

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*На правах рукописи*

**ВОРОНИН ВСЕСЛАВ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**МЕТОДИКА МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ  
ОПРОКИДЫВАНИЯ ТС ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДОРОЖНО-  
ТРАНСПОРТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ**

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
к.т.н., доцент  
Васильев Ярослав Владимирович

Санкт-Петербург – 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДТЭ И УСТАНОВЛЕНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ КАТЕГОРИЧНОСТЬЮ ВЫВОДОВ ДТЭ, ОБЪЕМОМ ИСХОДНОЙ ПСИ И МЕТОДАМИ РЕШЕНИЯ .....	15
1.1 Анализ эффективности и категоричности ДТЭ, выполненных в СЗФО за последние 10 лет .....	15
1.2 Анализ ДТЭ по ДТП с опрокидыванием ТС .....	25
1.3 Анализ категоричности решения задач ДТЭ, связанных с травмированием водителя и/или пассажиров.....	30
1.4 Анализ изменения коэффициента поперечной устойчивости с учетом рейтинга устойчивости к опрокидыванию .....	34
Выводы по Главе 1 .....	37
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ДТП С ОПРОКИДЫВАНИЕМ.....	40
2.1 Структура дерева причин и обстоятельств опрокидывания ТС.....	40
2.2 Теоретические основы оценки положения центра масс ТС, реализуемые при модельно-ориентированной реконструкции в ДТЭ .....	45
2.3 Анализ и обработка экспериментальных данных по краш-тестам и данных БУРС .....	49
2.4 Теоретические основы расчета индексов травмирования (возможного ущерба).....	51
Выводы по Главе 2 .....	59
ГЛАВА 3. МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ОПРОКИДЫВАНИЯ ТС .....	61
3.1 Общая структура модельно-ориентированной реконструкции механизма опрокидывания ТС .....	61
3.2 Процедуры модельно-ориентированной реконструкции опрокидывания	

ТС .....	70
3.3 Модель оценки риска травмирования при опрокидывании ТС .....	74
Выводы по Главе 3 .....	77
ГЛАВА 4. МЕТОДИКИ, РАЗРАБОТАННЫЕ В РАМКАХ ПРЕДЛОЖЕННОГО ГИБРИДНОГО РЕШЕНИЯ ОБЪЕДИНЯЮЩЕГО МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ И РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОДЫ .....	79
4.1 Методика расчета работы сил на непрерывное изменение угла разворота продольной оси ТС при производстве дорожно-транспортной экспертизы .....	79
4.2 Методика расчета работы сил на опрокидывание ТС при производстве дорожно-транспортной экспертизы .....	84
4.3 Методика расчета критической скорости и оценки риска получения политравм.....	88
4.4 Методика оптимизации области фактического расположения места контакта объектов исследования на основе коэволюционных генетических алгоритмов .....	95
Выводы по Главе 4 .....	98
ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ МЕТОДИК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДТЭ .....	100
5.1 Результаты оценки эффективности разработанных методик в сравнении с действующими методами ДТЭ .....	100
5.2 Результаты оценки эффективности применения КГА при определении места начала КСВ в сравнении с действующими методами ДТЭ .....	103
5.3 Результаты оценки эффективности применения РОП при решении задач типа А1, А2, Б1, Б2 и В.....	115
Выводы по Главе 5 .....	117
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	119
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	121

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	123
Приложение А (Пример отчета CDR по проекту CISS).....	132
Приложение Б (Пример отчета EDR по проекту NASS).....	148
Приложение В (Типовой полигонный тест на опрокидывание ТС с выбросом манекена).....	161
Приложение Г (Акты внедрения).....	164

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В производстве дорожно-транспортных экспертиз (ДТЭ) в отечественной практике до настоящего времени сохраняется тенденция переходного периода, в которой преимущественно алгоритмизированный и детерминированный численный анализ пространственно-временных характеристик стадий механизма ДТП (сближение – контактно-следовое взаимодействие – разлет) замещается модельно-ориентированным подходом. При этом устоявшаяся практика и общие тенденции в области ОБДД уже более 25 лет обособляют и подчеркивают важность ДТЭ в обеспечении контроля за исполнением участниками дорожного движения предъявляемых к ним норм регулирования, в частности требований ПДД РФ.

При неизменной значимости ДТЭ в ОБДД, в методологическом пространстве занимаемым методами реконструкции и анализа механизма ДТП сохраняется относительно обширная область условных «белых» пятен, в которых нет научно-обоснованного и стабильного решения определенных видов задач, при этом имеющийся математический аппарат обладает недостатками, накладывающими на решение граничные условия или в которых решение достигается только в случае наличия объема исходных данных, не соизмеримо большего, чем исходный (представляемый на исследование). Это в отдельных видах исследований в рамках ДТЭ приводит к снижению их эффективности, в частности следует выделить случаи, когда решение не может быть выражено в категоричной форме и когда решение имеет большой диапазон варьирования полученного значения, при этом методы оптимизации не применимы из-за недостаточности исходного объема пространственно-следовой информации (ПСИ) фиксируемой при осмотре места ДТП. Длительность текущего переходного состояния (от комплексной реконструкции к модельно-ориентированной реконструкции) в области ДТЭ в настоящее время обусловлена отсутствием научно-методического аппарата

для отдельных видов частных исследовательских задач ДТЭ, среди которых особое место занимает анализ и реконструкция ДТП с опрокидыванием ТС.

С другой стороны само исследование в рамках ДТЭ системы ВАДС опирается только на исследуемые материалы дела, часто без детализации возникших отклонений по причинам их возникновения, т.е. в большинстве случаев эксперты при производстве ДТЭ ограничиваются лишь реконструкцией условий наступления события в категориях наличия или отсутствия отклонения (нарушения) в какой-либо подсистеме системы ВАДС, при этом анализ причин не производится. Такой пробел образуется и в рамках методик анализа и учета ДТП, регламентированных действующими нормативными и методическими документами, так как все они так и или иначе базируются на поиске мест концентрации ДТП без обособления причинно-следственных связей по видам ДТП, тем более сам механизм ДТП при их практическом применении часто не отражается в общей аналитической информации используемой при работе с ними.

Фактически, это позволяет отметить еще одну особенность современной практики производства ДТЭ, а именно тот факт, что хронологический анализ ДТС в фазах перехода от рабочего состояния до опасного и от него к аварийному, и далее к самому ДТП и к его последствиям, фактически в них не исследуется, т.е. не определяется динамика предшествующих состояний ДТС, относительно причин отклонений в подсистемах системы ВАДС, исследование строится относительно обстоятельств (нарушений) приведших к опасной ДТС. Соответственно нет аппарата прогнозирующего такую динамику ДТС. В частных задачах ДТЭ практически не применяется оценка индекса травмирования (тогда как его расчет определен по ГОСТ 33464 [13]), таким образом, например, при решении исследовательской задачи ДТЭ связанной с установлением лица находившегося за рулем ТС для случаев, когда в результате ДТП все лица, находившееся в ТС, покинули салон в ходе

опрокидывания во многих случаях не бывает решена в категорической форме.

В настоящий момент в производстве дорожно-транспортных экспертиз в отечественной практике до настоящего времени сохраняется тенденция переходного периода, в которой алгоритмизированный линейный численный анализ пространственно-временных характеристик стадий механизма ДТП (сближение – контактно-следовое взаимодействие – разлет) замещается модельно-ориентированным подходом.

Особо следует отметить, что ещё в марте 2018 года президент РФ В.В.Путин в Послании Федеральному Собранию поставил задачу перевести систему контроля и надзора (в том числе в сфере эксплуатации автомобильного транспорта и в дорожной отрасли России в целом) на риск-ориентированный подход, в течение двух лет. С учетом изменений в действующем нормативно-методическом аппарате, имевшим место за последние годы, в этом ключе следует отметить, что показатели и методы анализа рисков в рамках риск-ориентированного подхода становятся важным инструментом технического регулирования, государственного надзора контроля для всех этапов жизненного цикла автомобильных дорог, а также эксплуатации ТС, но в общей структуре процессов реконструкции механизма ДТП нет аппарата объединяющего в себе модельно-ориентированный и риск-ориентированный подходы к анализу системы ВАДС при производстве ДТЭ по ДТП с опрокидыванием ТС.

Таким образом, совершенствование научно-методического аппарата ДТЭ реализующего как модельно-ориентированный, так и риск-ориентированный подходы к реконструкции механизма ДТП в границах исследовательских задачах ДТЭ, связанных с опрокидыванием ТС является актуальной научной задачей.

**Степень разработанности проблемы.** Теоретический и практический фундамент научного обеспечения как в целом БДД, так и процедур выполнения ДТЭ, а также методов контроля и управления состоянием

системы ВАДС, в том числе в части теоретико-математического обеспечения расчетных методов в ДТЭ и экспертной профилактике ДТП были заложены в трудах многих отечественных и зарубежных ученых, таких как: Б.Е. Боровский [2], Я.В. Васильев [3-7,10-12,80], Э.Р. Домке [15], С.А. Евтюков [10-12], С.С. Евтюков [9,25,80], С.В. Жанказиев [17], В.А. Иларионов [19,42], П.А. Кравченко [24], Н.М. Кристи [37,43], Е.В. Куракина [25], О.В. Лукошнявичине [26,27], В.Н. Никонов [29-31], П.А. Пегин, А.М. Плотников, И.Н. В.А. Пучкин [35], В.В. Сильянов, С.А. Смирнова [38], А.В. Терентьев, Р. Байэтт, Б. МакГенри [69], А.Реза, Я.Верчинский [84], Р. Бранч [48], Н.Роуз, К. Орловски [72], А.Эйген [62,63], Д. Мартинез и других.

Однако, несмотря на значимые результаты практического внедрения результатов исследований данных и многих других ученых, в настоящий момент все еще сохраняется научно-методическое противоречие возникающее между сложившейся в стране практикой производства ДТЭ, ее эффективностью и уровнем научного обеспечения их решения.

**Цель исследования** – повышение эффективности дорожно-транспортных экспертиз за счет совершенствования методов анализа ДТП с опрокидыванием ТС на основе гибридного решения объединяющего модельно-ориентированный и риск-ориентированный подходы.

Для достижения этой цели были поставлены следующие **задачи исследования**:

1. Произвести анализ выполненных ДТЭ за период с 2011 по 2020 и выявить взаимосвязь между категоричностью полученных выводов по результатам исследования, объемом исходной пространственно-следовой информации (ПСИ) и методами решения, а также выявить динамику сужения вариативности выводов относительно различных методов оптимизации применяемых численных методов;

2. Произвести анализ натуральных краш-тестов на опрокидывание, выполнить анализ банка записей EDR/CDR (БУРС по ГОСТ Р 58840) по данным NHTSA;

3. Разработать математическую модель перемещений ТС при опрокидывании и внедрить ее в комплексную процедуру модельно-ориентированной реконструкции механизма опрокидывания ТС, реализовав в ней гибридное решение с риск-ориентированным подходом для оценки травмирования водителя и пассажиров при опрокидывании ТС;

4. Разработать методику учета работ сил на совместное перемещение в контакте и непрерывное изменение угла разворота ТС при его перемещении на стадии отброса;

5. Уточнить методику расчета работы сил совершаемой при опрокидывании ТС, в зависимости от фактического механизма опрокидывания;

6. Разработать методику оптимизации расчетного местоположения точки контакта объектов исследования в ДТЭ на основе кооперативных генетических алгоритмов.

**Объект исследования** – транспортные средства категории М1 и N1 в процессе их опрокидывания при ДТП.

**Предмет исследования** – причинно-следственные связи между механизмом ДТП при опрокидывании ТС, риском травмирования водителя и пассажиров, состоянием системы ВАДС и категоричностью выводов дорожно-транспортных экспертиз.

**Рабочая гипотеза** – совместное применение риск-ориентированного подхода при анализе травмирования для задач ДТЭ при МОР ДТП с опрокидыванием ТС может рассматриваться как один из инструментов экспертного анализа и профилактики ДТП в задачах повышения БДД, в том числе снижения травмирования в ДТП с опрокидыванием ТС.

**Научная новизна исследования:**

1. Впервые методами математической статистики исследованы более 2300 ДТЭ, при этом выявлена взаимосвязь между категоричностью полученных выводов по результатам исследования, объемом (качеством) исходной ПСИ и методами решения, а также определен характер динамики

сужения вариативности выводов относительно различных методов оптимизации применяемых численных методов и причины обуславливающие это явление.

2. Выполнен комплексный анализ 179 натуральных краш-тестов из базы NHTSA на опрокидывание ТС на разгонной тележке, а также исследованы данные по EDR банку NASS EDR Report (за период с 2000 по 2015 – всего 10992 записи) и по CDR базе проекта CISS (3226 записей за 2016-2018);

3. Разработана математическая модель перемещений ТС при опрокидывании в комплексной процедуре модельно-ориентированной реконструкции механизма опрокидывания ТС, использующей гибридное решение с риск-ориентированным подходом для оценки травмирования водителя и пассажиров при опрокидывании ТС;

4. Разработана методика учета работ сил на совместное перемещение в контакте и непрерывное изменение угла разворота ТС при его перемещении на стадии отброса;

5. Уточнена методика расчета работы сил совершаемой при опрокидывании ТС, в зависимости от фактического механизма опрокидывания;

6. Разработана методика оптимизации расчетного местоположения точки контакта объектов исследования в ДТЭ на основе кооперативных генетических алгоритмов.

**Теоретическая значимость** работы заключается в разработке и обосновании методики модельно-ориентированной реконструкции ДТП с опрокидыванием ТС совместно с оценки и прогнозированием риска травмирования водителя и пассажиров в системе ВАДС, путем реализации новых расчетно-аналитических методов, на основе анализа и использования больших объемов информационных баз (EDR и CDR - БУРС по ГОСТ Р 58840, а также натуральных краш-тестов) по данным NHTSA).

**Практическая значимость работы** заключается в возможности применения результатов исследования при производстве ДТЭ экспертами по

анализу и реконструкции ДТП с целью повышения категоричности и объективности результатов выполнения ДТЭ, а также органами ГИБДД, следствия, судами и страховыми компаниями при реконструкции механизма ДТП с опрокидыванием.

**Методология и методы исследования** базируется на анализе статистических данных по ДТП с опрокидыванием ТС, методах и результатах ДТЭ использованных при анализе ДТП с опрокидыванием ТС в РФ и за рубежом, рассмотрении и критической оценке научных трудов и публикаций по ним отечественных и иностранных специалистов, посвященных ДТЭ с опрокидыванием ТС, использовании общепризнанных научных методов исследования: анализа и обработки данных методами математической статистики и методов системного анализа, теории моделирования, регрессионного анализа, методов оптимизации генетическими алгоритмами, а также экспертного прогнозирования и экспериментальных исследований.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Закономерности изменения категоричности выводов ДТЭ от объема (качества) исходной ПСИ и методов решения, а также изменения вариативности выводов ДТЭ относительно различных методов оптимизации применяемых численных методов расчета;

2. Математическая модель перемещений ТС при опрокидывании в комплексной процедуре модельно-ориентированной реконструкции механизма опрокидывания ТС, использующей гибридное решение с риск-ориентированным подходом для оценки травмирования водителя и пассажиров при опрокидывании ТС;

3. Методика учета работ сил на совместное перемещение ТС в контакте и непрерывное изменение угла разворота ТС при его перемещении на стадии отброса;

4. Методика расчета работы сил совершаемой при опрокидывании ТС, в зависимости от фактического механизма опрокидывания;

5. Методика оптимизации расчетного местоположения точки контакта объектов исследования в ДТЭ на основе кооперативных генетических алгоритмов.

**Достоверность и обоснованность** результатов диссертационного исследования обеспечена: аналитическим обоснованием цели и связанных с ней задач исследования, в результате оценки 2329 ДТЭ, выполненных в СЗФО; применением апробированных и общеизвестных методов их решения; полученными результатами оценки эффективности предложенных методик в составе модельно-ориентированной реконструкции ДТП с опрокидыванием с риск-ориентированным подходом к оценке травмирования водителя и пассажиров; публикациями и обсуждением на Российских и международным конференциях; Актами внедрения.

**Апробация работы.** Основные положения работы докладывались и обсуждались на конференциях: 72-я всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы современного строительства» (2019), 14-ой международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (2019), 14-ой международной научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (2020), Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» (2021).

**Реализация результатов исследований.** Представленные в диссертации результаты исследований внедрены в деятельность по анализу, реконструкции и профилактике ДТП в ФКУ «Упрдор «Каспий», во 2-ом полку ДПС ГУ МВД России по Московской области, в ОГИБДД УМВД России по Центральному району СПб и в САО «РЕСО-Гарантия».

Результаты работы используются в учебном процессе АДФ СПбГАСУ при подготовке студентов и аспирантов по направлениям подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов»; 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»; 23.05.01 «Наземные

транспортно-технологические средства»; 23.04.01 «Технология транспортных процессов»; 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» в курсах: «Моделирование сложных процессов», «Основы научных исследований», «Организация и безопасность дорожного движения».

**Информационная база исследования.** Нормативно-техническая документация, законодательные и правовые акты, базы данных по натурным краш-тестам, банки данных по EDR/CDR (БУРС по ГОСТ Р 58840) представленным в общем доступе NHTSA, статистические материалы и базы данных федеральных и региональных органов власти, государственных ведомств и других структур, научные труды и методические издания, применяемые в отечественных и зарубежных научно-исследовательских организациях, в сфере анализа и реконструкции ДТП с опрокидыванием ТС.

**Личный вклад автора.** Автором сформулированы цель и задачи работы, в соответствии с ними выполнены теоретические и экспериментальные исследования, на основе результатов которых разработан математический и методический аппарат, реализованный в комплексной процедуре модельно-ориентированной реконструкции механизма опрокидывания ТС, использующей гибридное решение с риск-ориентированным подходом.

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта»: п.5. «Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; совершенствование методов автодорожной и экологической экспертизы, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков» и п.7. «Исследование в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы».

**Публикации.** Основные положения диссертации изложены в 7 работах общим объемом – 22,27 п.л. (авторских – 12,38 п.л.), в том числе 4 - в

изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ, 1 - в Международных индексируемых базах Scopus и Web of Science. Издано 2 - монографий.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 84 наименований. Содержит 173 страницы, 51 иллюстрацию, 46 таблиц и 4 приложения.

# **ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДТЭ И УСТАНОВЛЕНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ КАТЕГОРИЧНОСТЬЮ ВЫВОДОВ ДТЭ, ОБЪЕМОМ ИСХОДНОЙ ПСИ И МЕТОДАМИ РЕШЕНИЯ**

## **1.1 Анализ эффективности и категоричности ДТЭ, выполненных в СЗФО за последние 10 лет**

С целью поиска взаимосвязи между категоричностью полученных выводов по результатам дорожно-транспортной экспертизы (ДТЭ), объемом исходной ПСИ и методами решения, использованными в ДТЭ, а также для определения характера динамики сужения вариативности выводов относительно различных методов оптимизации применяемых численных методов и причин, обуславливающие это явление, т.е. фактически определения эффективности методов анализа и оптимизации решений, используемых в ДТЭ, методами математической статистики были исследованы 2329 ДТЭ (за период с 2011 по 2020 годы), выполнявшихся в рамках гражданского, административного и уголовного производства в государственных экспертных организациях Северо-западного округа РФ (СЗФО). В данный анализ были включены только комплексные исследования (комплексные трасолого-автотехнические экспертизы).

При этом под категоричностью экспертного исследования (выводов ДТЭ) была принята мера полноты выводов, не допускающих существование иных, отличных от полученного, при ракурсе на результаты одной или нескольких примененных процедур исследования со стороны позиции лица назначившего экспертизу, а при ракурсе со стороны эксперта, категоричность выводов ДТЭ принята как комплексная мера достижения конечности исследовательских задач, при выполнении которых цель исследования достигнута без допущений или вероятностных суждений.

