)}$	Число		$S_{ск} \text{ (м)}$	Число		$f_3 \text{ (0,08 - 0,8)}$	Число	
$V_{сл} \text{ (м/с)}$	Число		$S_n \text{ (м)}$	Число		$f_n \text{ (0,08 - 0,8)}$	Число	
$V_{уклон} \text{ (м/с)}$	Число		$S_{n_ly} \text{ (м)}$	Число		$\eta \text{ (0,5 - 0,86)}$	Число	
$V_{уклон_n} \text{ (м/с)}$	Число		$S_{осколков} \text{ (м)}$	Число		$\varphi \text{ (0,015 - 0,3)}$	Число	
$V_{ю} \text{ (м/с)}$	Число		$S_{ост} \text{ (м)}$	Число		$K_3 \text{ (1,0 - 1,6)}$	Число	
			$S_n \text{ (м)}$	Число				

Рисунок П.2.17. Решение задачи №9: Определение скорости ТС перед торможением

Модель решения представлена на рисунке П.2.18 в виде графа.

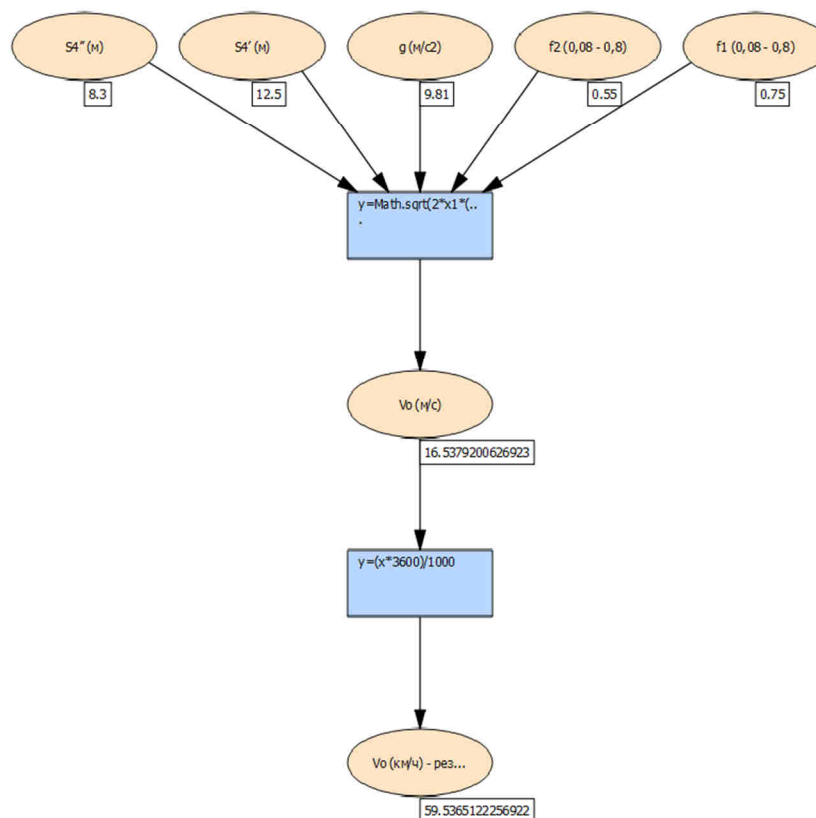


Рисунок П.2.18. Граф-решения задачи №9: Определение скорости ТС перед торможением

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 2 шагов:

Шаг № 0

Отношение: V_0 (при скольжении f_1, f_2) – скорость ТС перед началом торможения

Правило: V_0 (при скольжении f_1, f_2) – скорость ТС перед началом торможения при скольжении S_4', S_4''

Входные параметры:

S_4'' (м)=8.3;

S_4' (м)=12.5;

g (м/с²)=9.81;

f_2 (0,08 - 0,8)=0.55;

f_1 (0,08 - 0,8)=0.75;

Формула:

$y = \text{Math.sqrt}(2 * x_1 * ((x_2 * x_3) + (x_4 * x_5)))$

Результат: V_0 (м/с)=16.5379200626923;

Шаг № 1

Отношение: Перевод V (м/с) → V (км/ч)

Правило: V_0 (м/с) → V_0 (км/ч)

Входные параметры:

V_0 (м/с)=16.5379200626923;

Формула:

$y = (x * 3600) / 1000$

Результат: V_0 (км/ч) - результат=59.5365122256922;

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $V_0 = 59,54$ км/ч.

Проведем проверку полученного результата, для этого необходимо произвести расчет вручную.

Определим скорость автомобиля перед началом торможения V_0 :

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (f_1 \cdot S_4' + f_2 \cdot S_4'')} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (0,75 \cdot 12,5 + 0,55 \cdot 8,3)} \approx 16,54 \text{ м/с.}$$

Осуществим перевод м/с в км/ч:

$$V_0 = \frac{16,54 \cdot 3600}{1000} \approx 59,54 \text{ км/ч.}$$

Ответ: $V_0 = 59,54$ км/ч.

Данные, полученные из ЭС «Анализ ДТП» более точны. Конечный ответ рассматриваемой задачи: $V_0 = 59.5365122256922$ км/ч.

П.2.10. Задача №10: Определение максимальной скорости движения ТС на криволинейном участке

Задача №10: С какой максимальной скоростью без заносов может двигаться автомобиль по внутреннему кольцу на уплотненном снежном покрытии дороги с параметрами: радиус поворота 200 м, поперечный уклон дороги 70, ширина проезжей части 7 м.

Дано: $R_B = 200 \text{ м}$; $\Theta = 7^\circ$; $\omega = 7 \text{ м}$; $f = 0,25$.

Найти: $V_{кр.з.}$

Решение: Введенные данные с полученным результатом представлены на рисунке П.2.19. Черным цветом отмечены введенные данные. Красным цветом отмечены результаты, которые были получены в процессе расчета. Синим цветом отмечены константы.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП								
I Характеристики ДТП и ТС								
I Характеристики ДТП								
i (град)	Число	☐	Vкр.о. (м/с)	Число	☐	g (м/с ²)	9.81	☐
R (м)	Число	☐	Vн (м/с)	Число	☐	Iгрузового (м)	14	☐
RoadSlope (%)	Число	☐	Vн_lу (м/с)	Число	☐	Iлегкового (м)	5	☐
Rв (м)	200	☐	Vo_n_f3 (м/с)	Число	☐	Кoeffициенты		
Rн (м)	Число	☐	Vo_добавочная (м/с)	Число	☐	f (0,08 - 0,8)	0,25	☐
Ручч.дороги (м)	Число	☐	Vo_подъем (м/с)	Число	☐	f1 (0,08 - 0,8)	Число	☐
α (град)	Число	☐	Vo_подъем_n (м/с)	Число	☐	f2 (0,08 - 0,8)	Число	☐
ε (рад)	Число	☐	Vo_уклон (м/с)	Число	☐	f3 (0,08 - 0,8)	Число	☐
Θ (град)	7	☐	Vo_уклон_n (м/с)	Число	☐	fn (0,08 - 0,8)	0.2	☐
ω (м)	7,5	☐	Vп (м/с)	Число	☐	η (0,5 - 0,86)	Число	☐
II Характеристика ТС			Vподъем (м/с)	Число	☐	φ (0,015 - 0,3)	Число	☐
II Скорость ТС			Vподъем_n (м/с)	Число	☐	Kα (1,0 - 1,6)	Число	☐
ΔV (м/с)	Число	☐	Vсл (м/с)	Число	☐			
ΔV3 (м/с)	Число	☐	Ууклон (м/с)	Число	☐			
V (м/с)	Число	☐	Ууклон_n (м/с)	Число	☐			
V' (м/с)	Число	☐	Vю (м/с)	Число	☐			
V_n (м/с)	Число	☐	Перевод V (км/ч) → V (м/с)					
Vo (м/с)	Число	☐	III Путь ТС					
Vo_f3 (м/с)	Число	☐	IV Время					
Vo_n (м/с)	Число	☐	V (км/ч) - результат	71.31271976	☒			
Vкр.з. (м/с)	19.80908882	☐	Vo (км/ч) - результат	Число	☐			
			Vo_добавочная (км/ч)	Число	☐			
			Анализ ДТП					
			Константы					

Рисунок П.2.19. Решение задачи №10: Определение максимальной скорости движения ТС на криволинейном участке

Модель решения представлена на рисунке П.2.20 в виде графа.

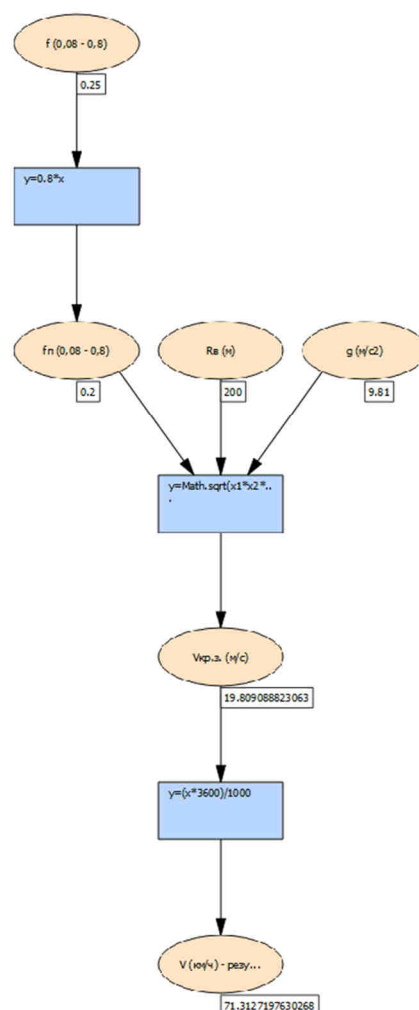


Рисунок П.2.20. Граф-решения задачи №10: Определение максимальной скорости движения ТС на криволинейном участке

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 3 шагов:

Шаг № 0

Отношение: f_{Π} - коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении

Правило: f_{Π} - коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении

Входные параметры:

$f (0,08 - 0,8)=0.25;$

Формула:

$y=0.8 \cdot x$

Результат: $f_{\Pi} (0,08 - 0,8)=0.2;$

Шаг № 1

Отношение: $V_{кр.з.}$ - максимальная скорость движения автомобиля на криволинейном участке

Правило: $V_{кр.з.}$ (в зависимости от $R_{в}$) - максимальная скорость движения автомобиля на криволинейном участке

Входные параметры:

$R_{в} (м)=200;$

$g (м/с^2)=9.81;$

$f_{\Pi} (0,08 - 0,8)=0.2;$

Формула:

$y= \text{Math.sqrt}(x1 \cdot x2 \cdot x3)$

Результат: $V_{кр.з.} (м/с)=19.809088823063;$

Шаг № 2

Отношение: Перевод $V (м/с) \rightarrow V (км/ч)$

Правило: $V_{кр.з.} (м/с) \rightarrow V (км/ч)$

Входные параметры:

$V_{кр.з.} (м/с)=19.809088823063;$

Формула:

$y=(x \cdot 3600)/1000$

Результат: $V (км/ч) - \text{результат}=71.3127197630268;$

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $V_{кр.з.} = 71,31 \text{ км/ч.}$

Проведем проверку полученного результата, для этого необходимо произвести расчет вручную.