В обобщенном виде основные результаты проведенного анализа ДТЭ, выполненных в экспертных организациях СЗФО, за вышеуказанный период, показаны в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные результаты анализа выборки ДТЭ

Анализируемые показатели по выполненным ДТЭ		период исследования			
		с 2011 по 2014 годы	с 2014 по 2017 годы	с 2017 по 2020 годы	
всего проанализировано заключений в исследуемом периоде		786	747	796	
среди них заключений, в которых установленное превышение допустимой скорости находилось в причинной связи с ДТП		67%	63%	65%	
из общего числа заключений в исследуемый период, по видам ДТП в %:	столкновение ТС	59%	61%	63%	
	наезд на пешехода	32%	29%	27%	
	потеря устойчивости	7%	8%	9%	
	иные виды	2%	2%	1%	
имеется категоричный вывод (в % от всех заключений в исследуемом периоде):	по месту ДТП	47%	53%	57%	
	по скорости движения до ДТП	45%	50%	61%	
	по состоятельности версий	52%	59%	63%	
	по траектории перемещений	59%	68%	72%	
в заключениях исследуемого периода применено (в % от общего):	по причинам потери устойчивости	52%	55%	57%	
	графическое моделирование в трасологических исследованиях	2%	8%	14%	
	графическое моделирование в реконструкции механизма ДТП	31%	43%	52%	
	обмер объемной деформаций расчет скорости по ним	22%	28%	32%	
	фотограмметрия	1%	2%	2%	
исследование по видеозаписям	исследование по видеозаписям	4%	18%	32%	
	примененный метод моделирования (визуализации) стадий механизма ДТП, в % от общего:	Графоаналитически в ПО Авто-Граф	89%	82%	78%
		в ПО Virtual Crash	6%	12%	14%
		в ПО PC-Crash	4%	5%	5%
в других программных продуктах		1%	1%	3%	
Расчет скорости движения объектов исследования	не категоричен (расчет не выполнялся, приняты заданные значения или дан мотивированный отказ от расчета)	65%	57%	55%	
	категоричен (расчет выполнен экспертом, вывод не имеет вариативных или вероятностных положений)	35%	43%	45%	
Примененные методы расчета скорости движения объектов исследования	только по следам торможения	67%	52%	39%	
	через работу сил	29%	40%	48%	
	через моменты инерции в ПО	3%	4%	4%	
	по видеозаписи	1%	4%	9%	
В рамках ДТЭ по ДТП где имела место потеря устойчивости,	рассмотрены отклонения в системе ВАДС без анализа причин их возникновения	26%	31%	36%	

Анализируемые показатели по выполненным ДТЭ		период исследования		
		с 2011 по 2014 годы	с 2014 по 2017 годы	с 2017 по 2020 годы
в % от общего их числа:	рассмотрены только системы В и/или А	70%	64%	59%
	Механизм заноса / опрокидывания полностью исследован и определены все его ПВХ стадий	2%	5%	8%
	проведен анализ причин всех выявленных отклонений в системе ВАДС	4%	5%	5%

При этом был выполнен анализ полноты (содержательности) ПСИ по ДТЭ – см. таблицу 1.2, которые были отобраны из общей выборки, среди которых не были даны категоричные выводы по месту ДТП и по скорости движения объектов исследования, с оценкой исходной ПСИ и всех элементов системы ВАДС (включая отдельными подсистемами Пешехода и Пассажира) в категориях полноты объема информации для категоричного решения в рамках ДТЭ. Были обозначены категории: минимальная – объем ПСИ достаточен для формального описания состояния, но не достаточен для реконструкции, достаточная – объем ПСИ достаточен для реконструкций одной или нескольких стадий механизма ДТП, полная – объем ПСИ достаточен для работы в рамках модельно-ориентированной реконструкции (МОР) по [9].

Таблица 1.2 - Результаты анализа полноты ПСИ

Анализируемые показатели полноты информации по выполненным ДТЭ		период исследования		
		с 2011 по 2014 годы	с 2014 по 2017 годы	с 2017 по 2020 годы
Исходная ПСИ	минимальная	67%	64%	62%
	достаточная	33%	36%	38%
	полная	0%	0%	0%
Подсистема Водитель	минимальная	76%	78%	77%
	достаточная	24%	22%	23%
	полная	0%	0%	0%
Подсистема Автомобиль	минимальная	34%	34%	34%

Анализируемые показатели полноты информации по выполненным ДТЭ		период исследования		
		с 2011 по 2014 годы	с 2014 по 2017 годы	с 2017 по 2020 годы
	достаточная	65%	66%	66%
	полная	1%	0%	0%
Подсистема Дорога	минимальная	56%	55%	52%
	достаточная	42%	42%	45%
	полная	2%	3%	3%
Подсистема Среда	минимальная	88%	76%	77%
	достаточная	12%	24%	23%
	полная	0%	0%	0%
Подсистема Пешеход	минимальная	65%	62%	59%
	достаточная	35%	38%	41%
	полная	0%	0%	0%
Подсистема Пассажир	минимальная	82%	79%	73%
	достаточная	18%	21%	27%
	полная	0%	0%	0%

В данной выборке также выполнен анализ ПСИ по свойствам, относительно видов дел, находящихся в производстве при ДТЭ (УГ – уголовные, ГД – гражданские, АД – административные) – см. таблицу 1.3, определяющим ее качество (репрезентативность, содержательность, точность, устойчивость) по результатам которого установлено, что в рассматриваемые периоды времени при стабильно высоких значениях оценки репрезентативности и устойчивости, точность и содержательность ПСИ практически не меняется, т.е. за 10 лет качество ПСИ неизменно остается на среднем уровне, т.к. технологии ее сбора (фиксации и представления) отвечают уровню прошлого века.

Таблица 1.3 – Анализ качества ПСИ

качество ПСИ	Оценка по 10-бальной шкале								
	с 2011 по 2014 годы			с 2014 по 2017 годы			с 2017 по 2020 годы		
	УГ	ГД	АД	УГ	ГД	АД	УГ	ГД	АД
репрезентативность	10	9	9	10	10	10	10	10	10
содержательность	6	4	9	6	5	9	6	5	9
точность	8	8	7	8	8	7	8	8	7
устойчивость	9	9	7	10	9	7	10	9	7

Как отмечалось ранее в [1,3] качество сбора (получения и фиксации с использованием средств измерения) первичной пространственно-следовой информации (ПСИ) с места ДТП (в категориях таких её свойств, как полнота и достоверность) в значительной мере определяет семантическую емкость исследовательского объема ПСИ, её репрезентативность и как следствие влияет на качество экспертного исследования, формально при этом являясь мерой влияющей на достижимую и необходимую точность и достоверность исследования (сходимость с фактическими данными, особенно при наличии видеофиксации).

В обобщенном виде ПСИ, предоставляемая на исследование судебному автотехническому эксперту может быть охарактеризована как условно-определенная в минимально-достаточном для расчета объеме. Свойство ее условной определенности возникает из размытости и нечеткости категорий определения таких важных для расчета значений как, например, коэффициент сцепления, дальность конкретной видимости и многих других, в том числе и повреждений ТС (в первичных документах оформляемых ГИБДД или следствием обычно это просто перечень, не всегда полный и не описывающий повреждение, который не достаточен для исследования, если ТС на момент исследования продано, утилизировано или отремонтировано, а фотоматериал по нему отсутствует).

Минимальная достаточность возникает из скудности технического оснащения и точности применяемых средств измерения при первоначальном процессе сбора ПСИ (осмотр места ДТП, осмотр объектов исследования, выполнение следственных экспериментов и т.п.), при этом часто в представляемом на исследование судебному эксперту объеме ПСИ отсутствуют дополнительные данные влияющие на расчеты: величины фактических уклонов в месте ДТП, местоположения тела пешехода после ДТП и т.п.

При этом как практике государственных судебных экспертов, так и практике коммерческих организаций, выполняющих дорожно-технические

судебные экспертизы, фактически нет практики оценки погрешности вычислений, основанных на нечетких данных, выполняемых в рамках проведенных исследований экспертами, что формально не отвечает требованиям федерального закона 73-ФЗ [45], в части оценки достоверности результатов исследования. Накопление расчетной ошибки связанной с изначальной погрешностью измерений при осмотре места ДТП, например, при расчете скоростей движения объектов исследования может приводить к результирующим значениям, сильно отличным от фактических [3,10,44].

В части задач лежащих в области анализа и выявления места начала контактно-следового взаимодействия (КСВ) при расчетных значениях скоростей, накопление ошибки вычислений приводит к варьированию значений определяемых границ области фактического местоположения точки начала контакта. Кроме того, в большинстве случаев экспертами не уделяется должного внимания пути совместных перемещений объектов исследования, коэффициентам восстановления и трения в контактной зоне (при моделировании в программных средах типа PC-Crash) при реконструкции ДТП, что также оказывает влияние на точность рассчитываемых значений пространственно-временных характеристик стадий механизма ДТП [3].

Выше обозначенные свойства первичной ПСИ и вторичной ПСИ (получаемой в ходе следственных и/или экспертных действий) оказывают существенное влияние на точность результатов расчетов при определении скорости движения объектов исследования, пространственно-временных характеристик перемещений на разных стадиях механизма ДТП и в том числе при установлении места столкновения или наезда на основе положений модельно-ориентированной реконструкции (МОР) изложенной в [9].

Из общей выборки также были выбраны заключения по ДТЭ, где на исследование ставился вопрос об установлении места контакта (наезда или столкновения) из них было отобрано 873 заключения по столкновениям (различного вида из них 288 случаев типа О+С, т.е. когда опрокидывание

имело место ранее столкновения) и 658 заключений по наездам на пешехода. Из полученной выборки было определено процентное соотношение, исследовательских случаев, когда место столкновения (рис.1.1), место наезда (рис.1.2) и место опрокидывания (рис.1.3) было определено как область (не категоричное решение) и как точка (категоричное решение) в зависимости от метода определения, без учета заключений в которых применялись модели оптимизации в специальном программном обеспечении (а именно в PC-Crash).



Рисунок 1.1 - Результаты анализа выборки по определению места столкновения

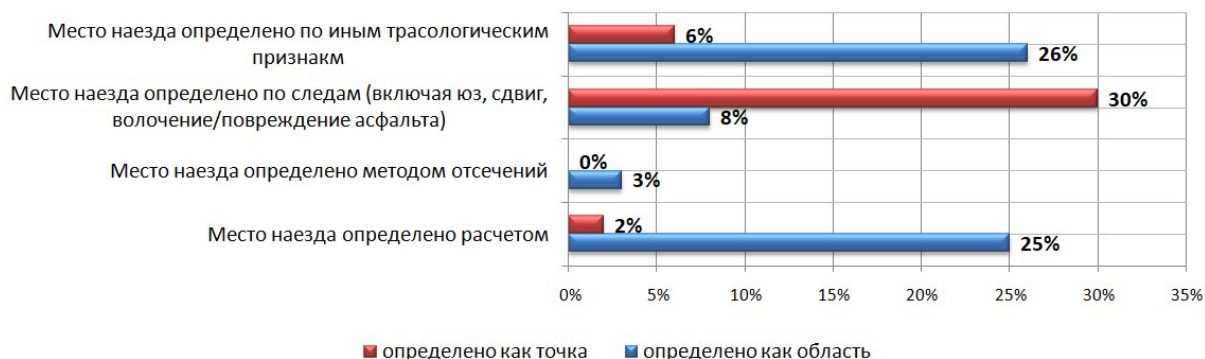


Рисунок 1.2 - Результаты анализа выборки по определению места наезда на пешехода



Рисунок 1.3 - Результаты анализа выборки по определению места начала опрокидывания

Категоричные решения по местоположению места столкновения в виде точки пространства (на проезжей части, относительно ее границ) были получены в 43% из исследуемых случаев (рис.1.1), категоричные решения по местоположению места наезда в виде точки пространства (на проезжей части, относительно ее границ) были получены в 38% из исследуемых случаев (рис.1.2) и соответственно категоричные решения по местоположению места наезда в виде точки пространства (на проезжей части, относительно ее границ) были получены только в 44% из исследуемых случаев (рис.1.3).

Среди тех случаев когда была определена расчетная область следует выделить, что в 75% исследованных столкновений длина меньшей оси эллипса полученной области была более 1,2 м, что позволило дать категоричный вывод только в 25% исследований (рис.1.4).

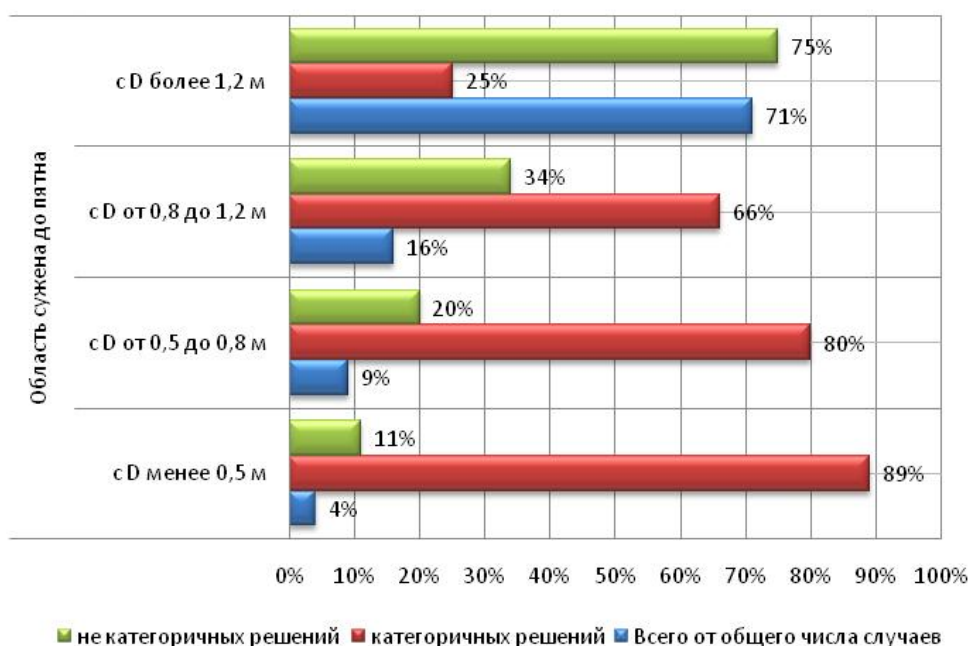


Рисунок 1.4 - Результаты анализа столкновений, когда расчетным путем определена область фактического контакта

Соответственно, среди тех случаев наездов на пешеходов, когда была определена расчетная область следует выделить, что в 63% исследованных наездов длина меньшей оси эллипса полученной области была более 1,2 м,

что позволило дать категоричный вывод только в 33% исследований (рис.1.5).

Аналогично, среди тех случаев О+С, когда была определена расчетная область следует выделить, что в 75% исследованных опрокидываний длина меньшей оси эллипса полученной области была более 1,2 м, что позволило дать категоричный вывод только в 30% исследований (рис.1.6).

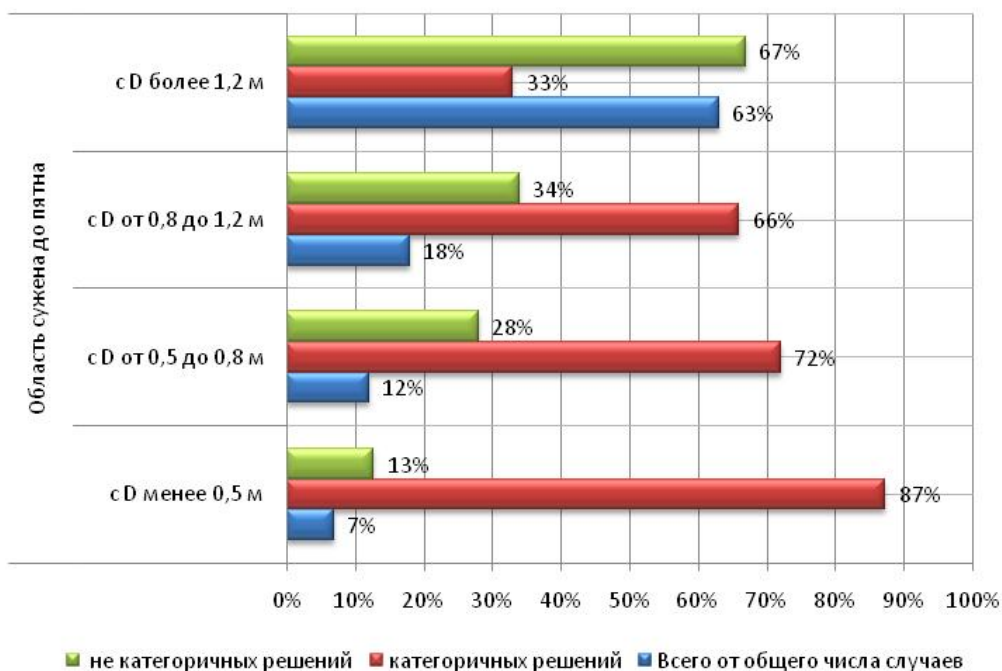


Рисунок 1.5 - Результаты анализа наездов на пешехода, когда расчетным путем определена область фактического контакта

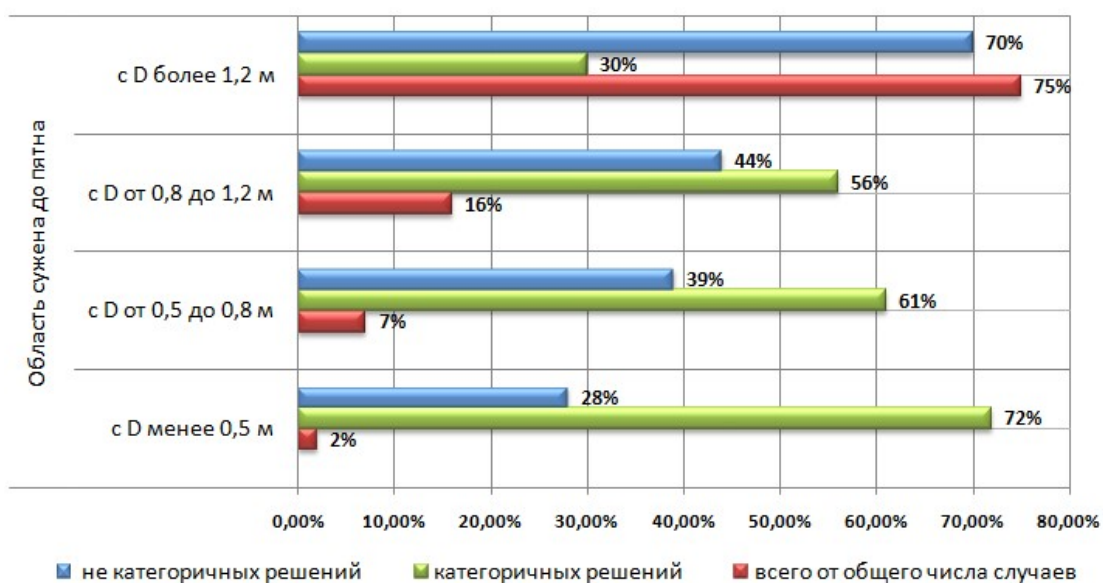


Рисунок 1.6 - Результаты анализа случаев О+С, когда расчетным путем определена область фактического контакта

При этом в рамках ДТЭ с исследованием наездов на пешеходов полученные расчетные области фактического местоположения точки наезда по длине большей оси эллипса в 54% случаев были более 6 м, при этом только в 42% случаев место наезда указанное водителем попадало в границы эллипса расчетной области контакта. Аналогично при исследовании места столкновения ТС расчетные области фактического местоположения точки столкновения по длине большей оси эллипса в 39% случаев были более 8 м, при этом только в 38% случаев место наезда указанное водителем (-ми) попадало в границы эллипса расчетной области контакта.

В части ДТЭ с исследованием опрокидываний, а именно в случаях О+С расчетные области фактического местоположения точки начала опрокидывания по длине большей оси эллипса в 49% случаев были более 12 м [3].

Обобщая представленные данные, следует отметить, что в 68% расчетных случаев область фактического контакта объектов исследования (ОИ) может быть выделена только в области овальной (эллипсоидной) формы (разной протяженности и разного сечения) множество точек пространства внутри которых может являться фактической точкой контакта ТС. При этом, например, для случаев встречных ДТП, такая расчетная область может находиться без преобладания на какую либо из сторон проезжей части, т.е. равновероятно на попутной и на встречной стороне движения, относительно направления движения одного из ТС. Т.е. задача ДТЭ в которой необходимо определить место контакта ОИ не может быть конкретизирована до установления фактической точки пространства, а результаты моделирования позволяют только выделить область контакта, которая может занимать промежуточное положение между заданными границами реконструируемых обстоятельств: наличия или отсутствия ТВ избежать наезда, нахождения места наезда в зоне или вне зоны пешеходного перехода [3].