Определим коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении f_{Π} :

$$f_{\Pi} = 0,8 \cdot f = 0,8 \cdot 0,25 = 0,2$$

Определим максимальную скорость движения автомобиля на криволинейном участке (критическую скорость, с которой можно вести автомобиль без опасности заноса) $V_{кр.з.}$:

$$V_{кр.з.} = \sqrt{g \cdot f_{II} \cdot R_B} = \sqrt{9,81 \cdot 0,2 \cdot 200} \approx 19,81 \text{ м/с.}$$

Осуществим перевод м/с в км/ч:

$$V_{кр.з.} = \frac{19,81 \cdot 3600}{1000} \approx 71,32 \text{ км/ч.}$$

Ответ: $V_{кр.з.} = 71,32 \text{ км/ч.}$

Так как в проверочном «ручном» расчете использовалось округление до сотых, то величина максимальной скорости движения автомобиля на криволинейном участке представлена с погрешностью, которая составила 0,01 км/ч. Таким образом, данные, полученные из ЭС «Анализ ДТП» более точны. Конечный ответ рассматриваемой задачи: $V_{кр.з.} = 71,3127197630268 \text{ км/ч.}$

П.2.11. Задача №11: Определение критической скорости опрокидывания снаряженного ТС

Задача №11: Предполагая, что коэффициент сцепления шин с дорогой достаточен для предотвращения бокового заноса, определить критическую скорость опрокидывания снаряженного автомобиля Москвич-2141 при движении на горизонтальном участке дороги радиусом 100 м.

Дано: $R_{уч.дороги} = 100 \text{ м}$; $h_C = 0,57 \text{ м}$; $B = 1,23 \text{ м}$ (данные взяты из таблицы 3.5.4.2).

Найти: $V_{кр.о.}$

Решение: Введенные данные с полученным результатом представлены на рисунке П.2.21. Черным цветом отмечены введенные данные. Красным цветом отмечены результаты, которые были получены в процессе расчета. Синим цветом отмечены константы.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП			Ав (Н-м)	Число	☐	Уклон_п (м/с)	Число	☐
I Характеристики ДТП и ТС			Ак (Н-м)	Число	☐	Ую (м/с)	Число	☐
Характеристика ДТП			Ап (Н-м)	Число	☐	Перевод V (км/ч) → V (м/с)		
i (рад)	Число	☐	Ас (Н-м)	Число	☐	III Путь ТС		
R (м)	Число	☐	II Скорость ТС			IV Время		
RoadSlope (%)	Число	☐	ΔV (м/с)	Число	☐	V (км/ч) - результат	117.1216371	☒
Rв (м)	Число	☐	ΔV3 (м/с)	Число	☐	Vo (км/ч) - результат	Число	☐
Rн (м)	Число	☐	V (м/с)	Число	☐	Vo_добавочная (км/ч)	Число	☐
Руч.дороги (м)	100	☐	V' (м/с)	Число	☐	Анализ ДТП		
α (град)	Число	☐	V_n (м/с)	Число	☐	Константы		
ε (рад)	Число	☐	Vo (м/с)	Число	☐	g (м/с²)	9.81	☐
Θ (град)	Число	☐	Vo_f3 (м/с)	Число	☐	Iгрузового (м)	14	☐
ω (м)	Число	☐	Vo_n (м/с)	Число	☐	Iлегкового (м)	5	☐
Характеристика ТС			Vкр.з. (м/с)	Число	☐	Коэффициенты		
B (м)	1,23	☐	Vкр.о. (м/с)	32.53378810	☐			
hc (м)	0,57	☐	Vn (м/с)	Число	☐			
hстекла (м)	Число	☐	Vn_lу (м/с)	Число	☐			
jmax (м/с²)	Число	☐	Vo_n_f3 (м/с)	Число	☐			
jсл (м/с²)	Число	☐	Vo_подъем (м/с)	Число	☐			
L (м)	Число	☐	Vo_подъем_n (м/с)	Число	☐			
La (м)	Число	☐	Vo_уклон (м/с)	Число	☐			
Lb (м)	Число	☐	Vo_уклон_n (м/с)	Число	☐			
lx (м)	0	☐	Vn (м/с)	Число	☐			
ly (м)	Число	☐	Vподъем (м/с)	Число	☐			
M (кг)	Число	☐	Vподъем_n (м/с)	Число	☐			
M1 (кг)	Число	☐	Vсл (м/с)	Число	☐			
M2 (кг)	Число	☐	Уклон (м/с)	Число	☐			
ΔX (м)	Число	☐						
ΔY (м)	Число	☐						

Рисунок П.2.21. Решение задачи №11: Определение критической скорости опрокидывания снаряженного ТС

Модель решения представлена на рисунке П.2.22 в виде графа.

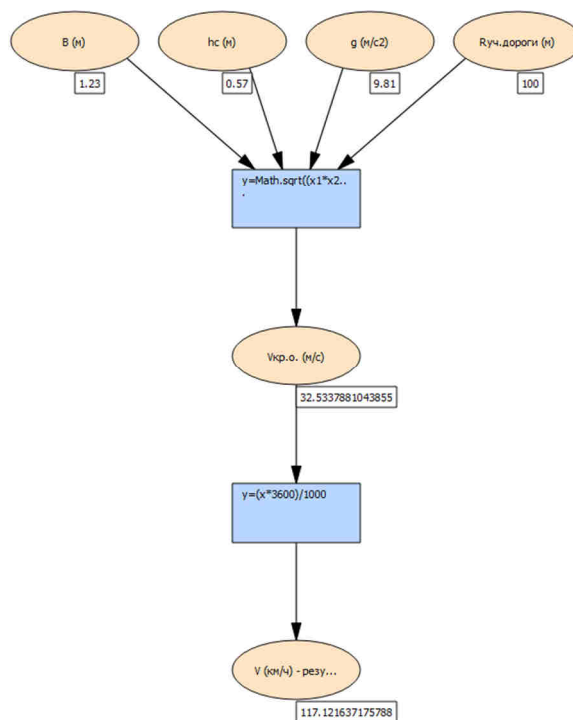


Рисунок П.2.22. Граф-решения задачи №11: Определение критической скорости опрокидывания снаряженного ТС

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 2 шагов:

Шаг № 0

Отношение: $V_{кр.о.}$ (с учетом B – ширина колеи) – критическая скорость по условиям опрокидывания

Правило: $V_{кр.о.}$ (в зависимости от $R_{уч.дороги}$ с учетом B) – критическая скорость по условиям опрокидывания

Входные параметры:

B (м)=1.23;

h_c (м)=0.57;

g (м/с²)=9.81;

$R_{уч.дороги}$ (м)=100;

Формула:

$y = \text{Math.sqrt}((x1 \cdot x2 \cdot x3) / (2 \cdot z))$

Результат: $V_{кр.о.}$ (м/с)=32.5337881043855;

Шаг № 1

Отношение: Перевод V (м/с) $\rightarrow V$ (км/ч)

Правило: $V_{кр.о.}$ (м/с) $\rightarrow V$ (км/ч)

Входные параметры:

$V_{кр.о.}$ (м/с)=32.5337881043855;

Формула:

$y = (x \cdot 3600) / 1000$

Результат: V (км/ч) - результат=117.121637175788;

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $V_{кр.о} = 117,12$ км/ч.

Проведем проверку полученного результата, для этого необходимо произвести расчет вручную.

Определим критическую скорость опрокидывания снаряженного ТС $V_{кр.о.}$:

$$V_{кр.о.} = \sqrt{\frac{g \cdot R_{уч.дороги} \cdot B}{2 \cdot h_c}} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 100 \cdot 1,23}{2 \cdot 0,57}} \approx 32,53 \text{ м/с.}$$

Осуществим перевод м/с в км/ч:

$$V_{кр.о.} = \frac{32,53 \cdot 3600}{1000} \approx 117,11 \text{ км/ч.}$$

Ответ: $V_{кр.о} = 117,11$ км/ч.

Так как в проверочном «ручном» расчете использовалось округление до сотых, то величина критической скорости опрокидывания снаряженного автомобиля представлена с погрешностью, которая составила 0,01 км/ч.

Таким образом, данные, полученные из ЭС «Анализ ДТП» более точны. Конечный ответ рассматриваемой задачи: $V_{кр.о} = 117,121637175788 \text{ км/ч}$.

П.2.12. Задача №12: Определение коэффициента сцепления покрытия на криволинейном участке дороги без поперечного уклона

Задача №12: Определить коэффициент сцепления покрытия на криволинейном участке дороги без поперечного уклона радиусом 35 м, если было установлено, что критическая скорость движения по заносу 53 км/ч.

Дано: $R_{уч.дороги} = 35\text{м}$; $V_{кр.з.} = 53 \text{ км/ч}$.

Найти: $f_{п}$.

Решение: Введенные данные с полученным результатом представлены на рисунке П.2.23. Черным цветом отмечены введенные данные. Красным цветом отмечены результаты, которые были получены в процессе расчета. Синим цветом отмечены константы.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП			Vп (м/с)	Число	☐
I Характеристики ДТП и ТС			Vподъем (м/с)	Число	☐
Характеристика ДТП			Vподъем_n (м/с)	Число	☐
i (рад)	Число	☐	Vсл (м/с)	Число	☐
R (м)	Число	☐	Vуклон (м/с)	Число	☐
RoadSlope (%)	Число	☐	Vуклон_n (м/с)	Число	☐
Rв (м)	Число	☐	Vю (м/с)	Число	☐
Rн (м)	Число	☐	Перевод V (км/ч) → V (м/с)		
Rуч.дороги (м)	35	☐	V (км/ч) - перевод	53	☐
α (град)	Число	☐	Vo (км/ч) - перевод	Число	☐
ε (рад)	Число	☐	III Путь ТС		
Θ (град)	Число	☐	IV Время		
ω (м)	Число	☐	V (км/ч) - результат	Число	☐
Характеристика ТС			Vo (км/ч) - результат	Число	☐
II Скорость ТС			Vo_добавочная (км/ч)	Число	☐
ΔV (м/с)	Число	☐	Анализ ДТП		
ΔVЗ (м/с)	Число	☐	Константы		
V (м/с)	Число	☐	g (м/с²)	9.81	☐
V' (м/с)	Число	☐	Iгрузового (м)	14	☐
V_n (м/с)	Число	☐	Iлегкового (м)	5	☐
Vo (м/с)	Число	☐	Коэффициенты		
Vo_f3 (м/с)	Число	☐	f (0,08 - 0,8)	Число	☐
Vo_n (м/с)	Число	☐	f1 (0,08 - 0,8)	Число	☐
Vкр.з. (м/с)	14.72222222	☐	f2 (0,08 - 0,8)	Число	☐
Vкр.о. (м/с)	Число	☐	f3 (0,08 - 0,8)	Число	☐
Vн (м/с)	Число	☐	fn (0,08 - 0,8)	0.631262056	☒
Vн_lу (м/с)	Число	☐	η (0,5 - 0,86)	Число	☐
Vo_n_f3 (м/с)	Число	☐	φ (0,015 - 0,3)	Число	☐
Vo_добавочная (м/с)	Число	☐	Kз (1,0 - 1,6)	Число	☐
Vo_подъем (м/с)	Число	☐			
Vo_подъем_n (м/с)	Число	☐			
Vo_уклон (м/с)	Число	☐			
Vo_уклон_n (м/с)	Число	☐			

Рисунок П.2.23. Решение задачи №12: Определение коэффициента сцепления покрытия на криволинейном участке дороги без поперечного уклона

Модель решения представлена на рисунке П.2.24 в виде графа.

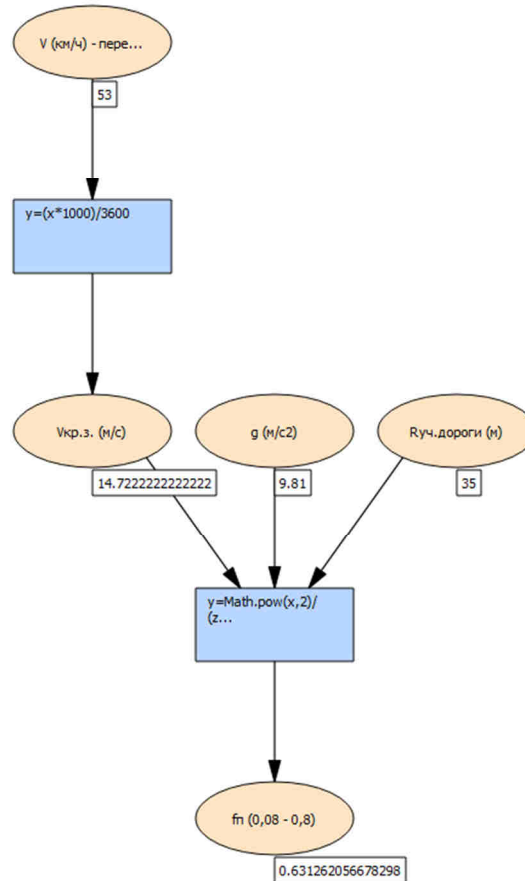


Рисунок П.2.24. Граф-решения задачи №12: Определение коэффициента сцепления покрытия на криволинейном участке дороги без поперечного уклона

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 2 шагов:

Шаг № 0

Отношение: Перевод V (км/ч) $\rightarrow$ V (м/с)

Правило: V (км/ч) $\rightarrow$ $V_{кр.з.}$ (м/с)

Входные параметры:

V (км/ч) - перевод=53;

Формула:

$y=(x*1000)/3600$

Результат: $V_{кр.з.}$ (м/с)=14.7222222222222;

Шаг № 1

Отношение: $f_{п}$ (с учетом R_h), $f_{п}$ (с учетом R_v), $f_{п}$ (с учетом $R_{уч.дороги}$), R_h , R_v , $R_{уч.дороги}$ – в зависимости от $V_{кр.з.}$

Правило: $f_{п}$ (с учетом $R_{уч.дороги}$ в зависимости от $V_{кр.з.}$) – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении

Входные параметры:

g (м/с²)=9.81;

$R_{уч.дороги}$ (м)=35;

$V_{кр.з.}$ (м/с)=14.7222222222222;

Формула:

$y=Math.pow(x, 2)/(z1*z2)$

Результат: $f_{\Pi} (0,08 - 0,8)=0.631262056678298;$

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $f_{\Pi} = 0,63$.

Проведем проверку полученного результата, для этого необходимо произвести расчет вручную.

Осуществим перевод км/ч в м/с:

$$V_0 = \frac{53 \cdot 1000}{3600} \approx 14,72 \text{ м/с.}$$

Определим коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении f_{Π} :

$$f_{\Pi} = \frac{V_{кр.з.}^2}{g \cdot R_{уч.дороги}} = \frac{14,72^2}{9,81 \cdot 35} = 0,63$$

Ответ: $f_{\Pi} = 0,63$

Данные, полученные из ЭС «Анализ ДТП» более точны. Конечный ответ рассматриваемой задачи: $f_{\Pi} = 0,631262056678298$.

П.2.13. Задача №13: Определение технической возможности водителя в избежании наезда на пешехода

Задача №13: Автомобиль ГАЗ-2410, двигавшийся со скоростью 79,2 км/ч на расстоянии 5 м от левой границы проезжей части, совершил наезд на пешехода, пересекающего улицу слева направо со скоростью 7,2 км/ч. Габаритная ширина автомобиля составляет 1,8 м. Максимальное замедление, которого можно достигнуть в данных дорожных условиях 4,9 м/с². Время реакции водителя 0,2 с, время запаздывания срабатывания тормозного привода 0,6 с, время нарастания замедления 0,4 с. Требуется определить, была ли у водителя в сложившейся ситуации техническая возможность избежать наезда на пешехода? Удар пешеходу нанесен «ближним» углом автомобиля.

Дано: $V_{\Pi} = 7,2 \text{ км/ч}; j_{max} = 4,9 \text{ м/с}^2; t_1 = 0,2 \text{ с}; t_2 = 0,6 \text{ с}; t_3 = 0,4 \text{ с}; V_0 = 79,2 \text{ км/ч}; S_{\Pi} = 5 \text{ м}; \Delta Y = 5 \text{ м}; l_y = 0,5 \text{ м}; l_x = 0 \text{ м}; B = 1,8 \text{ м}$ (данные взяты из таблицы 3.5.4.2).

Найти: Определить, была ли у водителя в сложившейся ситуации техническая возможность избежать наезда на пешехода.

Решение: Введенные данные с полученным результатом представлены на рисунке П.2.25. Черным цветом отмечены введенные данные. Красным цветом отмечены результаты, которые были получены в процессе расчета. Синим цветом отмечены константы.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
- ДТП - I Характеристики ДТП и ТС - Характеристика ДТП - Характеристика ТС - B (м) 1,8 - hс (м) Число - hстекла (м) Число - jmax (м/с²) 4,9 - jсл (м/с²) Число - L (м) Число - La (м) Число - Lb (м) Число - lx (м) 0 - ly (м) 0,5 - M (кг) Число - M1 (кг) Число - M2 (кг) Число - ΔX (м) Число - ΔY (м) 5 - Ав (Н·м) Число - Ак (Н·м) Число - Ап (Н·м) Число - Ас (Н·м) Число - II Скорость ТС - ΔV (м/с) Число - ΔV3 (м/с) Число - V (м/с) Число - V' (м/с) Число - V_n (м/с) Число - Vo (м/с) 22 - Vo_г3 (м/с) Число - Vo_n (м/с) Число - Vкр.з. (м/с) Число - Vкр.о. (м/с) Число - Vн (м/с) Число - Vн_ly (м/с) Число - Vo_n_г3 (м/с) Число - Vo_добавочная (м/с) Число - Vo_подъем (м/с) Число - Vo_подъем_n (м/с) Число - Vo_уклон (м/с) Число - Vo_уклон_n (м/с) Число			- Vn (м/с) 2 - Vподъем (м/с) Число - Vподъем_n (м/с) Число - Vсл (м/с) Число - Vуклон (м/с) Число - Vуклон_n (м/с) Число - Vю (м/с) Число - Перевод V (км/ч) → V (м/с) - V (км/ч) - перевод 7,2 - Vo (км/ч) - перевод 79,2 - III Путь ТС - S1 (м) Число - S2 (м) Число - S3 (м) Число - S4 (м) Число - S4_n (м) Число - S4_подъем (м) Число - S4_подъем_n (м) Число - S4_уклон (м) Число - S4_уклон_n (м) Число - S4' (м) Число - S4'_n (м) Число - S4'' (м) Число - S4''_n (м) Число - S4''' (м) Число - S4'''_n (м) Число - S6_грузового (м) Число - S6_легкового (м) Число - Se (м) Число - Se_ly (м) 60,5 - Sd (м) Число - Sk (м) Число - Sn (м) Число - Sn_ly (м) Число - Сосколков (м) Число - Sост (м) 71.38775510 - Sn (м) 5 - Sn' (м) Число - Sn'_ly (м) Число - Sпад (м) Число - Sподъем (м) Число			- Sc (м) Число - Sck (м) Число - Scl (м) Число - St (м) Число - Sуд (м) Число - IV Время - a (дел) Число - b (дел) Число - c (дел) Число - d (дел) Число - e (дел) Число - mtj (м/с²·дел) Число - mt (с/дел) Число - tΣ (с) 1 - t1 (с) 0,2 - t2 (с) 0,6 - t3 (с) 0,4 - t4 (с) Число - te (с) Число - te_ly (с) 2,75 - td (с) Число - tn' (с) Число - tn'_ly (с) Число - top (с) Число - tosколков (с) Число - tcl (с) Число - tt (с) Число - V (км/ч) - результат Число - Vo (км/ч) - результат Число - Vo_добавочная (км/ч) Число - Анализ ДТП - ΔH_грузового (мм) Текст - ΔH_легкового (мм) Текст - BeltOFF Текст - BeltON Текст - P - предотвращение ДТП - P_ly - предотвращение ДТП - P_ly (Sост < Se_ly, Sост > Se_ly) пешехода, а ☒ - P_ly (Sn'_ly < ΔX, Sn'_ly > ΔX) Текст - P_ly (te_ly < tΣ, te_ly > tΣ) Текст - Скоростной режим - Коэффициенты		

Рисунок П.2.25. Решение задачи №13: Определение максимальной скорости движения ТС на криволинейном участке

Модель решения представлена на рисунке П.2.26 в виде графа.