По своей сути, аналогичная ситуация складывается и при исследовании наездов на пешеходов и при производстве ДТЭ по ДТП с опрокидыванием, в частности, в большинстве случаев, место наезда на пешехода и место начала опрокидывания не может быть конкретизировано до фактической точки пространства, результаты моделирования позволяют только выделить область контакта, которая может занимать промежуточное положение между заданными границами реконструируемых обстоятельств: наличия или отсутствия ТС избежать ДТП, нахождения места наезда в зоне или вне зоны пешеходного перехода и т.д. [3-5].

Это позволяет считать, что действующие методы не позволяют получить точное или максимально приближенное решение, отвечающим требованию обоснованности и достоверности экспертного исследования [3].

## **1.2 Анализ ДТЭ по ДТП с опрокидыванием ТС**

В общей выборке исследуемых ДТЭ были отдельно проанализированы заключения ДТЭ по ДТП, где имели место потеря устойчивости и опрокидывание ТС, в этом анализе было использовано 354 заключения и материалы к ним, были выявлены основные причины потери устойчивости – рис.1.7, а также определено распределение ДТП с опрокидыванием по времени суток и кварталам года (рис.1.8), распределение классов ТС по годам выпуска в ДТП с опрокидыванием (рис.1.9), распределение количества четвертей оборота от скорости движения ТС до начала опрокидывания (рис.1.10) и установлено распределение величины разворота по вертикальной оси ТС, предшествующего началу опрокидывания (рис.1.11).

А также было определено распределение зон травмирования (водителя и пассажиров на переднем правом и на задних левом и правом сиденьях, для случаев пристегнутого и не пристегнутого штатного ремня безопасности) в зависимости от вида опрокидывания в % соотношении от общего числа

случаев с AIS3+ (тяжкий вред и летальный исход, согласно судебно-медицинских заключений).

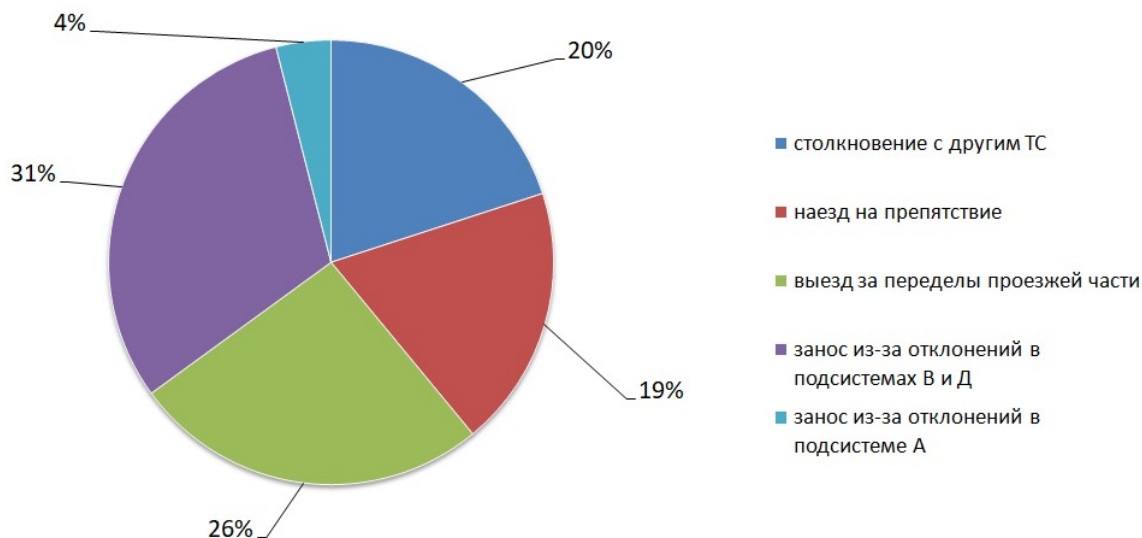


Рисунок 1.7 - Причины опрокидывания ТС в % от общего числа

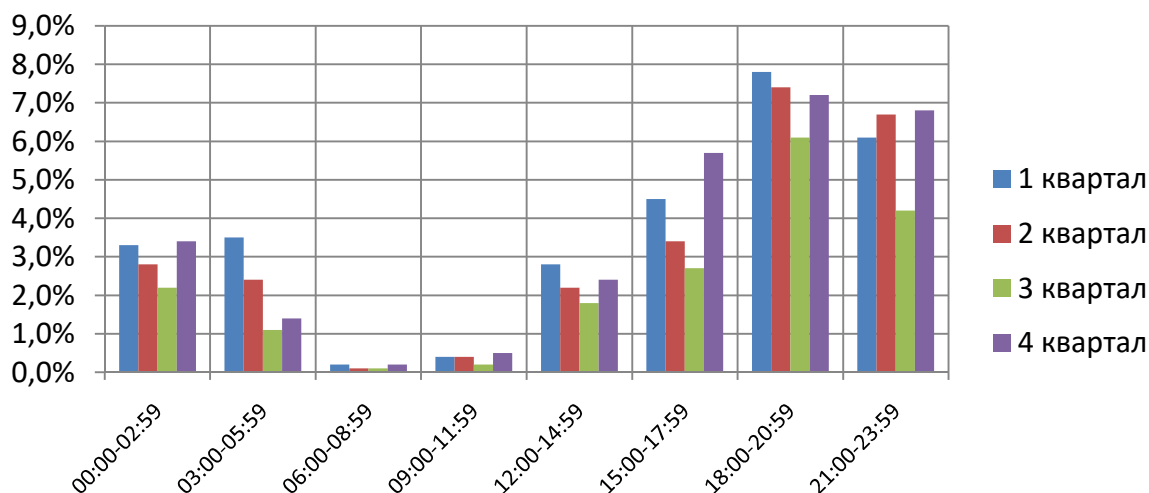


Рисунок 1.8 - Распределение ДТП с опрокидыванием по времени суток и кварталам года

Также было получено распределение повреждений в % от всех AIS3+ политравм по случаям, когда столкновение имело место до опрокидывания (С+О) и наоборот (О+С). Соответственно для водителей с пристегнутым ремнем безопасности распределение телесных повреждений показано в таблице 1.4, для пассажиров – в таблице 1.5.

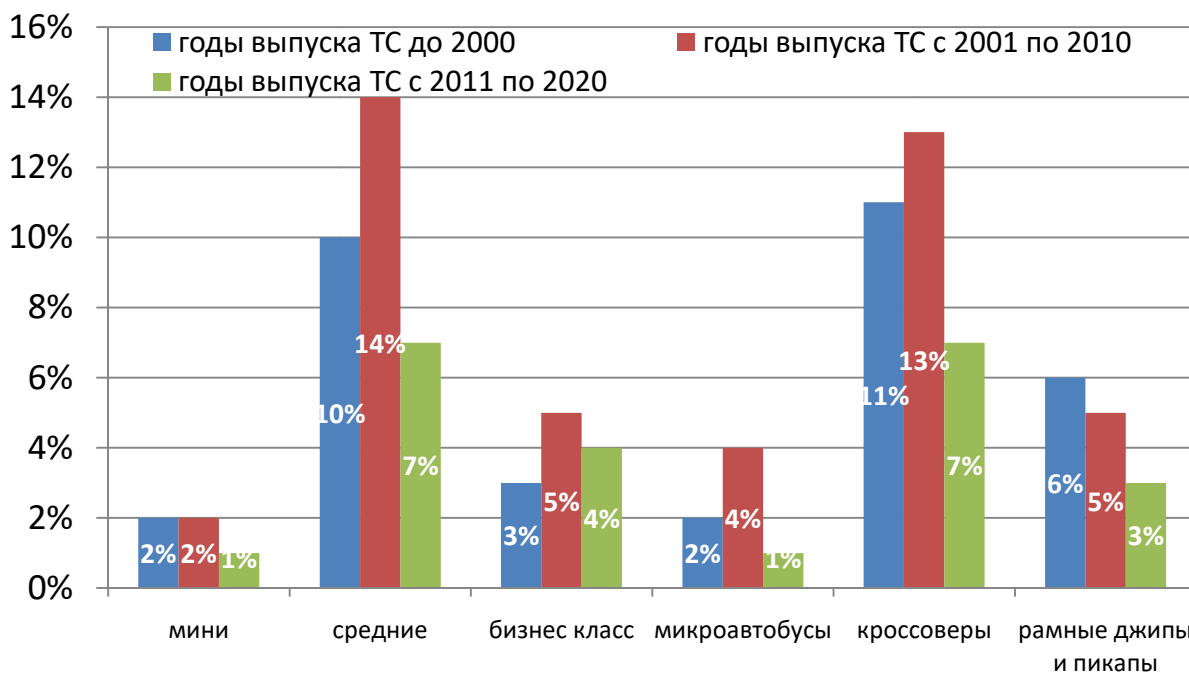


Рисунок 1.9 - Распределение классов ТС по годам выпуска в ДТП с опрокидыванием

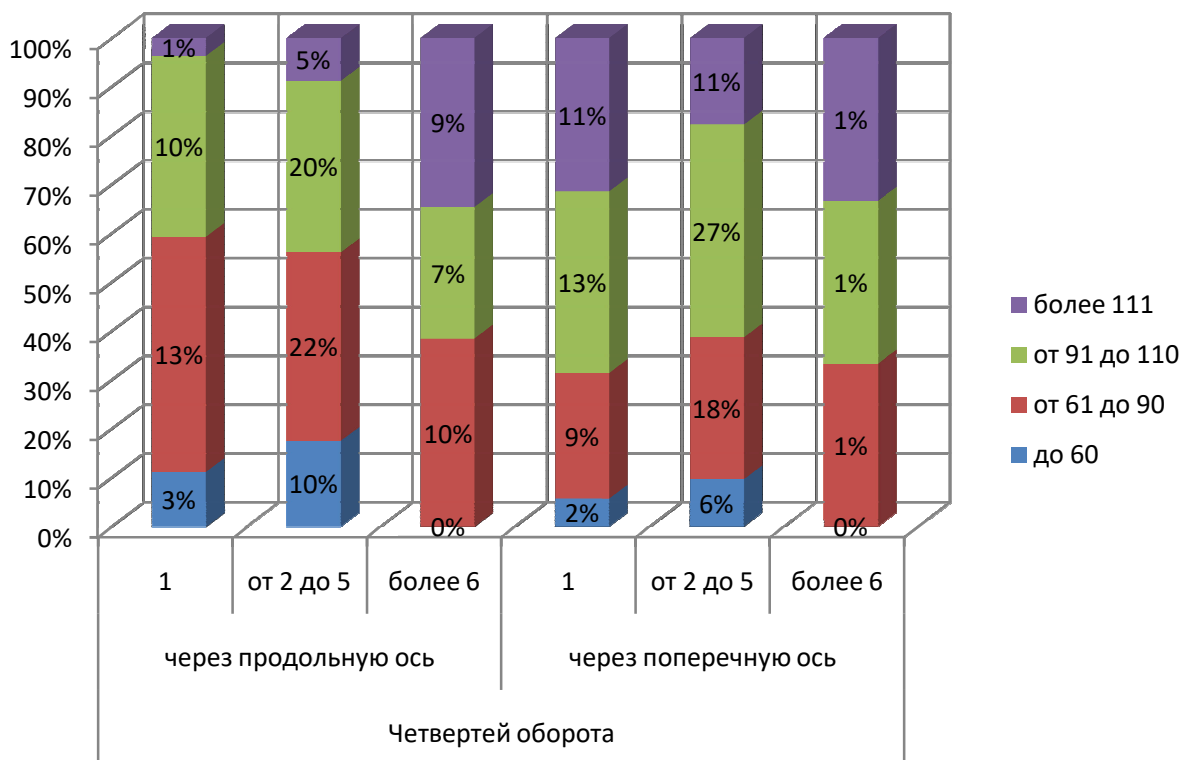


Рисунок 1.10 – Распределение количества четвертей оборота от скорости движения ТС до начала опрокидывания

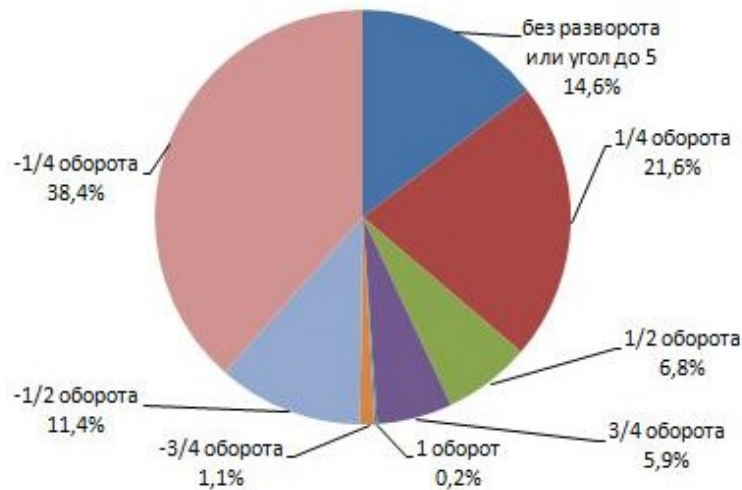


Рисунок 1.11 – Распределение величины разворота по вертикальной оси ТС, предшествующего началу опрокидывания

Таблица 1.4 – Распределение телесных повреждений водителя, при пристегнутом ремне безопасности

Распределение повреждений в % от всех AIS3+ травм	Вид опрокидывания		С+О	О+С
	Продольное	Поперечное		
голова	26	15	24	25
лицо	5	3	7	5
шея	2	1	2	5
реберный отдел	8	26	8	9
верхние конечности	12	17	12	14
позвоночник	28	5	29	27
внутренние органы	4	5	4	5
нижние конечности	15	28	14	15

Таблица 1.5 – Распределение телесных повреждений пассажира, при пристегнутом ремне безопасности

Распределение повреждений в % от всех AIS3+ травм	Вид опрокидывания		С+О	О+С
	Продольное	Поперечное		
голова	24	12	25	24
лицо	4	5	8	6
шея	2	2	5	9
реберный отдел	8	26	8	9
верхние конечности	13	15	12	14
позвоночник	29	6	30	27
внутренние органы	2	7	3	5
нижние конечности	15	24	12	12

Аналогично было получено распределение повреждений в % от всех AIS3+ политравм по случаям, когда столкновение имело место до опрокидывания (С+О) и наоборот (О+С) для не пристегнутого ремня – у водителей в таблице 1.6, у пассажиров на переднем месте – в таблице 1.7.

Таблица 1.6 – Распределение телесных повреждений водителя, при не пристегнутом ремне безопасности

Распределение повреждений в % от всех AIS3+ травм	Вид опрокидывания		С+О	О+С
	Продольное	Поперечное		
голова	38	41	34	37
лицо	12	15	6	9
шея	7	7	9	11
реберный отдел	21	26	8	9
верхние конечности	19	19	12	14
позвоночник	28	17	29	27
внутренние органы	4	5	4	5
нижние конечности	19	27	14	15

Таблица 1.7 – Распределение телесных повреждений пассажира, при не пристегнутом ремне безопасности

Распределение повреждений в % от всех AIS3+ травм	Вид опрокидывания		С+О	О+С
	Продольное	Поперечное		
голова	34	21	36	43
лицо	4	5	8	6
шея	5	7	16	27
реберный отдел	12	35	8	14
верхние конечности	22	34	17	19
позвоночник	35	15	36	37
внутренние органы	7	9	7	9
нижние конечности	18	29	27	27

Представленные в таблицах 1.4-1.7 результаты позволяют выделить основными зонами высокого риска травмирования: голову, верхние конечности и позвоночник (усреднено для любого лица на любом месте в салоне ТС при опрокидывании ТС). Это также позволяет выделить три основных индекса травмирования, используемых в мировой практике [1]: НИС, ASI, AIS, использование которых (помимо КПП по [1]) может использоваться

как показатель комплексной оценки риска травмирования при решении специализированных задач ДТЭ, исследование которых показано далее.

### **1.3 Анализ категоричности решения задач ДТЭ, связанных с травмированием водителя и/или пассажиров**

В зарубежной практике, в частности в США используются базы данных, организованные под эгидой NHTSA, при этом данные по ним представлены в свободном доступе и включают внушительный объем данных по ДТП с политравмами более AIS3+, включая опрокидывания. Среди них следует выделить как основные: Fatality Analysis Reporting System (FARS) - система отчетности по анализу смертности и Crashworthiness Data System (CDS) - система данных об аварийной безопасности.

С учетом известных публикаций за предшествующие периоды времени [16,20,22,23,28,46,50,52,55-57,60-63,67,71,76,79], на основе баз данных CDS и FARS (данные о реальных ДТП с 2004 по 2019 годы с тяжким или летальным исходом), опубликованных в общем доступе на сайте NHTSA, был произведен дополнительный анализ зон травмирования (водителя и пассажиров) и мест их выброса из салона при ДТП с опрокидыванием ТС. При этом в общей выборке было проанализировано более 22623 записей о ДТП с опрокидыванием, за период с 2010 по 2019 годы. В результате обработки этих данных, было получено распределение зон травмирования при опрокидывании ТС и перемещении внутри его салона не пристегнутого ремнем безопасности водителя в общем объеме выборки случаев (ДТП) по базам CDS и FARS в зависимости от диапазона значений  $\Delta V$  представлена на рис.1.12.

На основе этой же выборки были получено процентное распределение зон выброса из салона ТС от общего числа случаев в зависимости от класса ТС, которое показано в таблице 1.8.