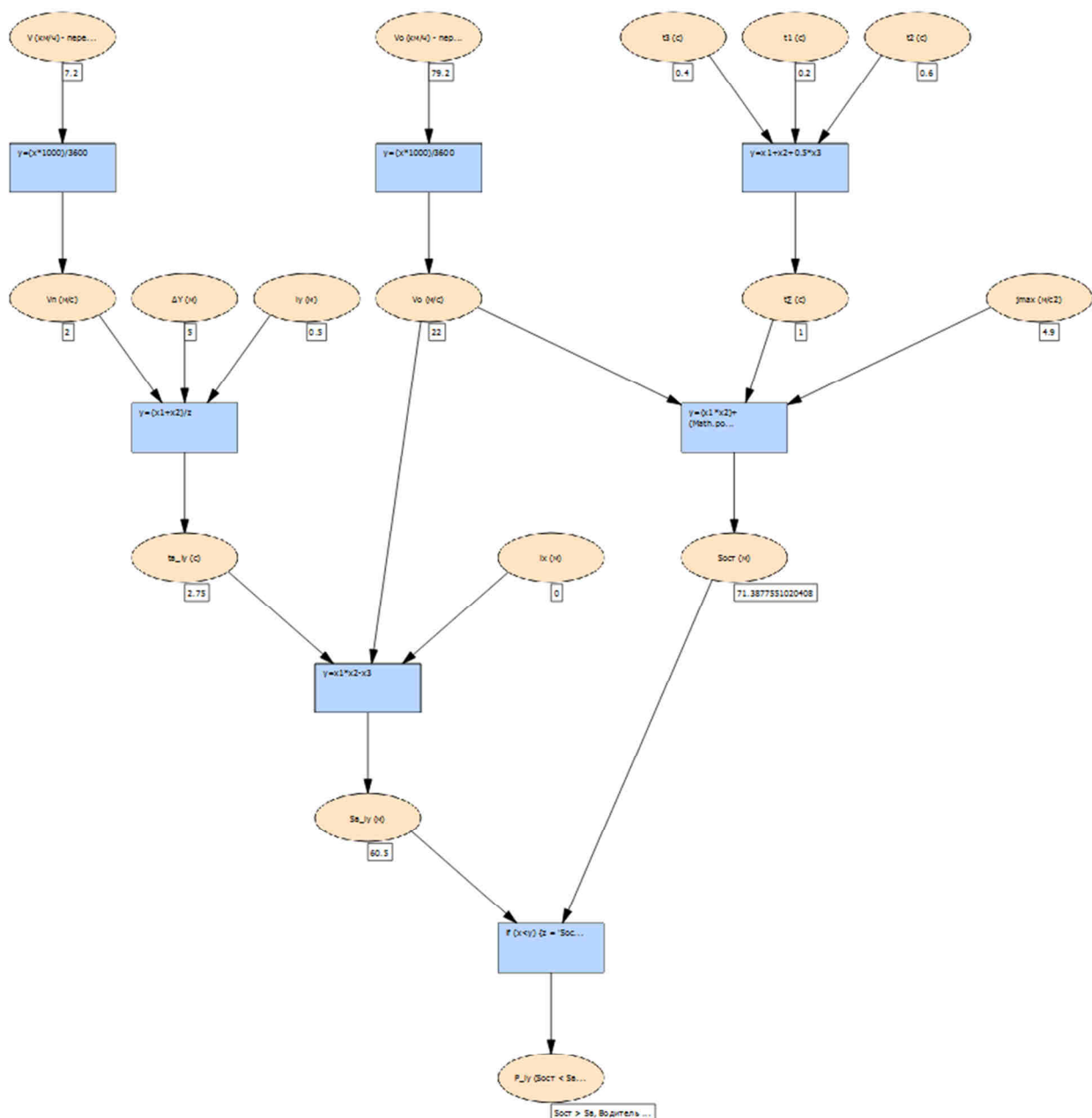


Рисунок П.2.26. Граф-решения задачи №13: Определение максимальной скорости движения ТС на криволинейном участке

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 7 шагов:

Шаг № 0

Отношение: Перевод V (км/ч) $\rightarrow$ V (м/с)

Правило: V (км/ч) $\rightarrow$ $V_{п}$ (м/с)

Входные параметры:

V (км/ч) - перевод=7.2;

Формула:

$y = (x * 1000) / 3600$

Результат: $V_{п}$ (м/с)=2;

Шаг № 1

Отношение: $t_{в_ly}$ - время видимости пешехода в зависимости от ly

Правило: $t_{в_ly}$ - время видимости пешехода в зависимости от ly

Входные параметры:

$V_{\text{п}} \text{ (м/с)} = 2;$

$\Delta Y \text{ (м)} = 5;$

$l_y \text{ (м)} = 0.5;$

Формула:

$y = (x_1 + x_2) / z$

Результат: $t_{\text{в}_ly} \text{ (с)} = 2.75;$

Шаг № 2

Отношение: Перевод $V \text{ (км/ч)} \rightarrow V \text{ (м/с)}$

Правило: $V_0 \text{ (км/ч)} \rightarrow V_0 \text{ (м/с)}$

Входные параметры:

$V_0 \text{ (км/ч)} - \text{перевод} = 79.2;$

Формула:

$y = (x * 1000) / 3600$

Результат: $V_0 \text{ (м/с)} = 22;$

Шаг № 3

Отношение: $S_{\text{в}}, S_{\text{в}_ly}$

Правило: $S_{\text{в}_ly}$ – расстояние видимости пешехода (удаленность автомобиля от места наезда) в зависимости от l_y

Входные параметры:

$l_x \text{ (м)} = 0;$

$V_0 \text{ (м/с)} = 22;$

$t_{\text{в}_ly} \text{ (с)} = 2.75;$

Формула:

$y = x_1 * x_2 - x_3$

Результат: $S_{\text{в}_ly} \text{ (м)} = 60.5;$

Шаг № 4

Отношение: t_{Σ} – суммарное время

Правило: t_{Σ} – суммарное время

Входные параметры:

$t_3 \text{ (с)} = 0.4;$

$t_1 \text{ (с)} = 0.2;$

$t_2 \text{ (с)} = 0.6;$

Формула:

$y = x_1 + x_2 + 0.5 * x_3$

Результат: $t_{\Sigma} \text{ (с)} = 1;$

Шаг № 5

Отношение: $S_{\text{ост}}$ – длина остановочного пути

Правило: $S_{\text{ост}}$ – длина остановочного пути

Входные параметры:

$j_{\text{max}} \text{ (м/с}^2\text{)} = 4.9;$

$t_{\Sigma} \text{ (с)} = 1;$

$V_0 \text{ (м/с)} = 22;$

Формула:

$y = (x_1 * x_2) + (\text{Math.pow}(x_2, 2) / (2 * z))$

Результат: $S_{ост} (м)=71.3877551020408$;

Шаг № 6

Отношение: $P (S_{ост} < S_B, S_{ост} > S_B)$, $P_{ly} (S_{ост} < S_{B_{ly}}, S_{ост} > S_{B_{ly}})$, $P (S_{ост} < S_{п}, S_{ост} > S_{п})$ - предотвращение ДТП

Правило: $S_{ост} < S_{B_{ly}}, S_{ост} > S_{B_{ly}}$

Входные параметры:

$S_{ост} (м)=71.3877551020408$;

$S_{B_{ly}} (м)=60.5$;

Формула:

$if (x < y) \{z = 'S_{ост} \setminus u003C S_B, \text{Водитель имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением}';\}$ $else \{z = 'S_{ост} \setminus u003E S_B, \text{Водитель не имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением. ТС не остановилось при торможении у линии следования пешехода, а пересекло ее}';\}$

Результат: $P_{ly} (S_{ост} < S_{B_{ly}}, S_{ост} > S_{B_{ly}})=S_{ост} > S_B$, Водитель не имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением. ТС не остановилось при торможении у линии следования пешехода, а пересекло ее;

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $S_{ост} > S_B = 71,39 \text{ м} > 60,5 \text{ м}$, Водитель не имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением. ТС не остановилось при торможении у линии следования пешехода, а пересекло ее.

Проведем проверку полученного результата, для этого необходимо произвести расчет вручную.

Осуществим перевод км/ч в м/с V_0 :

$$V_0 = \frac{79,2 \cdot 1000}{3600} = 22 \text{ м/с.}$$

Осуществим перевод км/ч в м/с $V_{п}$:

$$V_{п} = \frac{7,2 \cdot 1000}{3600} = 2 \text{ м/с.}$$

Определим время видимости пешехода t_B :

$$t_B = \frac{\Delta Y + l_y}{V_{п}} = \frac{5 + 0,5}{2} = 2,75 \text{ с.}$$

Определим суммарное время t_{Σ} :

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 = 0,2 + 0,6 + 0,5 \cdot 0,4 = 1 \text{ с.}$$

Определим длину остановочного пути $S_{ост}$:

$$S_{OCT} = V_0 \cdot \left(t_{\Sigma} + \frac{V_0}{2 \cdot j_{\max}} \right) = 22 \cdot \left(1 + \frac{22}{2 \cdot 4,9} \right) \approx 71,39 \text{ м.}$$

Определим расстояние видимости пешехода S_B :

$$S_B = V_0 \cdot t_B - l_x = 22 \cdot 2,75 - 0 = 60,50 \text{ м.}$$

Сравним длину остановочного пути ТС и расстояние видимости пешехода:

$$S_{OCT} > S_B = 71,39 \text{ м} > 60,50 \text{ м.}$$

Ответ: водитель не имел возможность предотвратить ДТП своевременным торможением.

Так как в проверочном «ручном» расчете использовалось округление до сотых, то длина остановочного пути представлена с погрешностью, которая составила 0,002 метра. Таким образом, данные, полученные из ЭС «Анализ ДТП» более точны.

П.2.14. Задача №14: Определение условия безопасного перехода полосы движения ТС пешеходом

Задача №14: «Ближним» передним углом автомобиля пешеход получил тяжкие телесные повреждения. Скорость автомобиля была 90 км/ч. Пешеход переходил от левой разметки края проезжей части со скоростью 6,0 км/ч. Время реакции водителя 0,3 с, время запаздывания срабатывания тормозного привода 0,6 с, время нарастания замедления 0,4 с. Расстояние от левого края проезжей части до автомобиля равно 5,7 м. Состояние поверхности проезжей части позволяет достигнуть замедления 4,1 м/с². Габаритная ширина автомобиля $B = 1,8 \text{ м}$.

Определить условие безопасного перехода полосы движения ТС пешеходом?

Дано: $V_{II} = 1,67 \text{ м/с}^2$; $j_{\max} = 4,1 \text{ м/с}^2$; $t_1 = 0,3 \text{ с}$; $t_2 = 0,6 \text{ с}$; $t_3 = 0,4 \text{ с}$; $V_0 = 90 \text{ км/ч}$; $S_{II} = 5,7$; $\Delta Y = 5,7 \text{ м}$; $l_X = 0$; $l_Y = 0$; $B = 1,8 \text{ м}$.

Найти: Определить условие безопасного перехода полосы движения ТС пешеходом.