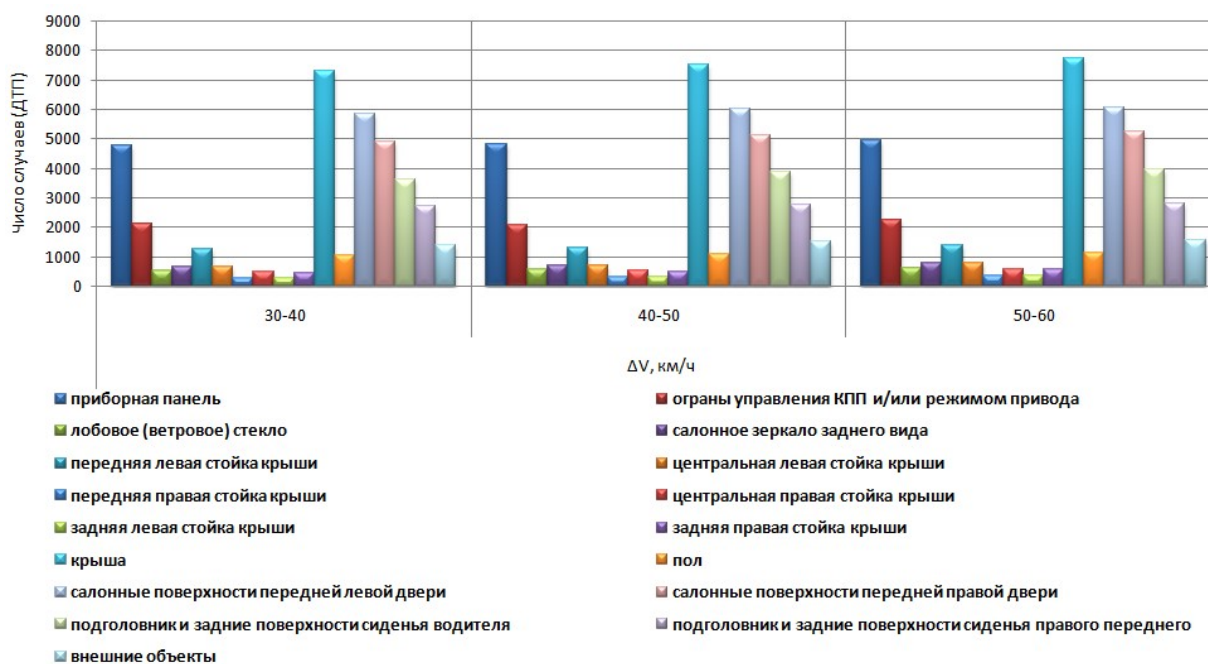


Рисунок 1.12 – Распределение зон травмирования не пристегнутого ремнем безопасности водителя внутри салона ТС при опрокидывании в общем объеме выборки случаев (ДТП) в зависимости от диапазона значений  $\Delta V$

Таблица 1.8 – Распределение в % от общего числа случаев зон выброса из салона ТС в зависимости от класса ТС

№	Зона выброса из салона ТС	класс ТС				
		малые	средние	большие	кроссоверы	джипы и пикапы
1	проем лобового (ветрового) стекла	3,8	3,2	4,7	4,5	3,5
2	проем заднего стекла (стекла задней двери)	2,5	2,0	1,3	2,2	4,7
3	проем стекла левой передней двери	31,7	32,2	36,1	38,3	41,0
4	проем стекла правой передней двери	28,4	30,0	31,1	34,1	39,1
5	проем стекла задней левой двери	7,1	7,1	10,3	10,3	6,3
6	проем стекла правой задней двери	5,6	5,9	8,5	9,4	4,7
7	крыша	20,9	19,6	8,2	1,1	0,7

Далее с учетом вышеуказанной выборки по ДТЭ по СЗФО, была проанализирована категоричность выводов, данных экспертами при решении частных задач реконструкции механизма ДТП с опрокидыванием (все случаи: О, С+О и О+С). В частности, по уголовным делам, среди основных (типовых) задач реконструкции механизма опрокидывания, были выделены

следующие формулировки типовых задач ДТЭ, при анализе ДТП с опрокидыванием (индексы приведены в начале формулировки и далее используются по тексту для сокращения описания вида задачи):

А1. Определение лица управлявшего ТС из числа лиц находившихся в салоне. Данная задача ставилась в случаях когда решение путем дактилоскопических и их иных смежных экспертиз не могло быть получено, в следствии разнообразных причин (например, отсутствия сохранности ОИ или невозможности идентификации биоматериала лиц находившихся в салоне ОИ). Такого вида задачи ставились в 97 ДТЭ по случаям О, С+О и О+С;

А2. Определение лица управлявшего ТС из числа лиц покинувших салон. Такого вида задачи ставились в тех же случаях что и А1, при этом это имело место в 124 ДТЭ по случаям О, С+О и О+С;

Б1. Определение тяжести травмирования в случае движения с максимально допустимой в данной ДТС по ПДД РФ скоростью движения ТС ( $V_d$ ) ТС в котором анализируется травмирование (случаи О и О+С). Данная задача ставилась на исследование более чем в 242 ДТЭ по случаям О и О+С;

Б2. Определение тяжести травмирования в случае движения с  $V_d$  ТС которое имело КСВ с ТС, в котором анализируется травмирование. Данная задача ставилась на исследование более чем в 148 ДТЭ по случаям С+О и О+С;

В. Определение находятся ли в причинной связи не применение ремня безопасности водителем или пассажирами с полученными ими травмами. Данная задача ставилась на исследование более чем в 557 ДТЭ по случаям О, С+О и О+С.

В общей выборке ДТЭ использованной в настоящем исследовании (см. выше разделы 1.1-1.2) был также выполнен анализ категоричности выводов по индексированным задачам ДТЭ при реконструкции опрокидываний (для всех случаев: О, С+О и О+С), результаты которого показаны в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Анализ категоричности выводов по индексированным задачам ДТЭ при реконструкции опрокидываний

Индекс задачи ДТЭ	количество ДТЭ где ставились индексированные задачи, % из общей выборки ДТЭ анализируемых в главе 1	Анализ СМЭ		Вывод по задаче в ДТЭ, % от общего числа			Причины, указанные экспертами в обоснование отказа от вывода
		Наличие СМЭ на момент производства ДТЭ, % от общего числа	Данные СМЭ, достаточны для точной идентификации контактных зон в салоне ТС, % от общего числа	категоричный	вероятностный	отказ от вывода, указано что не представляется возможным установить	
A1	12	98	2	16	34	50	недостаточность исходных данных
A2	10	99	1	9	31	60	недостаточность исходных данных
B1	32	98	85	4	12	84	отсутствие методики
B2	28	99	87	4	17	79	отсутствие методики
B	41	100	95	5	25	70	отсутствие методики

Таким образом, в 67% ДТЭ, в которых решались вышеуказанные задачи индексированные как: A1, A2, B1, B2 и B, был дан отказ от вывода, при этом в обосновании отказа преобладало «отсутствие методики». При этом только в среднем в 10% ДТЭ был дан категоричный вывод по вышеуказанным задачам.

Таким образом, выполненный анализ позволил определить взаимосвязь между категоричностью полученных выводов по результатам исследования, объемом исходной ПСИ и методами решения, из которой очевидно следует, что категоричность выводов ДТЭ непосредственно зависит от содержательности исходной ПСИ, при этом метод применяемый при решении задач ДТЭ избирается экспертами исходя именно из объема

имеющейся ПСИ по ОИ (подсистемам ВАДС). Кроме того, широту вариативности выводов относительно различных методов оптимизации применяемых численных методов следует охарактеризовать как экспоненциально зависящую от качественных свойств ПСИ и это явление обусловлено прямой причинно-следственной связью между методами сбора и фиксации ПСИ на месте ДТП и по ОИ, методами обработки полученной ПСИ и требуемым объемом ПСИ для реализации МОР.

Это позволяет определить характер производства ДТЭ, с подавляющем большинстве случаев, как экспертное исследование, основанное частично на нечетких и/или неопределенных данных с оптимизацией поиска краевых решений, в частности в задачах определения скорости движения ОИ до ДТП – определения минимального значения при минимальных значениях диапазонов исходных значений, а в задачах определения места ДТП (места опрокидывания) – определения границ области допустимого решения.

#### **1.4 Анализ изменения коэффициента поперечной устойчивости с учетом рейтинга устойчивости к опрокидыванию**

Статический коэффициент поперечной устойчивости (СКПУ) -  $K_{уст}$ , в зарубежных изданиях обозначаемый SSF (Static Stability Factor) определяется как:

$$K_{уст} = \frac{K}{2 \cdot h_{г}}, \quad (1.1)$$

где  $K$  – колея колес ТС, м;

$h_{г}$  – высота центра тяжести ТС от опорной поверхности, м.

Фактически как было определено ранее, опрокидыванию в для случаев О+С и О в 88% предшествует потеря устойчивости, сопровождающаяся в начальной фазе потерей поперечной устойчивости и заносом одной из осей, критические условия начала скольжения, а именно критическая скорость

начала заноса в отечественной литературе [2,19,42,43] определяется следующим условием:

$$\tan \beta \geq \mu K_{уст} \geq \varphi' \quad (1.2)$$

Где  $\beta$  – угол поперечного уклона, град;

$\mu$  - коэффициент предварительного поперечного крена подрессоренной массы;

$\varphi'$  – коэффициент сцепления в поперечном направлении.

При этом, в зарубежной литературе, в отличие от отечественной, СКПУ формально применяется как базовый компонент риска опрокидывания, но при этом мало уделяется внимания тому, что СКПУ связан не только опрокидыванием, но и с компонентами риска заноса ТС (так как в случаях О и О+С, занос имеет место ранее факта опрокидывания в 88% случаев). Что также при производстве ДТЭ, следует учитывать при определении критической скорости по условию начала скольжения и/или опрокидывания.

В этой связи, а также с учетом дальнейших исследований в соответствии с задачами настоящего диссертационного исследования, следует отметить, что базы данных NHTSA как по краш-тестам, так и политравмам в фактических ДТП охватывают почти весь рынок ТС в Серверной Америке, для примера, доля легковых ТС в % от общего числа на рынке, которые исследовались по правилам NCAP по годам показано в таблице 1.10.

Колебание значений СКПУ в зависимости от класса ТС по годам показано на рис.1.13. Откуда, средние значения за период выборки составляют: для малых легковых а/м: 1,25, для средних легковых а/м: 1,39, для больших легковых а/м: 1,42, для кроссоверов: 1,20 и для джипов и пикапов: 1,18.

Таблица 1.10 – Доля ТС в % от общего числа на рынке, которые исследовались по правилам NSAP по годам

годы	класс ТС				
	малые	средние	большие	кроссоверы	джипы и пикапы
2010	28%	35%	30%	91%	95%
2011	27%	29%	30%	84%	90%
2012	27%	30%	29%	90%	89%
2013	28%	29%	29%	90%	93%
2014	29%	34%	31%	91%	92%
2015	30%	34%	31%	90%	91%
2016	29%	33%	30%	92%	93%
2017	29%	35%	30%	92%	94%
2018	30%	35%	31%	90%	92%
2019	30%	34%	32%	90%	91%
2020	31%	33%	32%	91%	92%

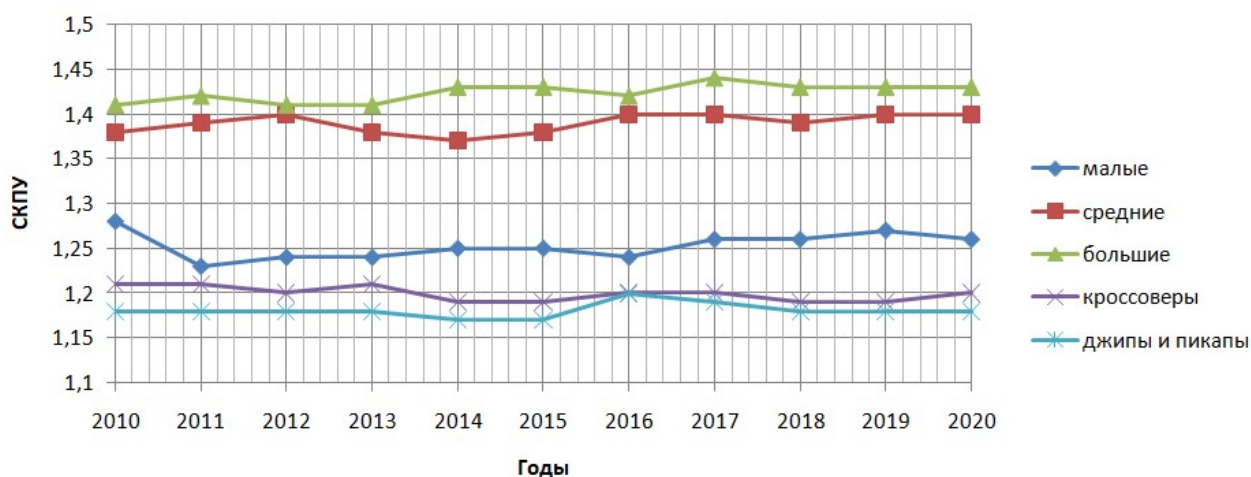


Рисунок 1.13 – Колебания значения СКПУ в зависимости от класса ТС по годам

Рейтинговая (бальная) система оценки устойчивости к опрокидыванию по [], определяет диапазоны ранжирования, показанные в таблице 1.11.

Таблица 1.11 – Значения СКПУ и вероятности опрокидывания на одно ДТП по баллам рейтинга по [56,67]

Баллы рейтинга (количество условных звезд)	Вероятность опрокидывания на одно ДТП, в %	СКПУ
1	Более 40 %	Менее 1,03
2	30÷40 %	1,04 ÷ 1,12
3	20÷30 %	1,12 ÷ 1,24
4	10÷20 %	1,25 ÷ 1,44
5	Менее 10 %	Более 1,45

При этом по [56,67], изменение вероятности опрокидывания на одно ДТП  $R_{OP}$  от  $K_{уст}$  описывается следующим уравнением:

$$R_{OP} = 13,42e^{-3,38K_{уст}} \quad (1.3)$$

Учитывая вышеприведенные тенденции изменения СКПУ по классам ТС, следует отметить что данные по [56,67], опубликованные до 2006 года, на настоящий момент не соответствуют тенденциям современного рынка легковых ТС, находящихся в эксплуатации. В связи с чем, данное ранжирование должно быть пересмотрено (актуализировано и дополнено) с учетом реальных случаев с политравмой выше AIS3+ по базе CDS и FARS. Кроме того, в части применения риск-ориентированного подхода в ДТЭ, в процедурах МОР, использование СКПУ как базового компонента риска, позволяет выработать методический подход к решению задач типа А1, А2, Б1, Б2 и В (см. выше).

### **Выводы по Главе 1**

1. В результате исследования 2329 ДТЭ (за период с 2011 по 2020 годы), выполнявшихся в рамках гражданского, административного и уголовного производства в государственных экспертных организациях СЗФО, была дана оценка категоричности выводов, методов исследования использованных в данных ДТЭ, выявлены свойства ПСИ в них использованной.

2. При исследовании наездов на пешеходов и при производстве ДТЭ по ДТП с опрокидыванием, в частности, в большинстве случаев, место наезда на пешехода и место начала опрокидывания не может быть конкретизировано до фактической точки пространства, результаты моделирования позволяют только выделить область контакта, которая может занимать промежуточное положение между заданными границами реконструируемых обстоятельств: наличия или отсутствия ТС избежать ДТП,

нахождения места наезда в зоне или вне зоны пешеходного перехода и т.д. Это позволяет считать, что действующие методы не позволяют получить точное или максимально приближенное решение, отвечающим требованию обоснованности и достоверности экспертного исследования.

3. В общей выборке исследуемых ДТЭ были отдельно проанализированы заключения ДТЭ по ДТП, где имели место потеря устойчивости и опрокидывание ТС, в этом анализе было использовано 354 заключения и материалы к ним, были выявлены основные причины потери устойчивости, а также определено распределение ДТП с опрокидыванием по времени суток и кварталам года, распределение классов ТС по годам выпуска в ДТП с опрокидыванием, распределение количества четвертей оборота от скорости движения ТС до начала опрокидывания и установлено распределение величины разворота по вертикальной оси ТС, предшествующего началу опрокидывания.

4. Было определено распределение зон травмирования (водителя и пассажиров, для случаев пристегнутого и не пристегнутого штатного ремня безопасности) в зависимости от вида случая (С+О и О+С) в % соотношении от общего числа случаев с AIS3+ (тяжкий вред и летальный исход, согласно СМЭ). Были выделены три основных индекса травмирования, используемых в мировой практике [60,62,67]: NIC, ASI, AIS, использование которых (помимо КПТ по [9]) может использоваться как показатель комплексной оценки риска травмирования при решении специализированных задач ДТЭ.

5. В 67% ДТЭ, в которых решались задачи А1, А2, Б1, Б2 и В, был дан отказ от вывода, при этом в обосновании отказа преобладало «отсутствие методики». При этом только в среднем в 10% ДТЭ был дан категоричный вывод по вышеуказанным задачам.

6. Широту вариативности выводов относительно различных методов оптимизации применяемых численных методов следует охарактеризовать как экспоненциально зависящую от качественных свойств ПСИ и это явление обусловлено прямой причинно-следственной связью между методами сбора

и фиксации ПСИ на месте ДТП и по ОИ, методами обработки полученной ПСИ и требуемым объемом ПСИ для реализации МОР.

7. Установлено что СКПУ связан не только опрокидыванием, но и с компонентами риска заноса ТС (так как в случаях О и О+С, занос имеет место ранее факта опрокидывания в 88% случаев). Что следует учитывать при определении критической скорости по условию начала скольжения и/или опрокидывания в рамках производства ДТЭ.

8. Базы краш-тестов NHTSA содержат в себе данные о колесе и о взвешивании тестовых ТС, таким образом они пригодны для расчета СКПУ и использовании полученных значений в дальнейшем исследовании.

9. При применении риск-ориентированного подхода в ДТЭ, в процедурах МОР, использование СКПУ как базового компонента риска, позволяет выработать методический подход к решению задач типа А1,А2, Б1, Б2 и В.

## ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ДТП С ОПРОКИДЫВАНИЕМ

### 2.1 Структура дерева причин и обстоятельств опрокидывания ТС

Основные задачи, возникающие перед экспертами при производстве ДТЭ, в случаях исследования ДТП опрокидыванием ТС (реконструкции механизма опрокидывания) показаны на рис.2.1. Индексы задач 3.1-3.4 показанных на рис.2.1 использованы на рис.2.2, где показана обобщенная структура дерева причин и обстоятельств опрокидывания ТС.

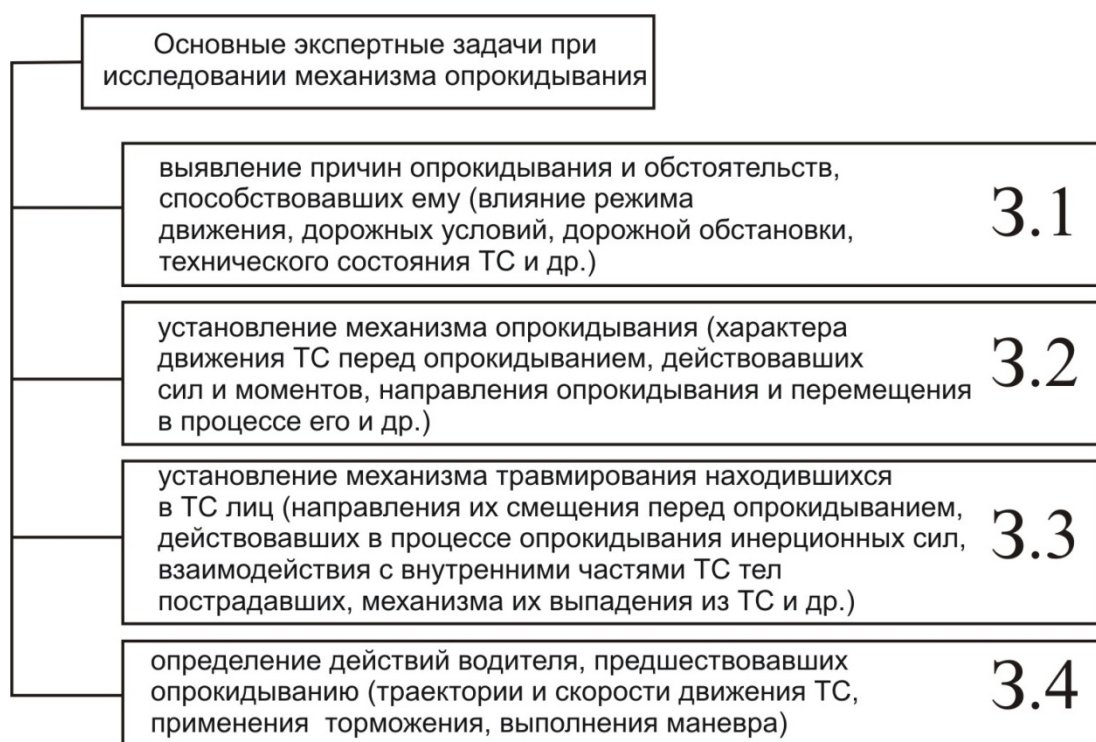


Рисунок 2.1 – Основные задачи ДТЭ при исследовании механизма опрокидывания ТС. Индексы использованные на рисунке, используются на далее рис.2.2

«Опрокидывание ТС наступает в момент, когда точка на опорной поверхности, через которую проходит вектор равнодействующей всех внешних сил, приложенных к ТС, выходит за пределы опорной площади (площади, ограниченной линиями, проходящим через точки приложения реакций опор). Такими силами могут быть силы инерции, силы взаимодействия ТС с препятствиями, сила веса самого ТС и др.» [43].