Решение: Введенные данные с полученным результатом представлены на рисунке П.2.27. Черным цветом отмечены введенные данные. Красным цветом отмечены результаты, которые были получены в процессе расчета. Синим цветом отмечены константы.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
- ДТП - I Характеристики ДТП и ТС - Характеристика ДТП - Характеристика ТС - B (м) 1,8 - hc (м) Число - hстекла (м) Число - jmax (м/с²) 4,1 - jcl (м/с²) Число - L (м) Число - La (м) Число - Lb (м) Число - lx (м) 0 - ly (м) 0 - M (кг) Число - M1 (кг) Число - M2 (кг) Число - ΔX (м) 7,5 - ΔY (м) 5,7 - Av (Н·м) Число - Ak (Н·м) Число - Ap (Н·м) Число - Ac (Н·м) Число - II Скорость ТС - ΔV (м/с) Число - ΔV3 (м/с) Число - V (м/с) Число - V' (м/с) Число - V_n (м/с) Число - Vo (м/с) 25 - Vo_f3 (м/с) Число - Vo_n (м/с) Число - Vкр.з. (м/с) Число - Vкр.о. (м/с) Число - Vн (м/с) 8.683300098 - Vн_ly (м/с) Число - Vo_n_f3 (м/с) Число - Vo_добавочная (м/с) Число - Vo_подъем (м/с) Число - Vo_подъем_n (м/с) Число - Vo_уклон (м/с) Число - Vo_уклон_n (м/с) Число - Vп (м/с) 1,67 - Vподъем (м/с) Число - Vподъем_n (м/с) Число - Vсл (м/с) Число - Vуклон (м/с) Число - Vуклон_n (м/с) Число - Vю (м/с) Число - Перевод V (км/ч) → V (м/с) - V (км/ч) - перевод Число - Vo (км/ч) - перевод 90			- III Путь ТС - S1 (м) Число - S2 (м) Число - S3 (м) Число - S4 (м) Число - S4_n (м) Число - S4_подъем (м) Число - S4_подъем_n (м) Число - S4_уклон (м) Число - S4_уклон_n (м) Число - S4' (м) Число - S4'_n (м) Число - S4'' (м) Число - S4'''_n (м) Число - S4''''_n (м) Число - S6_грузового (м) Число - S6_легкового (м) Число - Sв (м) 85.32934131 - Sв_ly (м) Число - Sд (м) Число - Sк (м) Число - Sн (м) 18.39017087 - Sн_ly (м) Число - Сосколков (м) Число - Сост (м) 103.7195121 - Sп (м) 5,7 - Sп' (м) 8.483070447 - Sп'_ly (м) Число - Sпад (м) Число - Sподъем (м) Число - Sс (м) Число - Sск (м) Число - Sсл (м) Число - Sт (м) Число - Sуд (м) Число - IV Время - a (дел) Число - b (дел) Число - c (дел) Число - d (дел) Число - e (дел) Число - тj (м/с²-дел) Число - mt (с/дел) Число - tΣ (с) 1,1 - t1 (с) 0,3 - t2 (с) 0,6 - t3 (с) 0,4 - t4 (с) Число - тв (с) 3.413173652 - тв_ly (с) Число			- td (с) Число - тн' (с) 5.079682902 - тн'_ly (с) Число - ton (с) Число - тосколков (с) Число - тсл (с) Число - тт (с) Число - V (км/ч) - результат Число - Vo (км/ч) - результат Число - Vo_добавочная (км/ч) Число - Анализ ДТП - ΔH_грузового (мм) Текст - ΔH_легкового (мм) Текст - BeltOFF Текст - BeltON Текст - P - предотвращение ДТП - P (Sост < Sv, Sост > Sv) Текст - P (Sост < Sn, Sост > Sn) Текст - P (Sn' < ΔX, Sn' > ΔX) Sn' > ΔX, Yсп - P (тв < tΣ, тв > tΣ) Текст - P_ly - предотвращение ДТП - Скоростной режим - Константы - Коэффициенты		

Рисунок П.2.27. Решение задачи №14: Определение условия безопасного перехода полосы движения ТС пешеходом

Модель решения представлена на рисунке П.2.28 в виде графа.

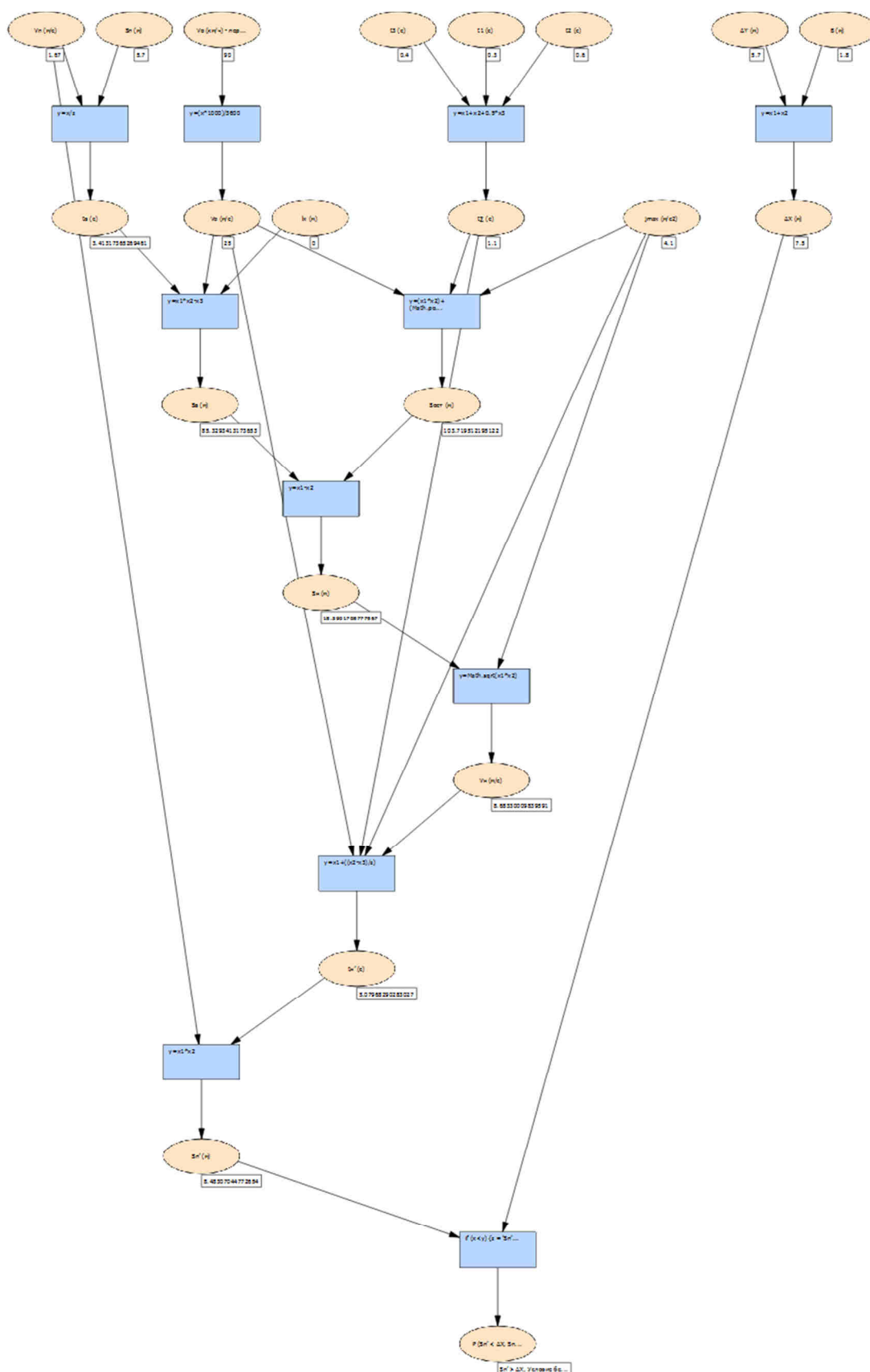


Рисунок П.2.28. Граф-решения задачи №14: Определение условия безопасного перехода полосы движения ТС пешеходом

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 11 шагов:

Шаг № 0

Отношение: f (через $j_{\max}$), t_v , $t_{\text{сл}}$, t_d , t_t

Правило: t_v – время видимости пешехода

Входные параметры:

$V_{\text{п}} \text{ (м/с)} = 1.67;$

$S_{\text{п}} \text{ (м)} = 5.7;$

Формула:

$y = x/z$

Результат: $t_v \text{ (с)} = 3.41317365269461;$

Шаг № 1

Отношение: Перевод $V \text{ (км/ч)} \rightarrow V \text{ (м/с)}$

Правило: $V_o \text{ (км/ч)} \rightarrow V_o \text{ (м/с)}$

Входные параметры:

$V_o \text{ (км/ч)} - \text{перевод} = 90;$

Формула:

$y = (x * 1000) / 3600$

Результат: $V_o \text{ (м/с)} = 25;$

Шаг № 2

Отношение: S_v , S_{v_ly}

Правило: S_v – расстояние видимости пешехода (удаленность автомобиля от места наезда)

Входные параметры:

$l_x \text{ (м)} = 0;$

$V_o \text{ (м/с)} = 25;$

$t_v \text{ (с)} = 3.41317365269461;$

Формула:

$y = x_1 * x_2 - x_3$

Результат: $S_v \text{ (м)} = 85.3293413173653;$

Шаг № 3

Отношение: t_{Σ} – суммарное время

Правило: t_{Σ} – суммарное время

Входные параметры:

$t_3 \text{ (с)} = 0.4;$

$t_1 \text{ (с)} = 0.3;$

$t_2 \text{ (с)} = 0.6;$

Формула:

$y = x_1 + x_2 + 0.5 * x_3$

Результат: $t_{\Sigma} \text{ (с)} = 1.1;$

Шаг № 4

Отношение: $S_{\text{ост}}$ – длина остановочного пути

Правило: $S_{\text{ост}}$ – длина остановочного пути

Входные параметры:

$j_{\max} \text{ (м/с}^2\text{)} = 4.1;$

$t_{\Sigma} \text{ (с)} = 1.1;$

$V_o \text{ (м/с)} = 25;$

Формула:

$$y=(x1*x2)+(Math.pow(x2,2)/(2*z))$$

Результат: $S_{ост} (м)=103.719512195122;$

Шаг № 5

Отношение: $S_H, S_{H_ly}, La, Lb, M1, M2, \Delta V, \Delta V3, V_{ю}, \Delta V3$ (в зависимости от $j_{сл}$), $V_{ю}$ (в зависимости от $j_{сл}$)

Правило: S_H – расстояние, на которое переместился бы автомобиль после пересечения линии следования пешехода, если бы водитель действовал технически правильно, своевременно затормозив

Входные параметры:

$S_{ост} (м)=103.719512195122;$

$S_B (м)=85.3293413173653;$

Формула:

$$y=x1-x2$$

Результат: $S_H (м)=18.3901708777567;$

Шаг № 6

Отношение: V_H, V_{H_ly}

Правило: V_H – скорость автомобиля в момент пересечения им линии следования пешехода при условии своевременного торможения

Входные параметры:

$S_H (м)=18.3901708777567;$

$j_{max} (м/с^2)=4.1;$

Формула:

$$y=Math.sqrt(x1*x2)$$

Результат: $V_H (м/с)=8.68330009839591;$

Шаг № 7

Отношение: $t_{H'}, t_{H_ly}$

Правило: $t_{H'}$ – время движения автомобиля с момента возникновения опасной обстановки до пересечения линии следования пешехода при условии своевременного торможения

Входные параметры:

$V_H (м/с)=8.68330009839591;$

$j_{max} (м/с^2)=4.1;$

$t_{\Sigma} (с)=1.1;$

$V_0 (м/с)=25;$

Формула:

$$y=x1+((x2-x3)/z)$$

Результат: $t_{H'} (с)=5.07968290283027;$

Шаг № 8

Отношение: $t1, t2, t3, t4, j_{max}, j_{max} (без K_{э}), S1, S2, S_{п'}, S_{п'_ly}, S_{пад}, S_{уд}$

Правило: $S_{п'}$ – перемещение пешехода за время $t_{H'}$

Входные параметры:

$t_{H'} (с)=5.07968290283027;$

$V_{п} (м/с)=1.67;$

Формула:

$$y = x_1 \cdot x_2$$

Результат: $S_{п'} (м) = 8.48307044772654;$

Шаг № 9

Отношение: $S_{б_грузового}, S_{б_легкового}, \Delta X, L, M, S_{осколков}, V_0, t_{оп}, V_{сл}$

Правило: ΔX – сумма расстояний от боковой поверхности автомобиля до границы опасной зоны и ширины колеи автомобиля

Входные параметры:

$$\Delta Y (м) = 5.7;$$

$$B (м) = 1.8;$$

Формула:

$$y = x_1 + x_2$$

Результат: $\Delta X (м) = 7.5;$

Шаг № 10

Отношение: $P (S_{п'} < \Delta X, S_{п'} > \Delta X), P_{ly} (S_{п'}_{ly} < \Delta X, S_{п'}_{ly} > \Delta X)$ – предотвращение ДТП

Правило: $S_{п'} < \Delta X, S_{п'} > \Delta X$

Входные параметры:

$$S_{п'} (м) = 8.48307044772654;$$

$$\Delta X (м) = 7.5;$$

Формула:

$if (x < y) \{z = 'S_{п'} \setminus u003C \Delta X, \text{Условие не безопасного перехода полосы движения ТС'};\}$ $else \{z = 'S_{п'} \setminus u003E \Delta X, \text{Условие безопасного перехода полосы движения ТС'};\}$

Результат: $P (S_{п'} < \Delta X, S_{п'} > \Delta X) = S_{п'} > \Delta X, \text{Условие безопасного перехода полосы движения ТС};$

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $S_{п'} > \Delta X = 8,48 м > 7,5 м$, условие безопасного перехода полосы движения ТС.

Проведем проверку полученного результата, для этого необходимо произвести расчет вручную.

Осуществим перевод $км/ч$ в $м/с$ V_0 :

$$V_0 = \frac{90 \cdot 1000}{3600} = 25 \text{ м/с.}$$

Определим суммарное время t_{Σ} :

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 = 0,3 + 0,6 + 0,5 \cdot 0,4 = 1,1 \text{ с.}$$

Определим время видимости пешехода t_B :

$$t_B = \frac{S_{п}}{V_{п}} = \frac{5,7}{1,67} \approx 3,41 \text{ с.}$$

Определим расстояние видимости пешехода S_B :

$$S_B = V_0 \cdot t_B - l_x = 25 \cdot 3,41 - 0 = 85,25 \text{ м.}$$

Определим длину остановочного пути S_{OCT} :

$$S_{OCT} = V_0 \cdot \left(t_{\Sigma} + \frac{V_0}{2 \cdot j_{\max}} \right) = 25 \cdot \left(1,1 + \frac{25}{2 \cdot 4,1} \right) \approx 103,72 \text{ м.}$$

Определим расстояние, на которое переместился бы автомобиль после пересечения линии следования пешехода, если бы водитель действовал технически правильно, своевременно затормозив S_H :

$$S_H = S_{OCT} - S_B = 103,72 - 85,25 = 18,47 \text{ м.}$$

Определим скорость автомобиля в момент пересечения им линии следования пешехода при условии своевременного торможения V_H :

$$V_H = \sqrt{S_H \cdot j_{\max}} = \sqrt{18,47 \cdot 4,1} \approx 8,70 \text{ м/с.}$$

Определим время движения автомобиля с момента возникновения опасной обстановки до пересечения линии следования пешехода при условии своевременного торможения t'_H :

$$t'_H = t_{\Sigma} + \frac{V_0 - V_H}{j_{\max}} = 1,1 + \frac{25 - 8,70}{4,1} \approx 5,08 \text{ с.}$$

Определим расстояние, на которое переместился пешеход за время t'_H :

$$S'_H = V_H \cdot t'_H = 1,67 \cdot 5,08 \approx 8,48 \text{ м.}$$

Определим сумму расстояний от боковой поверхности автомобиля до границы опасной зоны и ширины колеи автомобиля ΔX :

$$\Delta X = \Delta Y + B = 5,7 + 1,8 = 7,5 \text{ м.}$$

Сравним расстояние, на которое переместился пешеход за время t'_H и сумму расстояний от боковой поверхности автомобиля до границы опасной зоны и ширины колеи автомобиля:

$$S'_H > \Delta X = 8,48 \text{ м} > 7,5 \text{ м.}$$

Ответ: учитывая условие безопасного перехода полосы движения ТС пешеход мог бы покинуть опасную зону, если бы не менял скорости и направления своего движения.

Учитывая, что в проверочном «ручном» расчете использовалось округление до сотых, то данные, полученные из ЭС «Анализ ДТП» более точны.

П.2.15. Задача №15: Определение возможности водителя к предотвращению ДТП

Задача №15: «Дальним углом» переднего бампера автомобиля был сбит пешеход, переходящий дорогу справа налево со скоростью 6,8 км/ч. От правого края проезжей части до места удара пешеход прошёл 7,4 м. Покрытие дороги при экстренном торможении обеспечивало замедление 5,0 м/с². Время реакции водителя 0,4 с, время запаздывания срабатывания тормозного привода 0,6 с, время нарастания замедления 0,4 с. Имел ли водитель возможность принять меры к предотвращению ДТП в данной дорожной обстановке?

Дано: $V_{II} = 6,8 \text{ км/ч}$; $j_{max} = 5 \text{ м/с}^2$; $t_1 = 0,4 \text{ с}$; $t_2 = 0,6 \text{ с}$; $t_3 = 0,4 \text{ с}$; $S_{II} = 7,4 \text{ м}$; $\Delta Y = 7,4 \text{ м}$.

Найти: Определить возможности водителя к предотвращению ДТП.

Решение: Введенные данные с полученным результатом представлены на рисунке П.2.29. Черным цветом отмечены введенные данные. Красным цветом отмечены результаты, которые были получены в процессе расчета. Синим цветом отмечены константы.

Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти	Объект	Значение	Найти
ДТП								
I Характеристики ДТП и ТС								
Характеристика ДТП								
Характеристика ТС								
В (м)	Число		Вподъем_п (м/с)	Число		Суд (м)	Число	
hс (м)	Число		Усл (м/с)	Число		IV Время		
hстекла (м)	Число		Уклон (м/с)	Число		a (дел)	Число	
jmax (м/с2)	5		Уклон_п (м/с)	Число		b (дел)	Число	
jcl (м/с2)	Число		Ую (м/с)	Число		c (дел)	Число	
L (м)	Число		Перевод V (км/ч) → V (м/с)			d (дел)	Число	
La (м)	Число		V (км/ч) - перевод	6,8		e (дел)	Число	
Lb (м)	Число		Vo (км/ч) - перевод	Число		mj (м/с2-дел)	Число	
lx (м)	0		III Путь ТС			mt (с/дел)	Число	
ly (м)	Число		S1 (м)	Число		tΣ (с)	1,2	
M (кг)	Число		S2 (м)	Число		t1 (с)	0,4	
M1 (кг)	Число		S3 (м)	Число		t2 (с)	0,6	
M2 (кг)	Число		S4 (м)	Число		t3 (с)	0,4	
ΔX (м)	Число		S4_п (м)	Число		t4 (с)	Число	
ΔY (м)	7,4		S4_подъем (м)	Число		tw (с)	3.917647058	
Ав (Н-м)	Число		S4_подъем_п (м)	Число		tw_ly (с)	Число	
Ак (Н-м)	Число		S4_уклон (м)	Число		td (с)	Число	
Ап (Н-м)	Число		S4_уклон_п (м)	Число		tn' (с)	Число	
Ас (Н-м)	Число		S4' (м)	Число		tn_ly (с)	Число	
II Скорость ТС			S4'' (м)	Число		top (с)	Число	
ΔV (м/с)	Число		S4''' (м)	Число		тосколов (с)	Число	
ΔV3 (м/с)	Число		S4'''' (м)	Число		tcl (с)	Число	
V (м/с)	Число		S6_грузового (м)	Число		tr (с)	Число	
V' (м/с)	Число		S6_легкового (м)	Число		V (км/ч) - результат	Число	
V_n (м/с)	Число		Sв (м)	Число		Vo (км/ч) - результат	Число	
Vo (м/с)	Число		Sв_ly (м)	Число		Vo_добавочная (км/ч)	Число	
Vo_f3 (м/с)	Число		Sд (м)	Число		Анализ ДТП		
Vo_n (м/с)	Число		Sk (м)	Число		ΔH_грузового (мм)	Текст	
Vкр.з. (м/с)	Число		Sn (м)	Число		ΔH_легкового (мм)	Текст	
Vкр.о. (м/с)	Число		Sn_ly (м)	Число		BeltOFF	Текст	
Vн (м/с)	Число		Sосколов (м)	Число		BeltON	Текст	
Vн_ly (м/с)	Число		Sост (м)	Число		P - предотвращение ДТП		
Vo_n_f3 (м/с)	Число		Sn (м)	7,4		P (Sост < Sв, Sост > Sв)	Текст	
Vo_добавочная (м/с)	Число		Sn' (м)	Число		P (Sост < Sn, Sост > Sn)	Текст	
Vo_подъем (м/с)	Число		Sn_ly (м)	Число		P (Sn' < ΔX, Sn' > ΔX)	Текст	
Vo_подъем_п (м/с)	Число		Sпад (м)	Число		P (te < tΣ, te > tΣ)	tv > tΣ, Водит	
Vo_уклон (м/с)	Число		Sподъем (м)	Число		P_ly - предотвращение ДТП		
Vo_уклон_п (м/с)	Число		Sc (м)	Число		P_ly - предотвращение ДТП		
Vп (м/с)	1.888888888		Sск (м)	Число		Скоростной режим		
Вподъем (м/с)	Число		Scл (м)	Число		Константы		
			St (м)	Число		Коэффициенты		

Рисунок П.2.29. Решение задачи №15: Определение условия безопасного перехода полосы движения ТС пешеходом

Модель решения представлена на рисунке П.2.30 в виде графа.