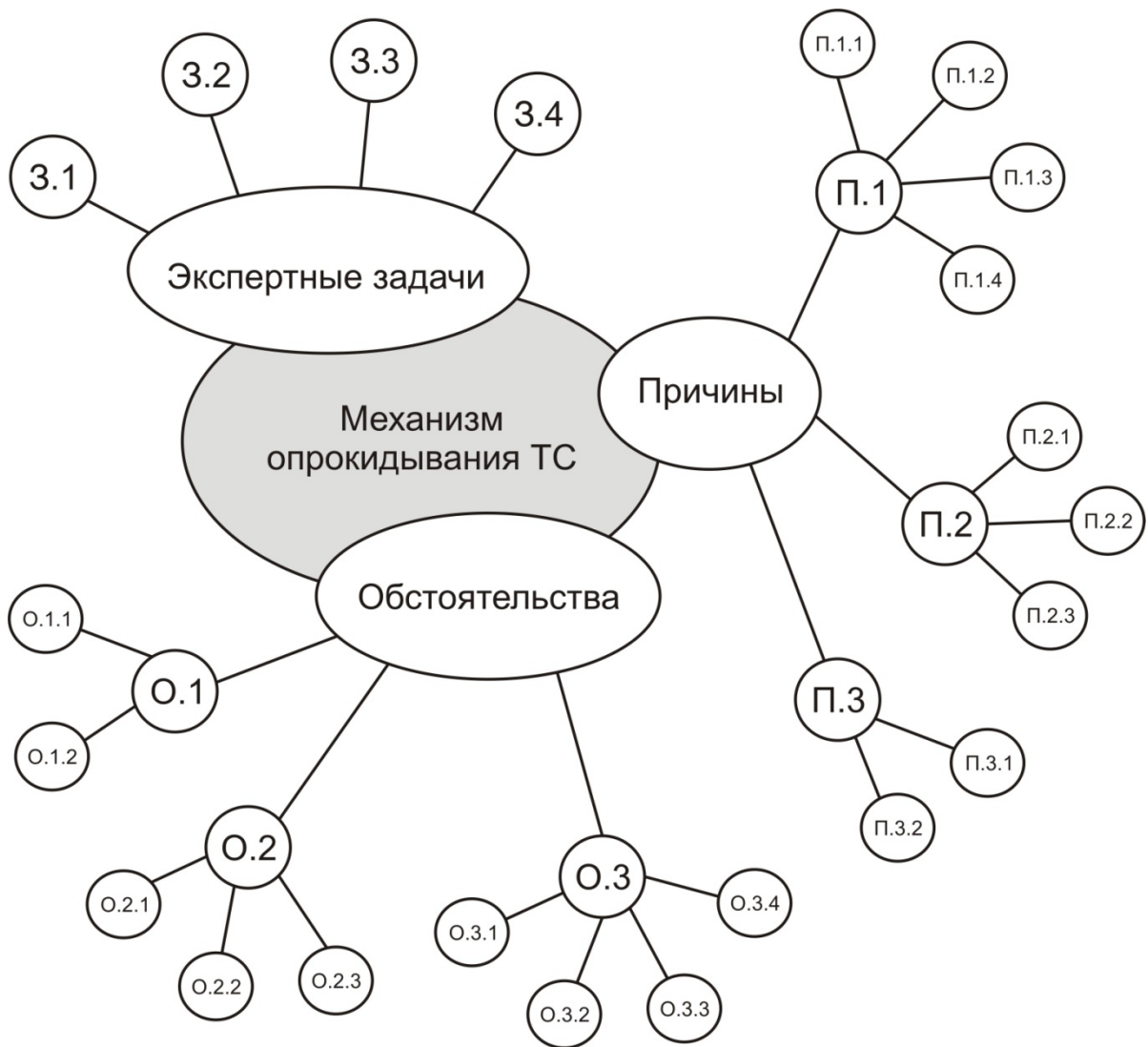


Рисунок 2.2 – Дерево причин и обстоятельств опрокидывания ТС

Основные причины опрокидывания ТС по [43] можно подразделить на 3 группы (см. рис.2.2):

П.1 – «опрокидывание под действием силы инерции движущегося ТС» [43]. В данной группе: П.1.1 - «движение ТС с заносом по поверхности дороги с высоким значением коэффициента сцепления или с вязким рыхлым грунтом, в который колеса врезаются при их боковом смещении» [43]; П.1.2 – «ограничение смещения колес в направлении движения ТС (упор в бордюр, выбоину в процессе заноса - боковое опрокидывание, упор передних колес в неподвижное препятствие - опрокидывание через переднюю ось)» [43]; П.1.3

– «резкий поворот ТС с радиусом, не соответствующим избранной скорости по условиям устойчивости против опрокидывания на дорогах с высоким значением коэффициента сцепления (или коэффициентом сопротивления перемещению колес в поперечном направлении - на неровной твердой поверхности). При этом опрокидывание возможно без возникновения заноса» [43]; П.1.4 – «резкие колебания корпуса ТС после удара о препятствие. В процессе отбрасывания от места удара вертикальные составляющие реакций на колесах одной стороны могут резко возрасти в результате перераспределения нагрузки, способствуя увеличению сил сцепления с покрытием дороги и возрастанию благодаря опрокидывающего инерционного момента. Кроме того, опрокидыванию может способствовать также смещение центра тяжести ТС в направлении опрокидывания вследствие крена» [43].

П.2 – «опрокидывание под воздействием момента приложенного к ТС силы» [43]. В данной группе: П.2.1 - «действие силы удара при столкновении с другим ТС, приложенной выше его центра тяжести. Опрокидывание возможно при нанесении удара под углом к продольной оси» [43]; П.2.2 – «действие вертикальной составляющей силы удара при наезде или переезде через препятствие колесами одной стороны» [43]; П.2.3 – «действие силы со стороны оборванного карданного вала при его упоре в поверхность дороги» [43].

П.3 – «опрокидывание под воздействием силы веса самого ТС» [43]. В данной группе: П.3.1 - «движение вдоль крутого откоса, когда центр тяжести выходит за линию, проходящую через точки приложения реакций колес одной стороны»; П.3.2 – «потеря опоры под колесами одной стороны, когда ТС выезжает за пределы моста или обочины, за которой расположен откос» [43].

Среди обстоятельств, способствовавших опрокидыванию ТС, можно выделить следующие группы (см. рис.2.2):

О.1 – «обстоятельства, связанные с действиями водителя» [43]. В данной группе: О.1.1 – «высокая скорость движения ТС, что увеличивает силы инерции, действующие на него при изменении направления движения, силы взаимодействия при столкновениях и наездах на препятствия, размах колебаний корпуса ТС после удара и вероятность возникновения заноса, приводящего к опрокидыванию» [43]; О.1.2 – «резкие приемы управления, способствующие увеличению действующих на инерционных сил и возникновению заноса» [43].

О.2 – «обстоятельства, связанные с дорожными условиями» [43]. В данной группе: О.2.1 – «движение под уклон и с боковым креном, что при повороте снижает устойчивость ТС в результате возникающего крена в направлении опрокидывания» [43]; О.2.2 – «вязкий рыхлый неровный грунт или покрытие с высоким значением коэффициента сцепления, что вызывает более сильное сопротивление проскальзыванию колес в процессе заноса и, следовательно, возрастание опрокидывающего инерционного момента» [43]; О.2.3 – «низкое значение коэффициента сцепления и другие причины возникновения заноса, способствующие опрокидыванию, если оно возможно в конкретном случае при движении ТС с заносом и разворотом» [43].

О.3 – «обстоятельства, связанные с состоянием ТС» [43]. В данной группе: О.3.1 – «потеря давления в шине колеса или повреждение подвески при повороте в сторону, противоположную месту расположения этого колеса, что способствует увеличению крена в сторону опрокидывания» [43]; О.3.2 – «неравномерное распределение нагрузки по ширине ТС, либо перемещение грузов в поперечном направлении, что смещает центр тяжести ТС к колесам одной стороны, снижая устойчивость против опрокидывания на эту сторону» [43]; О.3.3 – «наличие жидкого груза (цистерны с жидкостью, самосвалы с жидким бетоном), что способствует смещению центра тяжести ТС в направлении опрокидывания» [43]; О.3.4 – «высокое расположение центра тяжести ТС, что способствует увеличению опрокидывающего момента равнодействующей инерционных сил» [43].

«При наличии способствовавших опрокидыванию обстоятельств в ходе установления его причин при ДТП следует учитывать, в какой мере избранный водителем режим движения соответствовал конкретной дорожной обстановке. Следует отметить, что в системе ВАДС, причиной опрокидывания может быть совокупность способствовавших ему обстоятельств, если водитель не имел возможностей своевременно учесть их» [42,43].

Дополнительно, следует отметить по [43], что причинами не полного оборачивания ТС при опрокидывании (на 1,2 или 3 четверти полного оборота) являются следствием:

1. «невысокой скорости, при которой кинетическая энергия ТС не достаточна для подъема центра тяжести на высоту, необходимую для его перемещения через линию опрокидывания» [43];
2. «снижения коэффициента сопротивления перемещению ТС, когда опрокидывание предотвращается благодаря возникновению более интенсивного проскальзывания, когда опрокидывающий инерционный момент становится меньше момента силы тяжести, препятствующего опрокидыванию» [43];
3. «разворота ТС вокруг вертикальной оси в процессе проскальзывания и опрокидывания, при котором направление продольной оси приближается к направлению движения, что обеспечивает более устойчивое положение ТС» [43].

Представленная структура дерева причин и обстоятельств опрокидывания ТС при решении основных экспертных задач по исследованию опрокидывания ТС при модельно-ориентированной реконструкции также должна включать в себя риск-ориентированный подход к оценке травмирования для решения задач типа А1, А2, Б1, Б2, В (см. выше Главу 1), относящихся к группе задач 3.3.

## 2.2 Теоретические основы оценки положения центра масс ТС, реализуемые при модельно-ориентированной реконструкции в ДТЭ

При исследовании движения ТС, реализуемого при МОР в ДТЭ (как в целом и во многих программных средствах инженерного анализа) принимаем, что с его кузовом неподвижно связана подвижная система координат  $(X_V, Y_V, Z_V)$ , начало которой совпадает с центром масс (точкой  $O_V$ , при нахождении автомобиля в статическом состоянии), ось  $X_V$  горизонтальна и направлена вперед, ось  $Y_V$  горизонтальна и направлена влево, а ось  $Z_V$  вертикальна и направлена вверх (рис. 2.3). При этом, оси  $X_V$  и  $Z_V$  расположены в плоскости продольной симметрии автотранспортного средства, а ось  $Y_V$  – перпендикулярна ей.

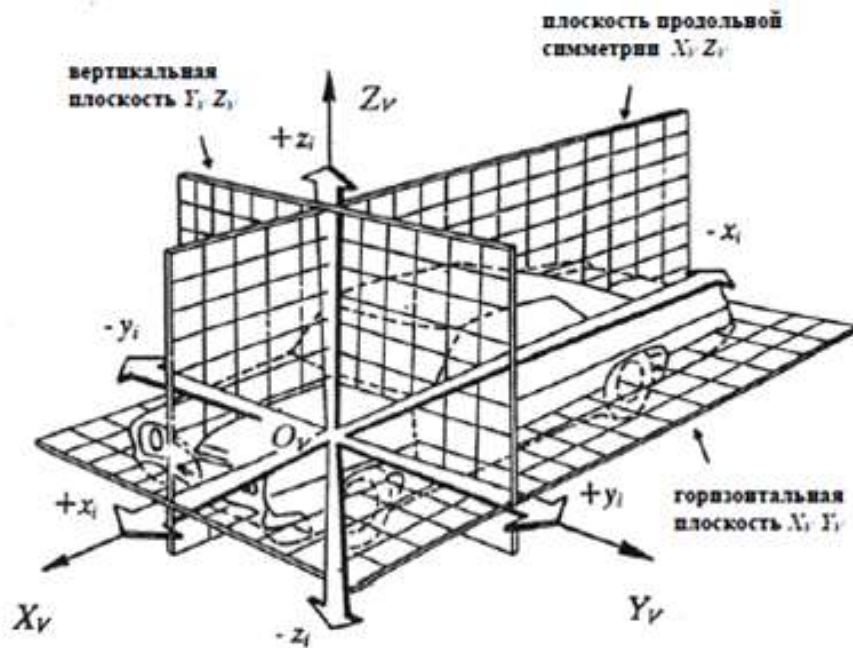


Рисунок 2.3 – Оси и плоскости ТС

Моменты инерции кузова автомобиля определяются относительно осей  $X_V$ ,  $Y_V$  и  $Z_V$  для статического состояния. В динамике автомобиля рассматриваем следующие главные моменты инерции:

- момент инерции относительно продольной горизонтальной оси

$$I_X = \sum_{i=1}^n dm_i (y_i^2 + z_i^2), \quad (2.1)$$

- момент инерции относительно поперечной горизонтальной оси

$$I_Y = \sum_{i=1}^n dm_i (x_i^2 + z_i^2), \quad (2.2)$$

- момент инерции относительно вертикальной оси

$$I_Z = \sum_{i=1}^n dm_i (x_i^2 + y_i^2), \quad (2.3)$$

где:  $dm_i$  -  $i$ -ая элементарная масса автомобиля;

$x_i, y_i, z_i$  - расстояния  $i$ -ой элементарной массы автомобиля относительно центра масс в координатной системе  $(X_V, Y_V, Z_V)$  (рис.2.3).

Для связи между фиксированной и подвижной системами координат необходимо ввести промежуточную координатную систему  $(X, Y, Z)$ , начало которой – точка  $O$  является проекцией точки  $O_V$  на плоскость  $X_E Y_E$ , оси  $X$  и  $Y$  есть проекции осей подвижной системы координат  $X_V$  и  $Y_V$  на плоскость  $X_E Y_E$ , а ось  $Z$  вертикальна и направлена вверх (рис.2.4). Далее, может рассматриваться вторая промежуточная система координат  $(X_2, Y_2, Z_2)$ , начало которой в точке  $O_V$ , а ее оси  $X_2, Y_2$  и  $Z_2$  параллельны соответственно осям  $X, Y, Z$  (рис.2.4).

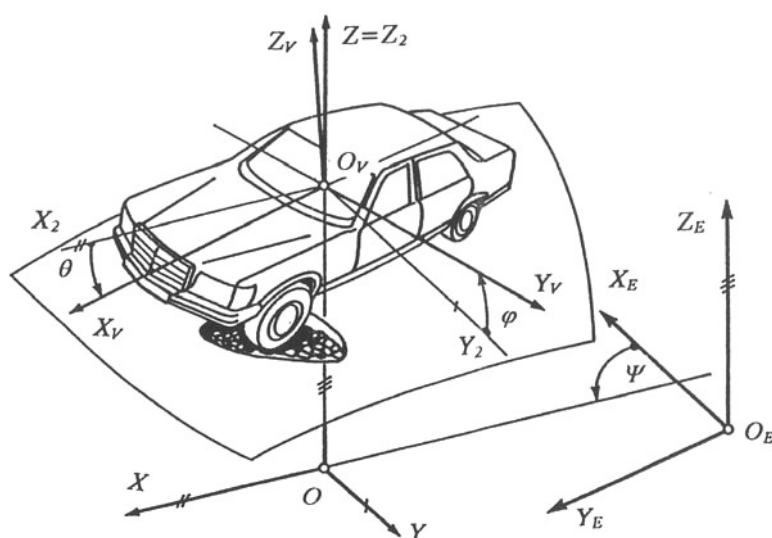


Рисунок 2.4 – Система координат по ISO 8855

Необходимо отметить, что указанное выше направление координатных осей, регламентировано стандартом ISO 8855, но при этом отличается от установленного американской ассоциацией SAE (Society of Automotive Engineering). Согласно методологии SAE, ось  $XV$  (а также оси  $X$ ,  $X_2$ ) направлена вперед, ось  $YV$  - вправо, а ось  $ZV$  - вниз (при анализе движения это имеет влияние лишь на знак соответствующих параметров движения автомобиля).

Поясним методологическое значение анализа движения АТС относительно упомянутых систем координат. Фиксированная система координат  $(XE, YE, ZE)$  предназначена для определения и начальной ориентации кузова автомобиля и положения его центра масс (напр., в начальный момент). Подвижная система координат  $(XV, YV, ZV)$  введена для упрощения дифференциальных уравнений, так как моменты инерции относительно этой системы при движении автомобиля остаются неизменными. Промежуточные системы координат соединяют фиксированную и подвижную системы и определяют расположение кузова АТС в пространстве.

Поэтому между упомянутыми системами существуют связи, которые представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Связи между системами координат

Связь (действие)	Определяемый угол	Определяемые оси	Определяемая система координат
Начальное положение	-	-	$(X_E, Y_E, Z_E)$
Перемещение промежуточной системы координат в точку $(x_v, y_v, 0)$ , поворот вокруг оси $Z_E$	$\Psi = (X_E, X_v) = (Y_E, Y_v)$	$X, Y, Z \parallel Z_E$	$(X, Y, Z)$
Перемещение точки $O(x_v, y_v, 0)$ в точку $O_v(x_v, y_v, z_v)$	-	$X_2, Y_2, X_2 \parallel X, Y_2 \parallel Y, Z_2 = Z$	$(X_2, Y_2, Z_2)$
Поворот вокруг оси $Y_2$	$\theta = (X_2, X_v)$	$X_v$	-
Поворот вокруг оси $X_v$	$\varphi = (Y_2, Y_v)$	$Y_v, Z_v$	$(X_v, Y_v, Z_v)$

Сущность этих связей следующая: предположим, в начальный момент времени автомобиль находился в статическом состоянии на горизонтальной

дороге) и проекция его центра масс на дорожную поверхность – точка  $OE$ , а проекции осей  $XV$  и  $YV$  соответственно оси  $XE$  и  $YE$ . Ось  $ZE$  направив вверх получим фиксированную систему координат  $(XE, YE, ZE)$ . Далее, автомобиль в движении преодолел некоторое расстояние, при этом переместился из горизонтальной дорожной поверхности в плоскость, имеющую продольный и поперечный уклоны. В итоге, конечное положение автомобиля определяется координатами  $(xv, yv, zv)$  центра масс  $OV$  относительно начала фиксированной системы координат  $(XE, YE, ZE)$ , и тремя углами.

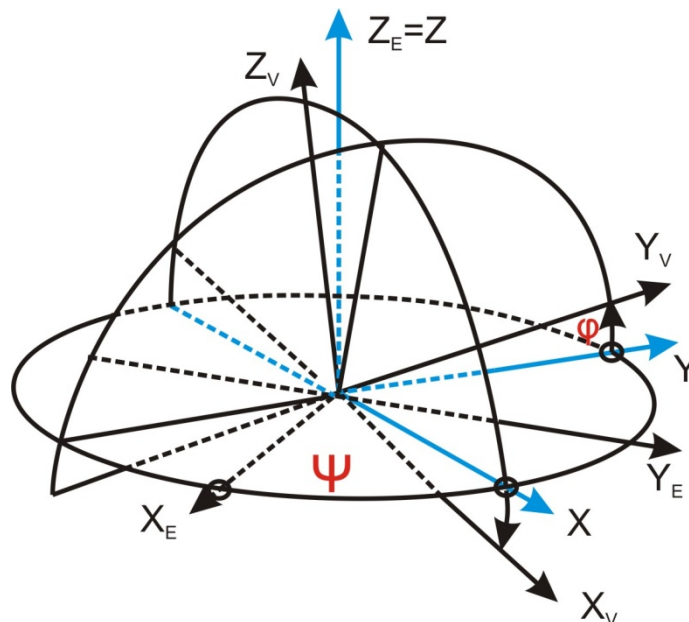


Рисунок 2.5 – Углы Брайнта

Переместим промежуточную координатную систему  $(X, Y, Z)$  параллельно вверх так, чтобы ее начало совпало с центром масс автомобиля – получим промежуточную систему координат  $(X_2, Y_2, Z_2)$ , повернув которую на угол вокруг оси  $Y_2$  (параллельной оси  $Y$ ) совместим оси  $X_2$  и  $X_V$ . Осуществив следующий поворот вокруг оси  $X_V$  на угол  $\theta$  полностью совместим промежуточную систему  $(X_2, Y_2, Z_2)$  с подвижной системой координат  $(X_V, Y_V, Z_V)$ . При движении по горизонтальной дорожной поверхности углы  $\phi$  и  $\theta$  могут быть обусловлены не наклоном дорожной поверхности, а действующими на автомобиль динамическими силами (напр., силами тяги, торможения, боковыми силами). Эти углы еще

называются углами Брайнта, на рис. 2.5 представлена схема, на которой упрощенно изображены связи между упомянутыми координатными системами и углами Брайнта. Все представленные на рисунке 2.5 углы – положительны, т.е. значения углов положительны по знаку в таких случаях:

- при повороте против часовой стрелки вокруг вертикальной оси
- при продольном крене вниз по направлению движения (напр., при торможении автомобиля)
- при поперечном крене вправо (т.е., при движении на левом повороте).

Таким образом, при реализации МОР в ДТЭ, положение центра масс ТС в пространстве определяют три координаты относительно начала фиксированной системы координат, а угловую ориентацию кузова автомобиля – указанные три угла Брайнта, соответственно положение ТС в пространстве однозначно определяется указанными шестью параметрами и далее используется для описания перемещений ТС при его опрокидывании (универсально для всех случаев С+О или О+С).