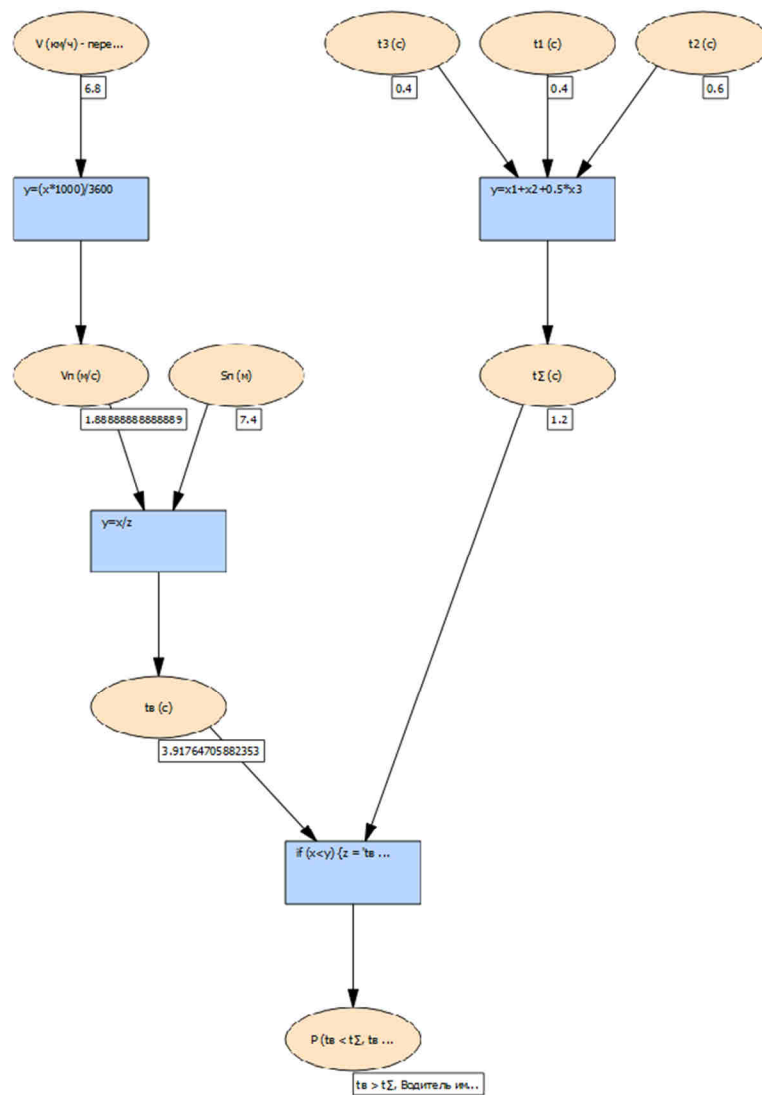


Рисунок П.2.30. Граф-решения задачи №15: Определение условия безопасного перехода полосы движения ТС пешеходом

Рассмотрим листинг решения, который состоит из 4 шагов:

Шаг № 0

Отношение: Перевод V (км/ч) $\rightarrow V$ (м/с)

Правило: V (км/ч) $\rightarrow V_{п}$ (м/с)

Входные параметры:

V (км/ч) - перевод=6.8;

Формула:

$y = (x * 1000) / 3600$

Результат: $V_{п}$ (м/с)=1.888888888888889;

Шаг № 1

Отношение: f (через j_{max}), $t_{в}$, $t_{сл}$, $t_{д}$, $t_{т}$

Правило: $t_{в}$ - время видимости пешехода

Входные параметры:

$V_{п}$ (м/с)=1.888888888888889;

$S_{п}$ (м)=7.4;

Формула:

$$y=x/z$$

Результат: $t_B (c)=3.91764705882353;$

Шаг № 2

Отношение: t_{Σ} - суммарное время

Правило: t_{Σ} - суммарное время

Входные параметры:

$$t_3 (c)=0.4;$$

$$t_1 (c)=0.4;$$

$$t_2 (c)=0.6;$$

Формула:

$$y=x_1+x_2+0.5 \cdot x_3$$

Результат: $t_{\Sigma} (c)=1.2;$

Шаг № 3

Отношение: $P(t_B < t_{\Sigma}, t_B > t_{\Sigma}), P_{ly}(t_{B_ly} < t_{\Sigma}, t_{B_ly} > t_{\Sigma})$ - предотвращение ДТП

Правило: $t_B < t_{\Sigma}, t_B > t_{\Sigma}$

Входные параметры:

$$t_B (c)=3.91764705882353;$$

$$t_{\Sigma} (c)=1.2;$$

Формула:

if $(x < y)$ {z = 't_B \u003C t_Σ, Водитель не имел технической возможности предотвратить ДТП';} else {z = 't_B \u003E t_Σ, Водитель имел возможность принять меры к предотвращению ДТП';}

Результат: $P(t_B < t_{\Sigma}, t_B > t_{\Sigma})=t_B > t_{\Sigma}$, Водитель имел возможность принять меры к предотвращению ДТП;

При помощи ЭС «Анализ ДТП», получаем следующий ответ: $t_B > t_{\Sigma} = 3,92 \text{ с} > 1,2 \text{ с}$, водитель имел возможность принять меры к предотвращению ДТП.

Проведем проверку полученного результата, для этого необходимо произвести расчет вручную.

Осуществим перевод км/ч в м/с V_{II} :

$$V_{II} = \frac{6,8 \cdot 1000}{3600} \approx 1,89 \text{ м/с}.$$

Определим суммарное время t_{Σ} :

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 = 0,4 + 0,6 + 0,5 \cdot 0,4 = 1,20 \text{ с}.$$

Определим время видимости пешехода t_B :

$$t_B = \frac{S_{II}}{V_{II}} = \frac{7,4}{1,89} \approx 3,92 \text{ с}.$$

Определим расстояние видимости пешехода S_B :

$$S_B = V_0 \cdot t_B - l_x = 25 \cdot 3,41 - 0 = 85,25 \text{ м.}$$

Сравним время видимости пешехода водителем и время с момента, когда водитель увидел опасность, до момента начала эффективного торможения:

$$t_B > t_{\Sigma} = 3,92 \text{ с} > 1,20 \text{ с.}$$

Ответ: водитель имел возможность принять меры к предотвращению ДТП.

Учитывая, что в проверочном «ручном» расчете использовалось округление до сотых, то данные, полученные из ЭС «Анализ ДТП» более точны.

ПРИЛОЖЕНИЕ №3

Описание взаимодействия пользователя с интерфейсом модуля.

1. Пользователь запускает приложение UIG.exe (User Interface Generator) – программный модуль генерации интерфейсов для ЭС, созданных на КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi). Вид главного экрана взаимодействия представлен на рисунке П.3.1.

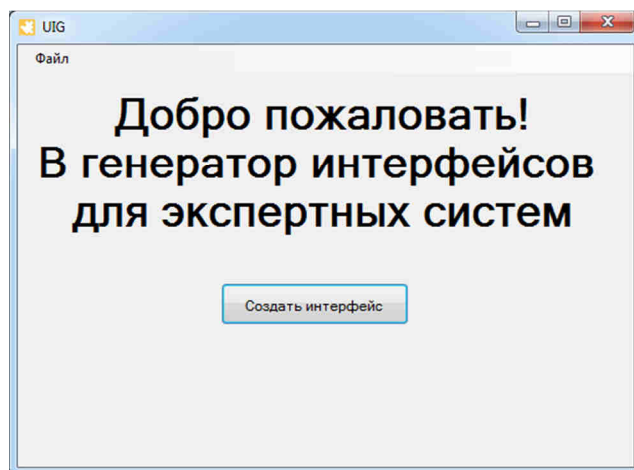


Рисунок П.3.1. Вид главного экрана взаимодействия UIG.exe

2. Для того, что бы приступить к этапу начала генерации интерфейса пользователь должен нажать на кнопку «Создать интерфейс». Если пользователь выберет пункт меню «Файл», то он увидит следующие подразделы (рисунок П.3.2):

- «Создать интерфейс...» – выбор этого подраздела приведет к этапу начала генерации интерфейса.
- «Редактировать интерфейс...» – выбор этого подраздела приведет к модальному окну «Редактировать интерфейс», где пользователю необходимо будет выбрать ЭС в формате .exe (которая ранее была создана при помощи UIG) (рисунок П.3.3). После того как пользователь нажмет кнопку «Далее», он перейдет к механизму генерации интерфейса (рисунок П.3.4), но все поля (соответствующей ЭС) на этом этапе будут заполнены. Пользователь может изменить нужные ему данные и пересохранить существующий интерфейс в рассматриваемой им ЭС.

- «Выход» – выбор этого подраздела приведет к выходу из UIG.

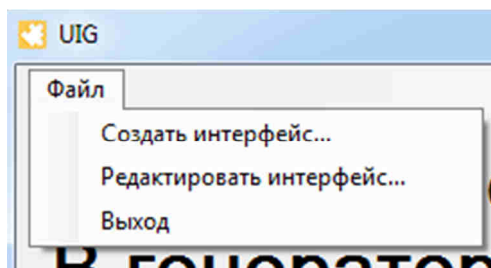


Рисунок П.3.2. Меню «Файл» UIG.exe

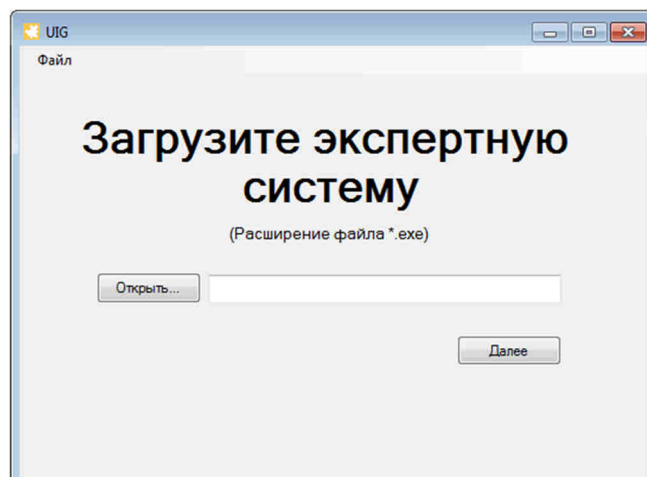


Рисунок П.3.3. Модальное окно «Редактировать интерфейс» UIG.exe

3. При нажатии кнопки «Создать интерфейс», запускается механизм генерации интерфейса. На рисунке П.3.4 представлен основной этап генерации интерфейса.

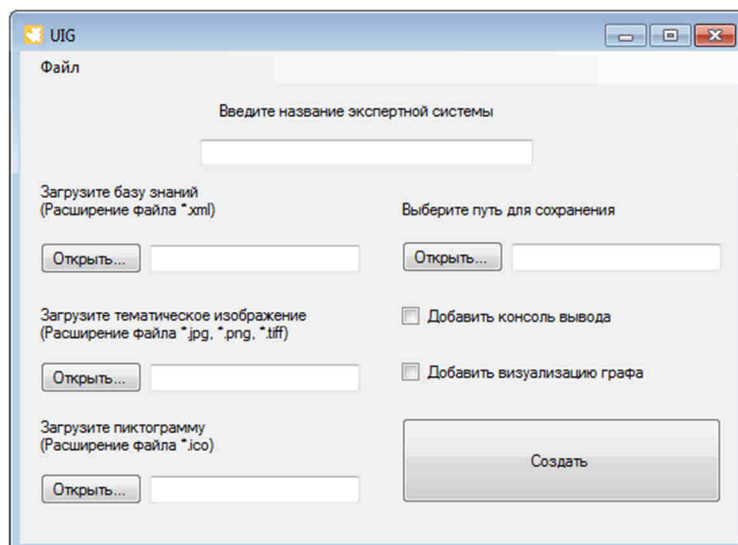


Рисунок П.3.4. Основной этап генерации интерфейса UIG.exe

Разберем обязательные поля ввода, которые должен заполнить пользователь для генерации интерфейса:

- Поле ввода «Введите название экспертной системы» – пользователю необходимо ввести названия ЭС. Соответственно это будет название будущей программы.