### **2.3 Анализ и обработка экспериментальных данных по краш-тестам и данных БУРС**

В рамках поставленных задач настоящего диссертационного исследования, автором были проанализированы 179 тестов из базы NHTSA (по запросу в базе по типу «roll-over»), а также собраны данные по EDR банку NASS EDR Report (за период с 2000 по 2015 – всего 10992 записи) и по CDR базе проекта CISS (3226 записей за 2016-2018) из которых выбраны 378 пакетов данных, которые были обработаны в программе Entree V5, а также средствами MS Excel.

Пример отображения базовых 27 каналов записи оборудования краш-теста при обработке файла формата ev5 в пакете программ NHTSA NVS R&D

DB Eng. Apps (Entree V5) показан на рис.2.6. Пример фрагмента отчета и графика изменения угловой скорости при опрокидывании после анализа шестнадцатеричного кода записи в файле 20181011030\_V2\_ACM.CDRX из базы CISS 2018 показан на рис.2.7.

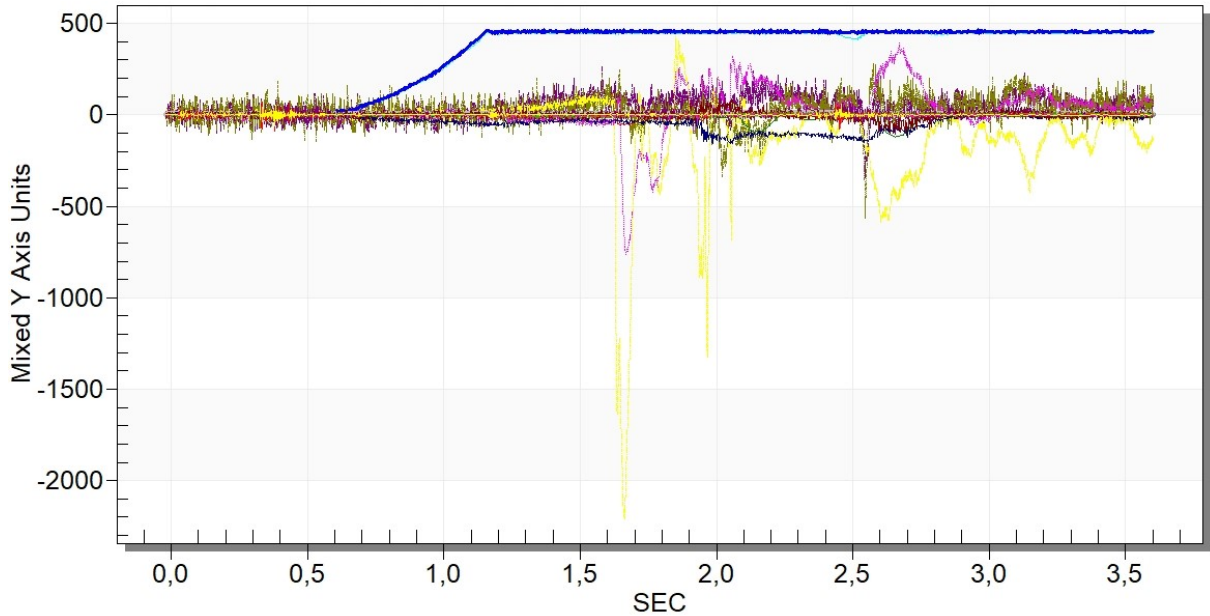


Рисунок 2.6 - Пример отображения базовых 27 каналов записи оборудования краш-теста с фильтрацией CFC180

**Rollover Crash Pulse (Most Recent Event, TRG 2 - table 1 of 2)**

Recording Status, Time Series Data		Complete
Time from TRG to Next Sample (msec)		8
Roll Angle Peak (degrees)		-106.6
Roll Angle at the Time of TRG (degrees)		1.5

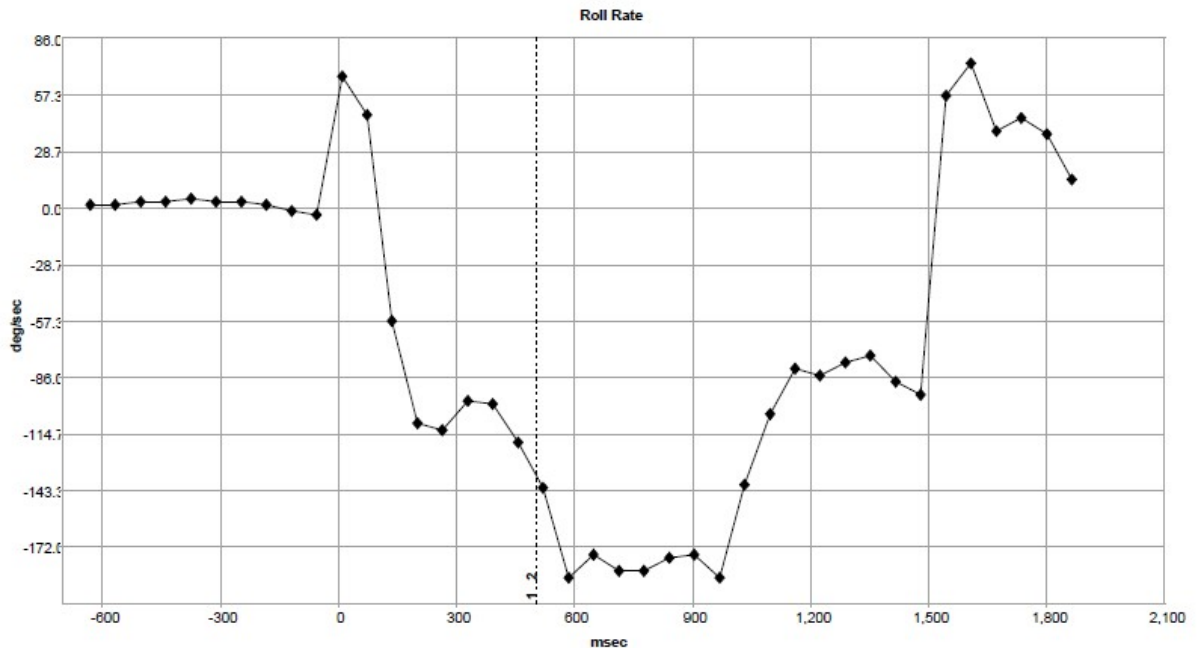


Рисунок 2.7 – Пример фрагмента отчета и графика изменения угловой скорости при опрокидывании в файле записи события из базы CDR проекта CISS

Кроме того в экспериментальную базу исследований, были также включены полигональные тесты по [11,12], с целью учета изменения СКПУ. Качественное сравнение объемов данных подсистем системы ВАДС в случае использования данных их БУРС (EDR) в производстве ДТЭ в сравнении с общепринятой практикой изложено в [12].

Примеры использовавшихся в настоящем исследовании отчетов по декодировке данных по вышеуказанным проектам приведены в Приложении А и Б.

## **2.4 Теоретические основы расчета индексов травмирования (возможного ущерба)**

Существует несколько моделей для прогнозирования и общей оценки телесных повреждений (ТП) получаемых человечески телом (далее имеются ввиду только технические оценки, используемые вне задач судебно-медицинского исследования тяжести травмы), когда оно подвергается воздействию внешних сил, ускорений, моментов или энергии, достаточных для повреждения органов и тканей. В случае ДТП с опрокидыванием преобладающей причиной ТП является внешнее ударное воздействие (внутри салона и вне салона при выбросе тела), при этом в общем виде классификация индексов тяжести травмирования может быть первично разделе по источнику получаемой информации о ТП: с биомеханических данных (по данным антропоморфных манекенов, как в натуральных тестах, так и в численных симуляциях методом конечных элементов (МКЭ)) [79,82] и с данных по ТС (на основе данных бортовых систем, тестового оборудования, БУРС). На рисунке 2.8 приведены основные виды оценок тяжести ТП водителей и пассажиров (в ДТЭ применяются также и для пешеходов, велосипедистов и т.д.) используемые в мировой практике. Здесь следует отметить, что в зарубежной литературе [50-58,60-63], посвященной оценке травмирования, наиболее часто используются общие индексы травмирования

(как травмы, так и политравмы), в частности биомеханические (антропометрические): AIS, HIC, ISS и MAIS и технический: ASI.

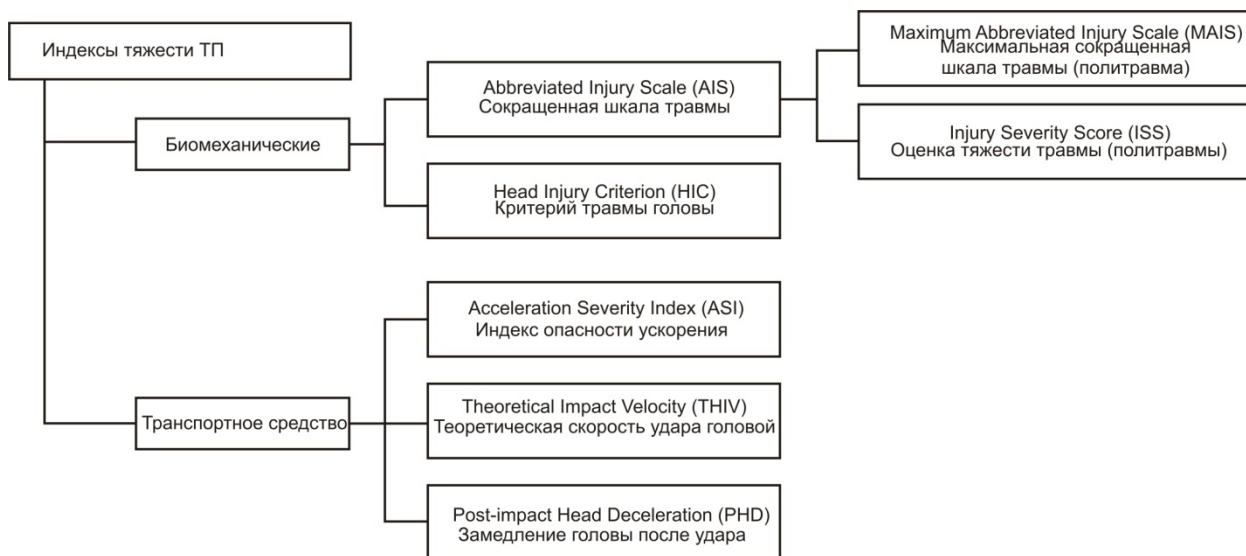


Рисунок 2.8 – Общая классификация видов индексов оценки тяжести ЛТП

Рассмотрим перечисленные на рис.2.8 индексы, наиболее часто применяемые в практике ДТЭ. Травмы для каждого сегмента тела оцениваются по шкале Сокращённой оценки ТП (*Abbreviated Injury Score*) (AIS), за исключением верхних конечностей, где учитывается только возникновение переломов в зависимости от фактора риска. Шкала представляет собой систему оценки степени тяжести ТП, которая классифицирует индивидуальную травму в каждой области тела в соответствии с ее относительной важностью по шестибалльной шкале. В таблице 2.2 показана сокращенная шкала травм (рейтинг политравмы) AIS.

Таблица 2.2 - Шкала оценки AIS по [27]

Оценка AIS	Тяжесть травмы	Вероятность смерти, в %
1	Незначительная	0,0
2	Умеренная	0,1-0,4
3	Серьезная	0,8-2,1
4	Тяжелая форма	7,9-10,6
5	Критическая	53,1-58,4
6	Максимальная, летальный исход на месте ДТП	100%

Чтобы сравнить общие результаты травм поражения всего тела, для всех исследований, объединяемых данной тематикой, чаще всего используется индекс тяжести травмы (политравмы) (*Injury Severity Score – ISS* на рис.2.8). Это позволяет в общем виде оценить риск для жизни пострадавших от ДТП и в частности определить бальную (ранжированную) оценку степени телесных повреждений в ДТП. ISS в баллах равна сумме квадратов баллов тяжести AIS трех наиболее тяжелых повреждений, из различных областей тела. ISS получается с использованием трех сегментов тела с более высокими показателями AIS в соответствии с 2.1 [30].

$$ISS = AIS_1^2 + AIS_2^2 + AIS_3^2 \quad (2.1)$$

где: AIS<sub>1</sub>, AIS<sub>2</sub> и AIS<sub>3</sub> соответствуют трем областям тела пострадавшего с более высокой степенью травмы.

Для нахождения значения Критерия травмы головы (*Head injury criterion - НИС* на рис.2.8) используют следующие расчетные формулы:

$$NIC = \left\{ (t_2 - t_1) \left| \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right|^{25} \right\}_{max} \quad (2.2)$$

или

$$NIC = max \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{25} (t_2 - t_1) \quad (2.3)$$

где  $a(t)$  - результирующее ускорение в единицах (g) ускорения свободного падения, замеренное в центре масс головы манекена. Интервал  $t_2 - t_1$  выбирается максимум до 36 мс.

Минимальный порог НИС для возникновения травм составляет 700 для 15 мс и 1000 для 36 мс. При превышении этих значений ожидаются тяжелые и необратимые травмы головы.

С учетом нормального распределения вероятность травмы головы  $P_{TG}$  как функция НИС определяется уравнением 2.4.

$$P_{ТГ} = \Phi \left| \frac{\ln(HIC_{36}) - \mu}{\sigma} \right| \quad (2.4)$$

где  $\Phi$  - кумулятивное нормальное распределение, значения  $\mu = 6,96352$  и  $\sigma = 0,84664$  для травм головы с индексом AIS  $\geq 2$ ,  $\mu = 7,45231$ ,  $\sigma = 0,73998$  для травм головы с индексом AIS  $\geq 3$  и  $\mu = 7,65605$ ,  $\sigma = 0,60580$  для значений AIS 4+, т.е.  $4 < AIS < 5$  травм головы.

Корреляция, определяющая вероятность появления AIS от 1 до 6 как функцию НИС, показана на рисунке 2.9.

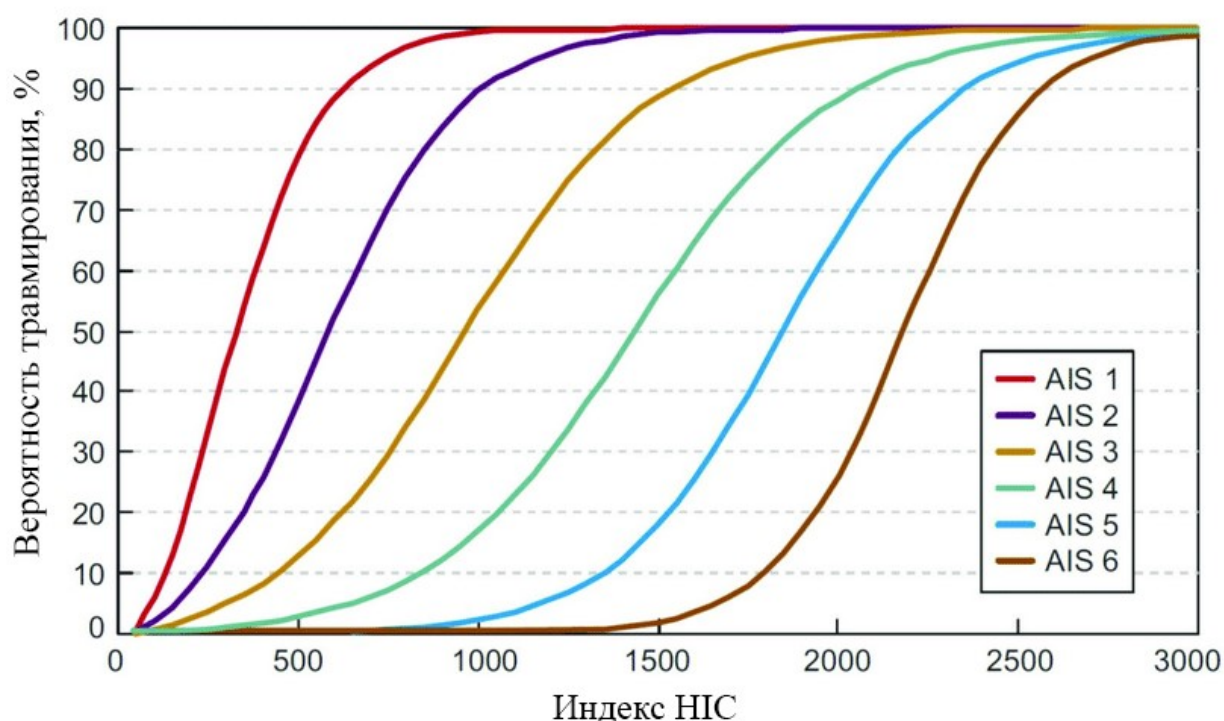


Рисунок 2.9 – Взаимосвязь индекса НИС с индексом AIS

Наблюдая за диаграммой на рисунке 2.9, можно сделать вывод, что для значений НИС выше 2000 существует серьезный риск угрозы жизни, то есть AIS 5 или выше.

Среди специализированных индексов ТП, по областям тела пострадавшего следует также выделить оценку травму шеи. Здесь следует отметить, что в виды повреждений травм шеи входят: повреждение позвонков, находящихся в шейном сегменте позвоночника.

Методов оценки критерий травм шеи несколько, это: Критерии травмы шеи (Neck Injury Criteria - NIC) и Нормализованный критерий травмы шеи (Normalized Neck Injury Criterion -  $N_{ij}$ ), используемые для фронтальных ударов.

$NIC$  - Метод, применимый для несчастных случаев, при которых удар в основном вызывает реакцию в передне-заднем направлении, то есть по оси  $x$ .

$N_{ij}$  - Этот критерий объединяет осевую силу (ось  $z$ ) с изгибающим моментом при сгибании или разгибании в сагиттальной плоскости (ось  $y$ ), чтобы обеспечить составной индикатор поражений шеи в соответствии с уравнением 2.5.

$$N_{ij} = \frac{F_z}{F_{int}} + \frac{M_y}{M_{int}} \quad (2.5)$$

где:  $F_{int}$  и  $M_{int}$  - нормализующие коэффициенты, называемые значениями пересечения.

Вероятности AIS 2, 3, 4 и 5 как функция  $N_{ij}$  представлены на рисунке 2.10.

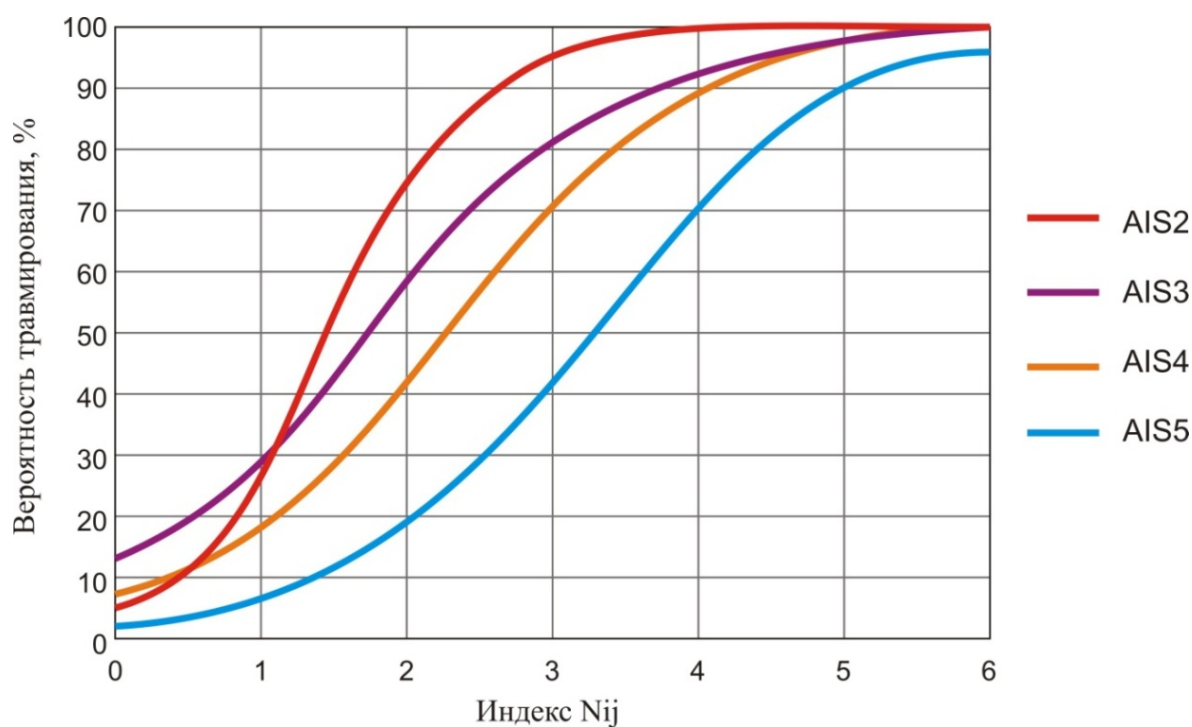


Рисунок 2.10 - Вероятности получения AIS 2, 3, 4 и 5 в зависимости от нормализованного критерия травмы шеи ( $N_{ij}$ )

При помощи уравнения 2.6 можно найти также момент инерции:

$$M_y = I_{yy} \cdot \alpha_y \quad (2.6)$$

где:  $I_{yy}$  и  $\alpha_y$  - Момент инерции и угловое ускорение по оси Y соответственно.

Инерционные свойства головы, в ДТЭ рекомендуется принимать по проведённым исследованиям, которые описаны в [50-58,60-63,76,82].

В виды повреждений травм грудной клетки входят: перелом костей в области ребер, груди и позвоночника, поражение внутренних органов, таких как пищевод, легкие, аорта, сердце и диафрагма. Методов оценки критериев травм грудной клетки несколько, это: индекс травмы грудной клетки (*Thorax Trauma Index* -ТТИ) и критерий, характеризующий степень сжатия грудной клетки, для целей настоящей диссертационной работы его следует рассмотреть с увязкой с AIS.

Критерий сжатия требует получения деформации грудной клетки в соответствии с:

$$C = \frac{d(t)}{D} \quad (2.7)$$

где  $d(t)$  - деформация грудной клетки, а  $D$  - толщина туловища.

Деформация грудной клетки для напряжённых и расслабленных мышц отличается, она представлена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Значения жесткости грудной клетки

Грудные мышцы	Напряженные	Расслабленные
Жесткость грудной клетки к силе сжатия	23,6 Н/мм	7 Н/мм

До сжатия на 40 мм, это значение 23,6 Н/мм ( $\pm 4$  Н/мм); До сжатия более 76 мм, это значение 120 Н/мм ( $\pm 18$  Н/мм). Эта нелинейная зависимость может быть представлена уравнением 2.8:

$$F_x = -(0.48 \pm 0.07)d^2 \quad (2.8)$$

где:  $F_x$  — это сила сжатия грудной клетки, т. е., сила, приложенная к грудной клетке относительно переднезадней оси  $x$  (Н), а  $d$  - величина деформации (мм), перенесенная пострадавшим в результате приложения силы.

Вышеуказанная максимальная деформация ( $C_{max}$ ) во взаимосвязи с AIS соответствует уравнению 2.9:

$$AIS = -3.78 | 19.56 \cdot C \quad (2.9)$$

Где:  $C$  – определяется по уравнению 2.7, где  $D$  рекомендуется принимать равным 230 мм, что соответствует 50-му перцентилю манекена мужчины.

На основе проведенного анализа следует выделить оценку по AIS травм конечностей и таза пострадавших, которая подставлена в таблице 2.14.

Таблица 2.4 – Соотношение с AIS травм конечностей и таза

Вид повреждений	Степень тяжести травмы	Балл AIS
Ушиб локтя, плеча, кисти, лодыжек. Переломы и вывихи пальцев кисти или стопы. Повреждение связок	Легкая	1
Переломы локтевой, лучевой, плечевой, берцовых костей, ключицы, лопатки, плюсневых, пяточной, лонной. Простые переломы таза. Вывихи крупных костей. Обширные ранения мышц, сухожилий. Малые раны (внутренние надрывы) подмышечной, плечевой, ладонной артерий, вен	Значительная	2
Оскольчатые переломы таза. Перелом бедра. Вывих в кистевом, голеностопном, коленном, т/бедренном суставе. Травматические ампутации (до сустава) конечностей. Разрыв коленных сухожилий. Повреждение седалищного нерва. Малые раны (внутренние надрывы) бедренной артерии. Большие раны, тромбозы подмышечной, подколенной, бедренной артерии, вен	Тяжелая без угрозы для жизни	3
Размозжение таза. Травматические ампутации выше коленного сустава. Синдром длительного сдавления. Большие раны плечевой, бедренной артерии	Тяжелая с угрозой для жизни	4
Открытые сдавленные переломы таза	Критическая с сомнительным выживанием	5

Вышеописанные индексы относятся к антропометрическим, со стороны транспортного средства, т.е. фактически со стороны действующих сил на пострадавшего, в мировой практике широко применяется индекс ASI (*Acceleration Severity Index*), который определяется следующим образом: в

момент времени  $t$ , находящийся в пределах стадии контактно-следового взаимодействия ТС, индекс ASI определяется по формуле:

$$ASI(t) = \left[ \left( \frac{a_x}{a_{xN}} \right)^2 + \left( \frac{a_y}{a_{yN}} \right)^2 + \left( \frac{a_z}{a_{zN}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2.10)$$

где  $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$  – величина замедления в продольном, поперечном и вертикальном направлениях,  $m/s^2$ ;

$a_{xN}$ ,  $a_{yN}$ ,  $a_{zN}$  – величина замедления максимально выдерживаемого человеком в продольном, поперечном и вертикальном направлениях,  $m/s^2$ , принимается по таблице 2.5.

Таблица 2.5-Максимально выдерживаемые человеком величины замедлений

Способ удерживания тела	Максимально выдерживаемые величины по направлениям		
	Продольное	Поперечное	Вертикальное
Без ремней	7	5	6
Поясной ремень	12	9	10
Поясной и плечевой ремень	20	15	17

Соответственно изменение замедления (в каждом из направлений в системе координат по ISO 8855) по формуле:

$$\bar{a}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n a(t_i)}{\Delta t}, \quad (2.11)$$

Следует обратить внимание, что по ГОСТ 33464 [13] в БУРС по ГОСТ Р 58840 [14] сохраняются как осевые замедления, так и величина индекса возможного ущерба (термин по ГОСТ 33464)  $ASI_{150}$  (т.е. рассчитанный на участке в 150 мс). Методика расчета данного числового индекса в случае использования автоматической системы уведомления о событии (АСУС) заключается следующих последовательных этапах:

1. интервал времени соответствующий полному времени колебаний замедления на датчиках системы пассивной безопасности и на гироскопе системы стабилизации (т.е. время за 150 мс от события вплоть до 5 с после

прекращения перемещений ТС в географических координатах), сохраняемый в памяти блока БУРС (EDR) при финишировании записи передает пакет данных в модуль АСУС, который автоматически (на программном уровне) разбивается на равные отрезки по 5 мс;

2. на каждом из полученных отрезков определяется изменение замедления (в каждом из направлений) по формуле 2.11;

3. определяется наибольшее изменение замедления в каждом из направлений на определенных 50 мс участках, которое приводится к гравитационной постоянной  $G$ . Данное наибольшее значение делится на продольное пороговое значение.

Данный метод расчета фактически учитывает: компоненты ускорения рассматриваемой точки транспортного средства в месте крепления датчика ускорения по направлениям основных осей транспортного средства (продольной, поперечной, вертикальной); компоненты ускорения рассматриваемой точки транспортного средства в месте крепления датчика ускорения по направлениям основных осей транспортного средства, усредненные на промежутке интервала времени 50 мс; предельные значения соответствуют уровню, ниже которого риск для человека незначительный.

Обобщая вышеизложенное, установлено, что наиболее полную оценку травмирования при оценке риска в ДТЭ, связанных с реконструкцией опрокидывания ТС (для всех случаев С+О и О+С, применительно к задачам А1, А2, Б1, Б2, В (см. выше Главу 1) дают индексы AIS и ASI, кроме того индекс ASI рассчитываемый по фиксируемым в БУРС величинам осевых замедлений, позволяет использовать экспериментальную базу данных по EDR в банке NASS EDR Report и по CDR базе проекта CISS.

## **Выводы по Главе 2**

1. Анализ обобщенной структуры дерева причин и обстоятельств опрокидывания ТС, относительно экспертных задач при ДТП, позволил

определить место задач типа А.1, А.2, Б.1, Б.2 и В в случае гибридного решения о применении риск-ориентированного подхода в рамках модельно-ориентированной реконструкции механизма ДТП с опрокидыванием ТС.

2. В рамках поставленных задач настоящего диссертационного исследования, автором были проанализированы 179 тестов из базы NHTSA, а также 378 пакетов данных по EDR банку NASS EDR Report (за период с 2000 по 2015) и по CDR базе проекта CISS (за 2016-2018) которые были обработаны в программе Entree V5, а также средствами MS Excel.

3. При реализации МОР в ДТЭ, положение центра масс ТС в пространстве определяют три координаты относительно начала фиксированной системы координат, а угловую ориентацию кузова автомобиля – указанные три угла Брайнта, соответственно положение ТС в пространстве однозначно определяется указанными шестью параметрами и далее используется для описания перемещений ТС при его опрокидывании (универсально для всех случаев С+О или О+С). Такой подход к оценке положения центра масс ТС, реализуемый при модельно-ориентированном подходе в ДТЭ уже на настоящий момент интегрирован как в аппаратную часть БУРС (экспериментальную базу данных по EDR в банке NASS EDR Report и по CDR базе проекта CISS), так и в специализированные программные средства инженерного анализа и моделирования механизма ДТП (такие как PC-Crash, Virtual Crash и другие).

4. Наиболее полную оценку травмирования (водителя и/или пассажира) при оценке риска в ДТЭ, связанных с реконструкцией опрокидывания ТС (для всех случаев С+О и О+С, применительно к задачам А1, А2, Б1, Б2, В (см. выше Главу 1) дают индексы AIS и ASI, кроме того индекс ASI рассчитываемый по фиксируемым в БУРС величинам осевых замедлений, позволяет использовать экспериментальную базу данных по EDR в банке NASS EDR Report и по CDR базе проекта CISS.

## **ГЛАВА 3. МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ОПРОКИДЫВАНИЯ ТС**

### **3.1 Общая структура модельно-ориентированной реконструкции механизма опрокидывания ТС**

Как указывается в [9], «на современном этапе развития методологии экспертного анализа ДТП, в условиях роста количественного состава и скорости обработки первичной пространственно-следовой информации (ПСИ), объем входной информации (подлежащей комплексному исследованию экспертом) существенно ниже объема выходной информации (результатов ассимиляции смежных видов исследования (СВИ) и построения модели механизма ДТП) на момент составления окончательного заключения» [9]. «В этой связи данный процесс можно отразить виде пирамиды, в которой вершина совпадающая с целью исследования в своем основании накапливает объем информации, выходящий за пределы как исходного объема, на границе которой Заключение эксперта является лишь компилятивной квинтэссенцией выводов в границах оси исследований, заданных его целью. Иной полученный объем данных, формально не используется, хотя он представляет собой наиболее ценную его часть, так именно на основании полного объема информации в основании пирамиды процессов обработки (исследования) возможно разрабатывать комплексные решения по предотвращению ДТП, разрабатывать решения по пассивной безопасности элементов подсистем Автомобиль и Дорога» [9].

По [9] «концепция модельно-ориентированной реконструкции (МОР) механизма ДТП в оси обработки (исследования) информации от его цели к конечному продукту - ЗаклЮчению эксперта, в общем виде может быть описана следующими границами: методология исследования является модельно-ориентированной, при выполнении условия, что модель реконструирующая механизм ДТП полностью во всех его стадиях

(сближение (С) – контактно-следовое взаимодействие (КСВ) – разлет (Р)) является неотъемлемой частью исследования и реализует все процедуры процессинга (предпроцессинг – процессинг – постпроцессинг), при этом под процессингом понимается иерархия взаимосвязанных методов и процедур обработки ПСИ, полученной из неизменяемых и валидированных (проверяемых) источников». Соответственно, там же в [9], показаны все основные процедуры, реализуемые в границах МОР.

Однако обособленного решения по модельно-ориентированной реконструкции опрокидывания ТС при производстве ДТЭ на настоящий момент в экспертной практике в РФ нет. В общем виде структурная взаимосвязь моделей и методов в комплексной процедуре МОР опрокидывания ТС совмещенная с риск-ориентированным подходом в оценке травмирования (водителя и пассажира) показана на рис.3.1.

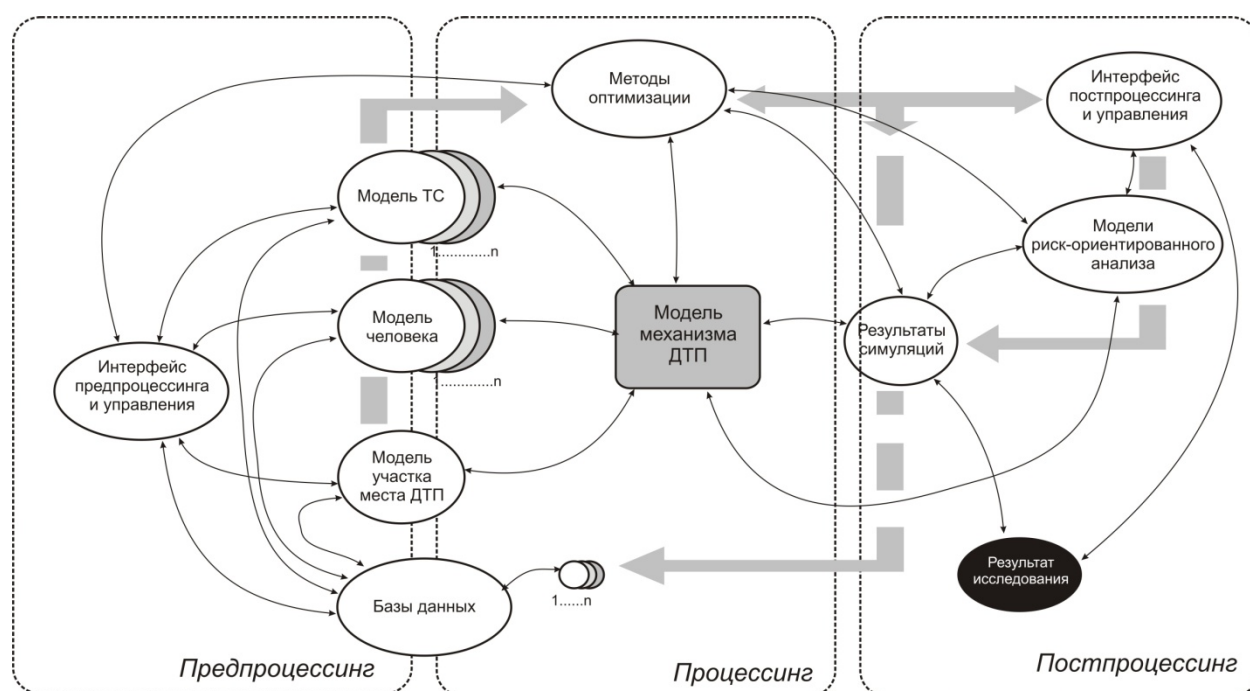


Рисунок 3.1 - Структурная взаимосвязь моделей и методов в терминах МОР

Серыми стрелками на рис.3.1 показаны циклы моделирования, сопряженные с циклами оптимизации и оценки риска в симуляции. В ракурсе на действующие методы реконструкции механизма ДТП при опрокидывании ТС, выполняемый в ДТЭ через методический подход,

реализуемый в модельно-ориентированной реконструкции механизма ДТП при опрокидывании ТС, может быть скомпонован в комплексную процедуру МОР, в которую должны быть внедрены: риск-ориентированный подход к прогнозированию индексов травмирования водителя и пассажиров, методика расчета работы сил на совместные перемещения и вращение, методика расчета работы сил на опрокидывание и методика оптимизации расчетной области места столкновения кооперативными генетическими алгоритмами с вертикальным наложением популяций.

«Рассмотрим в целом механизм опрокидывания ТС. Как отмечалось выше, опрокидыванию ТС в большинстве случаев предшествует его движение в условиях, способствовавших потере устойчивости, - с поворотом, заносом, резкими колебаниями кузова. Исследование оставшихся перед местом опрокидывания следов позволяет определить характер движения. Однако часто в реальной практике эти следы не фиксируются или фиксируются не достаточно полно. Непосредственно перед началом опрокидывания колеса одной стороны ТС разгружаются, поэтому становятся малозаметными либо вообще исчезают оставляемые ими следы качения, заноса или юза. Колеса другой стороны, наоборот, в результате возросшей на них нагрузки начинают оставлять более интенсивные следы, которые в момент падения ТС на боковую сторону резко обрываются» [43].

«В процессе опрокидывания окружная (относительная) скорость периферийных точек ТС всегда меньше скорости перемещения его центра тяжести, поскольку сопротивление перемещению ТС при переворачивании больше сопротивления проскальзыванию, а в начале, кроме того, периферийные точки в силу инерции не успевают приобрести скорость вращения, равную скорости его движения перед моментом опрокидывания. Поэтому опрокидывание происходит при одновременном проскальзывании контактирующих с опорной поверхностью наружных частей ТС, и за местом окончания следов колес начинаются следы скольжения в виде притертостей, наслоений лакокрасочного покрытия, царапин осколков стекол» [43].

«В процессе опрокидывания скорость перемещения ТС быстро снижается вследствие затрат энергии на перемещение. При этом замедление не остается постоянным; при проскальзывании на ровной поверхности оно определяется коэффициентом сопротивления проскальзыванию и массой. В момент, когда центр тяжести начинает подниматься перед переходом через линию опрокидывания (колеса одной стороны, боковые края крыши), возникает дополнительная сила на опорную поверхность (нормальная составляющая силы инерции), что приводит к соответствующему увеличению силы сопротивления проскальзыванию и возрастанию замедлению. Особенно резко возрастает замедление при опрокидывании ТС на боковую сторону, когда сила сопротивления перемещению определяется не только резким возрастанием нормального давления на опорную поверхность в результате удара, но и увеличением сопротивления проскальзыванию благодаря врезанию выступающих частей ТС в поверхность дороги» [43].

«Кроме того трасы и следы скольжения на кузове ТС, также указывают на направление перемещений и угол отброса при опрокидывании. Если при проскальзывании ТС одновременно происходил его разворот вокруг вертикальной оси, а также при неоднократном перевертывании на первичные трасы могут накладываться вторичные в направлении, соответствующем изменению положения продольной оси ТС по отношению к направлению движения» [43].

С учетом [43,56] внутренние поверхности салона, приборной панели, органов управления ТС и т.д. также должны исследоваться на предмет выявления очагов и групп морфологических, групповых и обособленных следов контакта человека с указанными поверхностями. При этом могут выполняться как специализированные виды исследований (обороты проб веществ, дактилоскопия и др.), так и съемка лазерными сканерами, лидарами и/или методами фотограмметрии.

Кроме того, в [43] также указано, что «при исследовании технического состояния ТС в целях выявления неисправностей, которые могли способствовать опрокидыванию, в первую очередь следует проверить состояние шин (наличие давления в шинах, износ рисунка протектора). При наличии механических повреждений покрышки и камеры колесо в сборе подлежит демонтажу и экспертному исследованию для установления причины и времени возникновения повреждения, если оно могло находиться в причинной связи с происшествием».

«Следует проверить действие рулевого управления; при обнаружении заедания (заклинивания) в рулевом механизме, рассоединения деталей привода рулевого управления и т. д. узлы подлежат экспертному исследованию после их демонтажа. Нужно проверить также исправность подвески, отсутствие заклинивания тормозных колодок, неисправность других узлов, техническое состояние которых могло повлиять на возникновение происшествия в данном случае. Характер движения ТС в процессе опрокидывания определяется углом между направлением движения в момент опрокидывания и его продольной осью, изменением этого угла в процессе опрокидывания и углом поворота ТС вокруг продольной оси с момента начала опрокидывания до остановки» [43].

«Угол между направлением движения ТС и его продольной осью соответствует углу между направлением трасс, оставшихся на его наружных поверхностях, контактировавших с дорогой в процессе проскальзывания при опрокидывании, и продольной осью (линиями, параллельными продольной оси, прочерченными на этих поверхностях)» [43].