- Поле ввода «Загрузите базу знаний» – пользователю необходимо загрузить подготовленную им БЗ (созданную в среде КЭСМИ 2.1 (Wi!Mi)) в формате .xml.

Разберем необязательные поля ввода, которые может заполнить пользователь по желанию:

- Поле ввода «Загрузите тематическое изображение» – пользователь может загрузить любое тематическое изображение для оформления своей ЭС. Поддерживаемые форматы .jpg, .png, .tiff.

- Поле ввода «Загрузите пиктограмму» – пользователь может загрузить пиктограмму (в формате) для ЭС. Поддерживаемый формат .ico.

- Поле ввода «Выберите путь для сохранения» – пользователь имеет возможность выбрать путь для сохранения будущей ЭС. По умолчанию система сохраняет файл в папку «My Documents»

- Критерий «Добавить консоль вывода» – пользователь может дополнительно добавить в интерфейс генерируемой ЭС консоль вывода.

- Критерий «Добавить визуализацию графа» – пользователь может дополнительно добавить в интерфейс генерируемой ЭС возможность визуализировать граф-решения.

4. При нажатии на кнопку «Создать», создается отдельным приложением ЭС в формате .exe. Сгенерированный интерфейс открывается в новом окне. На рисунке 3.10 представлена схема сгенерированного интерфейса.

Соответственно загруженная ранее БЗ в формате .xml отображается в виде иерархической таблицы «Объект-Значение-Найти». При выборе в меню кнопки «Консоль вывода», открывается модальное окно «Консоль вывода» (рисунок 3.9). При выборе в меню кнопки «Визуализация графа», открывается соответственно модальное окно «Визуализация графа» (рисунок 3.10).

Соответственно при выборе в меню кнопки «Выход» – инициализируется процесс выхода из ЭС.

ПРИЛОЖЕНИЕ №4



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
(МАДИ)»

Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64.
Тел. (499) 151-6412 - ректор, факс (499) 151-8965. Интернет: <http://www.madi.ru>. E-mail: info@madi.ru

УТВЕРЖДАЮ

Проректор МАДИ
по научной работе,
д.т.н., профессор Жанказиев С.В.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы

Чувикова Дмитрия Алексеевича на тему: «Модели и алгоритмы реконструкции и
экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных происшествий», представленной
на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 -
«Системный анализ, управление и обработка информации» (технические системы).

Мы, нижеподписавшиеся, заведующий кафедрой «Организация и безопасность движения» МАДИ д.т.н., проф. Жанказиев С.В., профессор каф. «Организация и безопасность движения», д.т.н. Кондратьев В.Д., доцент кафедры «Организация и безопасность движения» МАДИ Вздыхалкин В.Н., составили настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы Чувикова Дмитрия Алексеевича на тему «Модели и алгоритмы реконструкции и экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных происшествий» используются в МАДИ на кафедре «Организация и безопасность движения» при проведении лабораторных работ и практических занятий по дисциплинам «Экспертный анализ дорожно-транспортных происшествий» и «Современные методы экспертного исследования ДТП».

Используется: специальное математическое обеспечение, разработанное Чувиковым Д.А. – экспертная система «Анализ ДТП», разработанные Чувиковым Д.А. методы и алгоритмы, объединенных экспертных и имитационных моделей реконструкции и установления механизма дорожно-транспортных происшествий.

Д.т.н., проф. каф. «ОБД» МАДИ

Жанказиев С.В.

Д.т.н., проф. каф. «ОБД» МАДИ

Кондратьев В.Д.

Доцент. каф. «ОБД» МАДИ

Вздыхалкин В.Н.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
(МАДИ)»

Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64.
Тел. (499) 151-6412 - ректор, факс (499) 151-8965. Интернет: <http://www.madi.ru>. E-mail: info@madi.ru

УТВЕРЖДАЮ
Проректор МАДИ
по научной работе,
д.т.н., профессор Жамказиев С.В.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы
Чувикова Дмитрия Алексеевича на тему: «Модели и алгоритмы
реконструкции и экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных
происшествий», представленной на соискание учёной степени кандидата
технических наук по специальности 05.13.01 - «Системный анализ,
управление и обработка информации» (технические системы).

Мы, нижеподписавшиеся, заведующий кафедрой «АСУ» МАДИ д.т.н.,
проф. Николаев А.Б., профессор кафедры «АСУ» МАДИ д.т.н., проф. Юрчик
П.Ф., профессор каф. «АСУ» д.т.н., проф. Остроух А.В., составили
настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы Чувикова
Дмитрия Алексеевича на тему «Модели и алгоритмы реконструкции и
экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных происшествий»
используются в МАДИ на кафедре «Автоматизированные системы
управления» при проведении лабораторных работ по дисциплине
«Моделирование систем».

А именно, используются, разработанные в диссертации методы,
объединенных экспертных и имитационных моделей, а также алгоритмы и
программно-моделирующие средства реконструкции и экспертизы
аварийных событий дорожно-транспортных происшествий.

Зав. каф. «АСУ» МАДИ, д.т.н., проф.
Д.т.н., проф. каф. «АСУ» МАДИ
Д.т.н., проф. каф. «АСУ» МАДИ

Николаев А.Б.
Юрчик П.Ф.
Остроух А.В.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64.

Тел. (499) 151-6412 - ректор, факс (499) 151-8965. Интернет: <http://www.madi.ru>. E-mail: info@madi.ru

АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования

Результаты диссертационного исследования «Модели и алгоритмы реконструкции и экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных происшествий» Чувикова Дмитрия Алексеевича внедрены в научно-исследовательской работе по проекту «Разработка моделей и алгоритмов реконструкции и экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных происшествий», договор № 42181.

Используются следующие результаты диссертационной работы Чувикова Д.А.:

1. Методика объединения экспертной системы и системы имитационного моделирования для решения класса задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП.
2. Алгоритмы взаимодействия экспертной системы и системы имитационного моделирования для решения класса задач реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП.
3. Разработанное специальное математическое обеспечение в виде экспертной системы анализа и экспертизы ДТП.

Проректор по научной работе,
 / Жанказиев С.В.
2017 г.

Начальник управления научно-исследовательскими работами МАДИ
 / Субботин Б.С.

АКТ АПРОБАЦИИ

результатов диссертационной работы

**Чувикова Дмитрия Алексеевича на тему «Модели и алгоритмы
реконструкции и экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных
происшествий»**

Настоящим подтверждаю, что результаты диссертационного исследования Чувикова Дмитрия Алексеевича на тему: «Модели и алгоритмы реконструкции и экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных происшествий» обладают актуальностью и представляют практический интерес. Разработанная система Чувиковым Д.А. «Анализ ДТП» может применяться на практике, она позволяет снизить трудоемкость процесса исследования обстоятельств дорожно-транспортных происшествий (ДТП) специалистами соответствующего профиля. Разработанные в диссертации методы, алгоритмы и программно-моделирующие средства реконструкции аварийных событий также могут применяться в процессе обучения.

Заместитель начальника
отдела автотехнических исследований
Экспертно-криминалистического центра
ГУ МВД России по г. Москве



А.В. Пахомов

г. Москва, ул. Вагоноремонтная, д. 27.
Тел. (495) 483-01-20.





**Межрегиональный
Центр
Судебной
Экспертизы**

АНО «Межрегиональный центр судебной экспертизы»
ИНН/КПП: 7701167730/772601001
Юридический/фактический адрес: 117105, г. Москва,
Варшавское шоссе, д. 17
Тел./факс: +7 (495) 507-86-49
URL: www.sudexa.ru, www.pc-crash.sdexa.ru,
www.programm.expert E-mail: mail@sudexa.ru

В Диссертационный совет Д 217.047.01

в ФГУП «Научно-исследовательский и экспериментальный
институт автомобильной электроники и
электрооборудования»

105187, Москва, ул. Кирпичная, 39/41

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы

Чувикова Дмитрия Алексеевича на тему «Модели и алгоритмы реконструкции и экспертизы аварийных событий дорожно- транспортных происшествий»

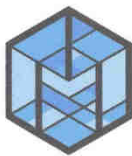
Настоящим подтверждаем, что результаты диссертационного исследования Чувикова Дмитрия Алексеевича на тему: «Модели и алгоритмы реконструкции и экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных происшествий» обладают актуальностью и представляют практический интерес. Разработанная экспертная система Чувиковым Д.А. «Анализ ДТП» применяется на практике, что способствует повышению уровня объективности результатов, полученных специалистами при реконструкции и экспертизе аварийных событий ДТП. Экспертная система «Анализ ДТП» является адаптивной, эксперт имеет доступ к добавлению новых формул и параметров, а также к изменению существующих имен параметров. Это позволяет эксперту расширять систему, добавляя в нее новые «сценарии» рассматриваемых ДТП.

Разработанные в диссертации методы, объединенных экспертных и имитационных моделей, а также алгоритмы и программно-моделирующие средства реконструкции и экспертизы аварийных событий ДТП позволили повысить эффективность работы, а именно снизить на 13% количество допущенных ошибок при расчетах экспертом и снизить на 72% временные затраты на решение задач.

Директор АНО «МЦСЭ»



А.А. Водолагина



МИВАР

логический
искусственный
интеллект

Россия, 127572, г. Москва
Алтуфьевское шоссе, д. 95 «Б»-41
Тел.: +7 (495) 645-44-55
www.mivar.ru

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
результатов диссертационной работы Д.А. Чувикова
в ООО «МИВАР»

Результаты диссертационной работы «Модели и алгоритмы реконструкции и экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных происшествий» Чувикова Дмитрия Алексеевича внедрены в научно-исследовательской работе по проекту «Исследование возможностей миварного подхода в решении задач, связанных с реконструкцией и экспертизой аварийных событий дорожно-транспортных происшествий».

Используются следующие результаты диссертационной работы Чувикова Д.А.:

1. Методика объединения экспертной системы и системы имитационного моделирования в целях решения задач реконструкции и экспертизы ДТП.
2. Алгоритмы совместной работы экспертной системы 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.
3. Алгоритм проверки совместимости экспертной системы и системы имитационного моделирования.
4. Модель реконструкции и экспертизы ДТП в формализме базы знаний двудольных ориентированных миварных сетей.
5. Разработанное специальное математическое обеспечение: экспертная система «Анализ ДТП» для демонстрации возможностей работы миварной сети.

Зам. генерального директора
ООО «МИВАР»

 / Осипов В.Г.

«28» февраля 2017 г.