«В зависимости от различных случайных причин (колебаний корпуса ТС, неровностей на дороге и др.) величина этого угла при повороте вокруг продольной оси может изменяться. Поэтому при перевертывании ТС более чем на один оборот вокруг продольной оси на контактировавших с дорогой участках могут возникнуть вторичные трасы (царапины), пересекающие первичные. Установить, какая из двух пересекающихся трас является

первичной, можно на основании исследования места их пересечения при достаточно большом увеличении: признаками более позднего образования царапины является смещение на ранее образовавшуюся царапину микрозаусенцев, наплывов, не полностью отделившихся микрочастиц лакокрасочного покрытия» [42,43].

На основании исследования следовой информации, зафиксированной на месте ДТП (при условии ее полноценной фиксации при осмотре, что как отмечалось выше не всего имеет место в реальной практике), в частности следов, трас, внешних объектов можно установить, где находилось ТС в момент начала опрокидывания, а также установить: что могло этому способствовать, как оно двигалось на стадиях сближение – КСВ - разлет.

Место опрокидывания выявляется по нескольким различным признакам [42,43]. Одним из основных трасологических признаков, определяющих место опрокидывания является начало очага рассева осколков стекол. «В отличие от случаев наезда или столкновения при опрокидывании осколки первых разрушенных стекол не смещаются по движению ТС, а остаются в наибольшем количестве на месте опрокидывания — там, где происходит их разрушение в момент падения боковой стороны на поверхность дороги. На пути дальнейшего продвижения ТС остаются осколки стекол, разрушенных при последующих переворотах, задержавшиеся внутри ТС и отбрасываемые по инерции. Поэтому место, где ТС опрокинулось на боковую сторону, с достаточной точностью определяется по началу участка расположения осколков стекол» [43].

«Ветровые стекла (переднее и заднее) выпадают в момент падения на боковую сторону иногда без разрушения и отбрасываются от места опрокидывания по движению ТС» [43].

Вторым трасологическим признаком, указывающим место опрокидывания, являются следы контакта кузова ТС на покрытии проезжей части. «На асфальте это следы трения в виде притертостей с наслоением частиц лакокрасочного покрытия, царапины, выбоины, оставленные

контактировавшими с поверхностью дороги выступающими частями в процессе их проскальзывания после опрокидывания. На слабых покрытиях дорог (щебеночных, гравийных), грунтовых или заснеженных дорогах остаются борозды, образуемые выступающими частями» [43].

«Место, где начинаются такие следы, достаточно точно определяет место опрокидывания ТС на боковую сторону. Однако не всегда такие следы легко обнаружить, особенно на твердых покрытиях, поэтому они редко фиксируются при первичном осмотре места происшествия» [43].

Третьим признаком, указывающим на место начала опрокидывания транспортного средства являются следы бокового скольжения (проскальзывания) колес. «Как правило, перед опрокидыванием происходит перераспределение силы веса ТС между колесами. Вся сила веса в момент начала опрокидывания приходится на колеса той стороны, в направлении которой опрокидывается ТС. Поэтому перед местом опрокидывания остаются следы колес указанной стороны, смещавшихся под углом к плоскости своего вращения. На твердом покрытии это следы заноса с четкими трассами от боковых выступов рисунка протектора, на слабых покрытиях — короткие взрыхленные участки. Окончание таких следов точно определяет момент начала опрокидывания на боковую сторону, когда колеса выходят из контакта с дорогой» [42,43].

При оборачивании ТС на полный оборот вокруг его продольной оси происходит его падение с боковой стороны на колеса противоположной стороны с проскальзыванием их в направлении движения. «От этих колес также остаются следы, аналогичные тем, которые оставляют колеса перед началом опрокидывания» [43].

«Участок между указанными следами определяет место, где ТС перевертывалось на полный оборот вокруг продольной оси. Поскольку помимо вращения при опрокидывании происходит проскальзывание ТС в направлении движения, участок, на котором оно перевернулось вокруг

продольной оси на полный оборот, может значительно превышать периметр поперечного сечения» [43].

«Следы, остающиеся на дороге при опрокидывании ТС, являясь динамическими, возникают в процессе относительного смещения следообразующих частей. Однако по ряду признаков и взаимному расположению (последовательности образования) при непосредственном исследовании их экспертом на месте происшествия имеется возможность установить, какой частью ТС был оставлен тот или иной след на дороге. Это позволяет определить достаточно точное положение ТС на пути его перемещения от начала опрокидывания до места остановки на любом участке траектории движения» [42,43].

Обобщенная схема фазовых перемещений центра масс ТС относительно временной оси при его опрокидывании на один полный оборот, представлена на рис.3.2.

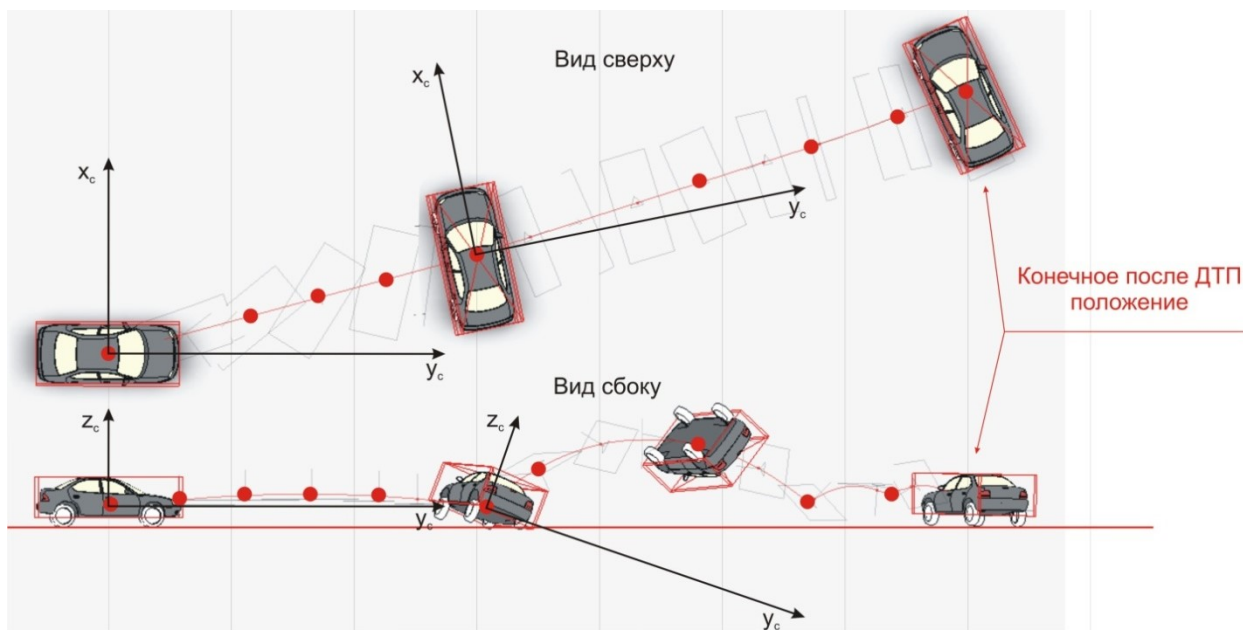


Рисунок 3.2 – Перемещение системы координат центра масс ТС в фазах опрокидывания

С учетом вышеизложенного общая математическая модель расчета затрат энергии на перемещения ТС при его продольном опрокидывании в подвижной инерциальной системе координат (рис. 3.3) с учетом погашения

кинетической энергии при деформациях крыши и ее стоек, может быть описана следующем комплексом уравнений:

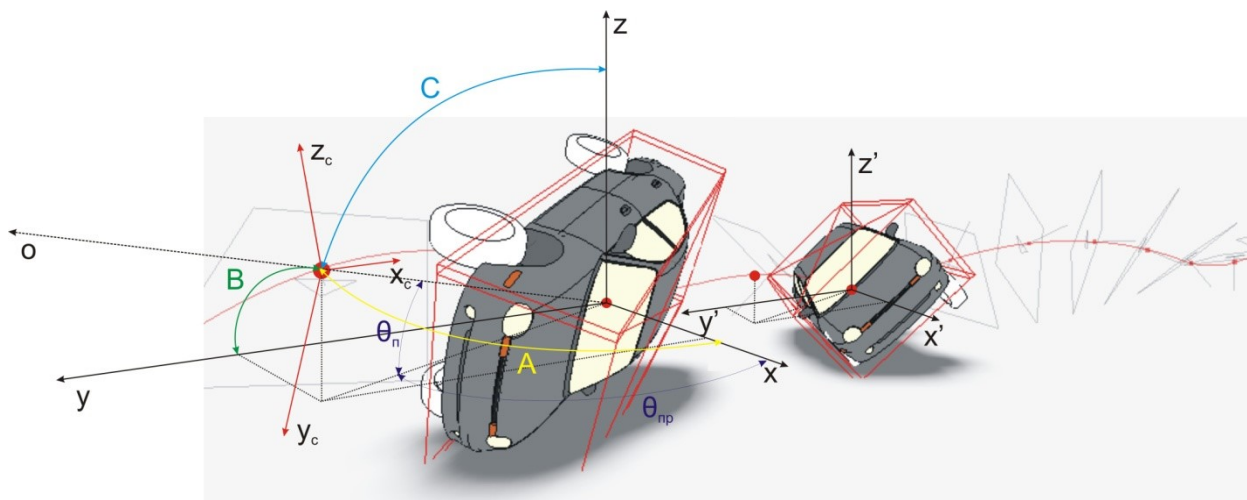


Рисунок 3.3 – Углы в инерциальной системе координат модели опрокидывания ТС

Для практического применения в ДТЭ при расчете скорости движения до опрокидывания ТС следует рекомендовать применение формулы [67]:

$$V_A = 3,6 \sqrt{\frac{2\Delta E_k + I_o \Delta \omega^2}{m}} \quad (3.1)$$

где  $\Delta E_k$  – потери кинетической энергии, Дж. Рекомендуется использовать расчет по [52,67];

$I_o$  – момент инерции ТС по направлению опрокидывания, равный:

$$I_o = I_x \cos^2 A + I_y \cos^2 B + I_z \cos^2 C - 2I_{xy} \cos A \cos B - 2I_{yz} \cos B \cos C - 2I_{zx} \cos C \cos A \quad (3.2)$$

где с учетом обозначений на рис.3.3:

$$\begin{aligned} A &= j \cos(\cos \theta_\pi \cos \theta_{пр}) \\ B &= j \cos(\cos \theta_\pi \cos(90 - \theta_{пр})) \\ C &= 90 - \theta_\pi \end{aligned} \quad (3.3)$$

$j$  – замедление ТС,  $\text{м/с}^2$ ;

$I_x, I_y, I_z, I_{xy}, I_{yz}, I_{zx}$  – компоненты момента инерции по соответствующим осям (см. рис.3.3);

$\theta_\pi$  и  $\theta_{пр}$  – углы по рис.3.3;

$\Delta \omega$  – изменение угловой скорости,  $\text{рад/с}$ ;

$m$  – масса ТС, кг.

Представленная математическая модель легко интегрируется в аппарат МОР и позволяет реализовать рабочую гипотезу исследования в комплексное гибридное решение, в рамках которого были разработаны методики изложенные ниже.

Таким образом, обобщая вышеизложенное, процедуры МОР опрокидывания ТС должны включать в себя комплекс решений находящихся в области как технических и автотехнических, так и трасологических исследований, при этом частные процедуры фотограмметрического анализа повреждений ТС, должны позволять определить углы нанесения следов скольжения как на поверхности проезжей части, на иных объектах, так и на самом объекте исследования. Использование технологий лазерного сканирования также может быть использовано при фиксации наружных и внутренних (как объемных так и поверхностных) повреждений ТС.

### **3.2 Процедуры модельно-ориентированной реконструкции опрокидывания ТС**

Общая схема предпроцессинга – процессинга и постпроцессинга в рамках МОР по [9] показана на рис.3.4.

Схема реализации гибридного решения объединяющего модельно-ориентированную реконструкцию ДТП с опрокидыванием ТС (случаи С+О, О+С и О) с риск-ориентированным подходом к оценке травмирования водителя и пассажиров представлена на рис.3.5. Данная схема объединяет в себе все специализированные процедуры и имеет интеграцию с внешними данными (EDR, БУРС, БД ТС и другие) и внешними процедурами (в частности оптимизация места начала первичного контактно-следового взаимодействия в Matlab).

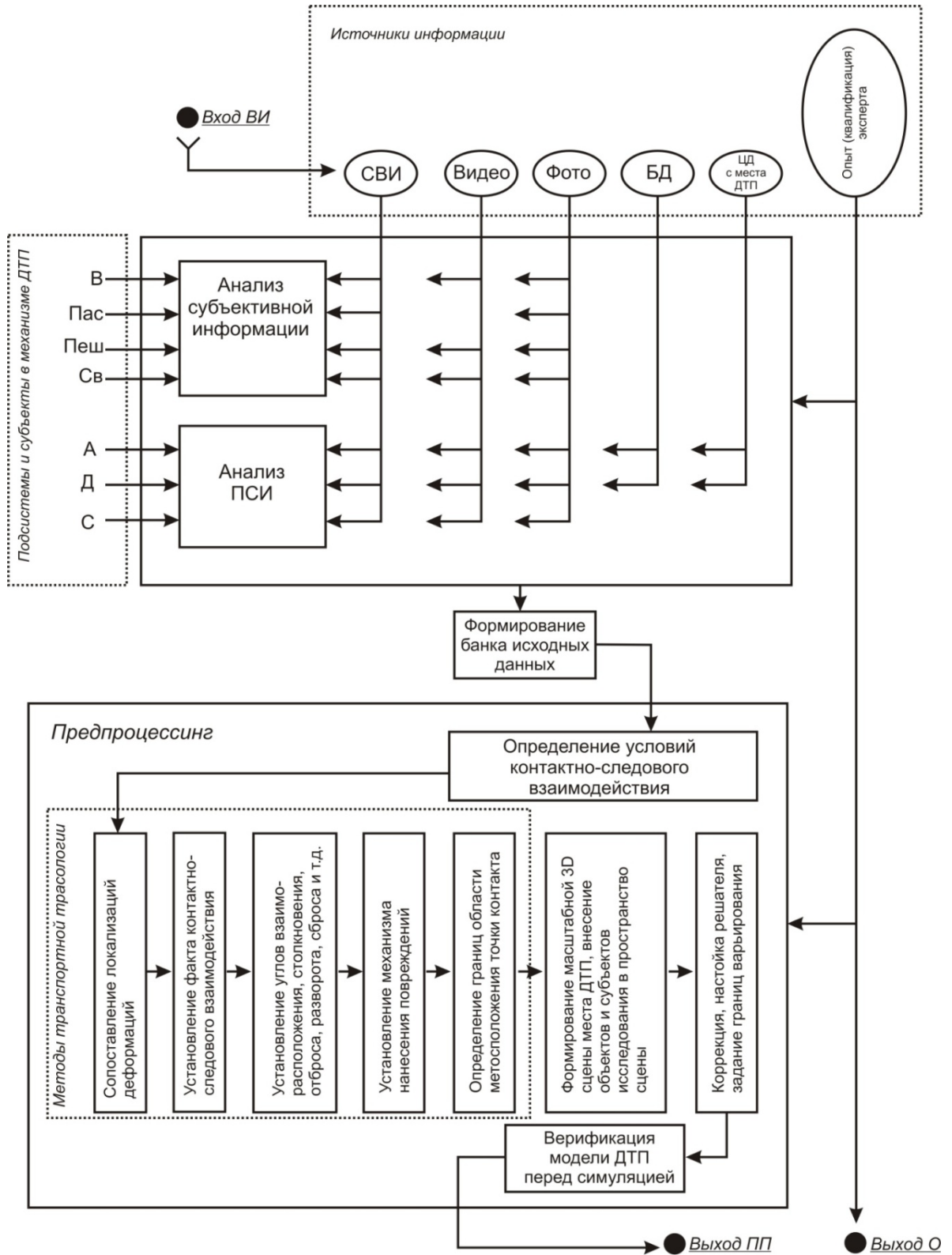


Рисунок 3.4 (начало) – Общая схема предпроцессинга – процессинга и постпроцессинга в рамках МОР

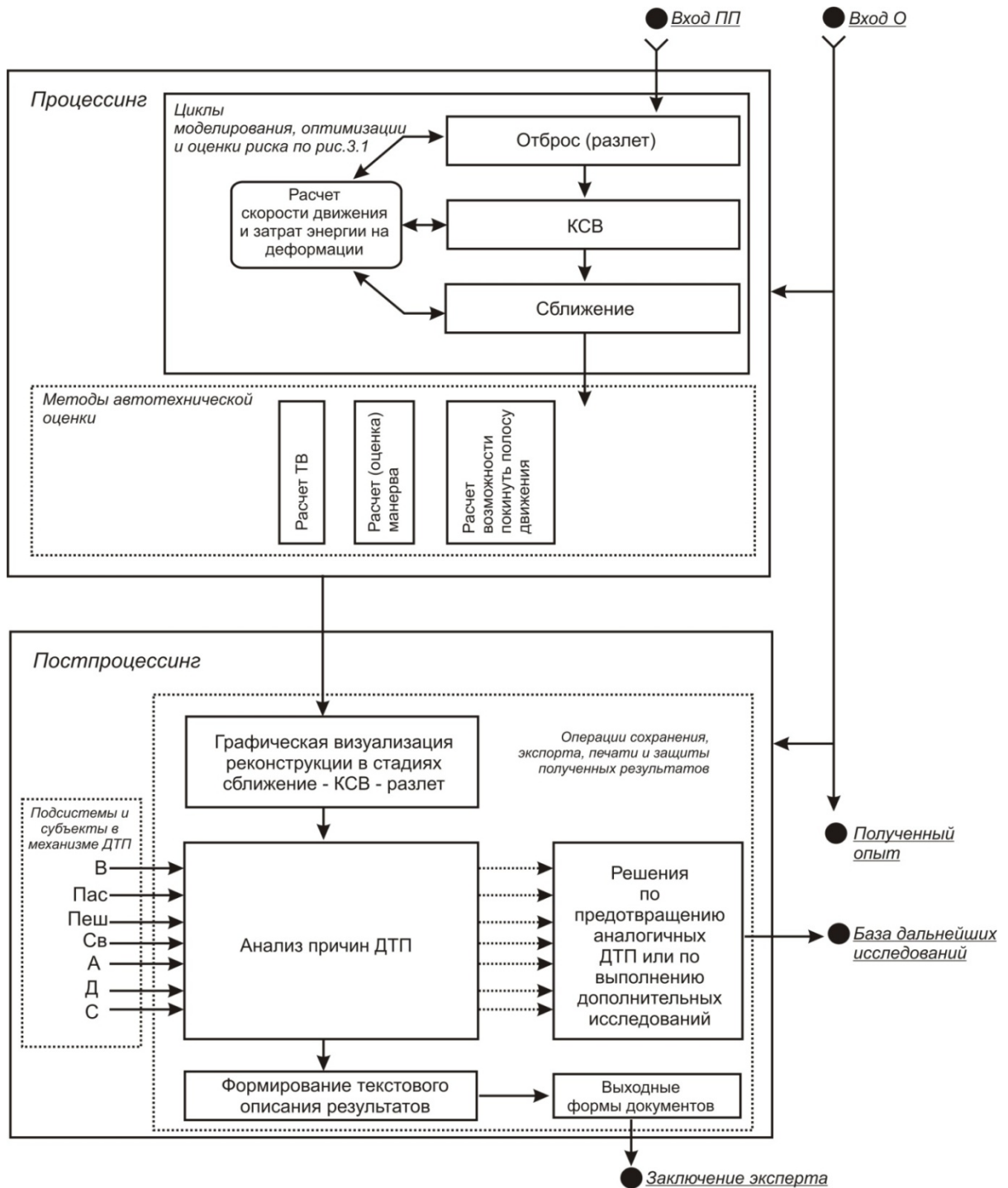


Рисунок 3.4 (продолжение) – Общая схема предпроцессинга – процессинга и постпроцессинга в рамках МОР

На рис.3.4 включены вход внешней информации (ВИ), а также по мере перехода от предпроцессинга к процессингу и от него к постпроцессингу, указано воздействие опыта (квалификации) эксперта на процессы производства ДТЭ.

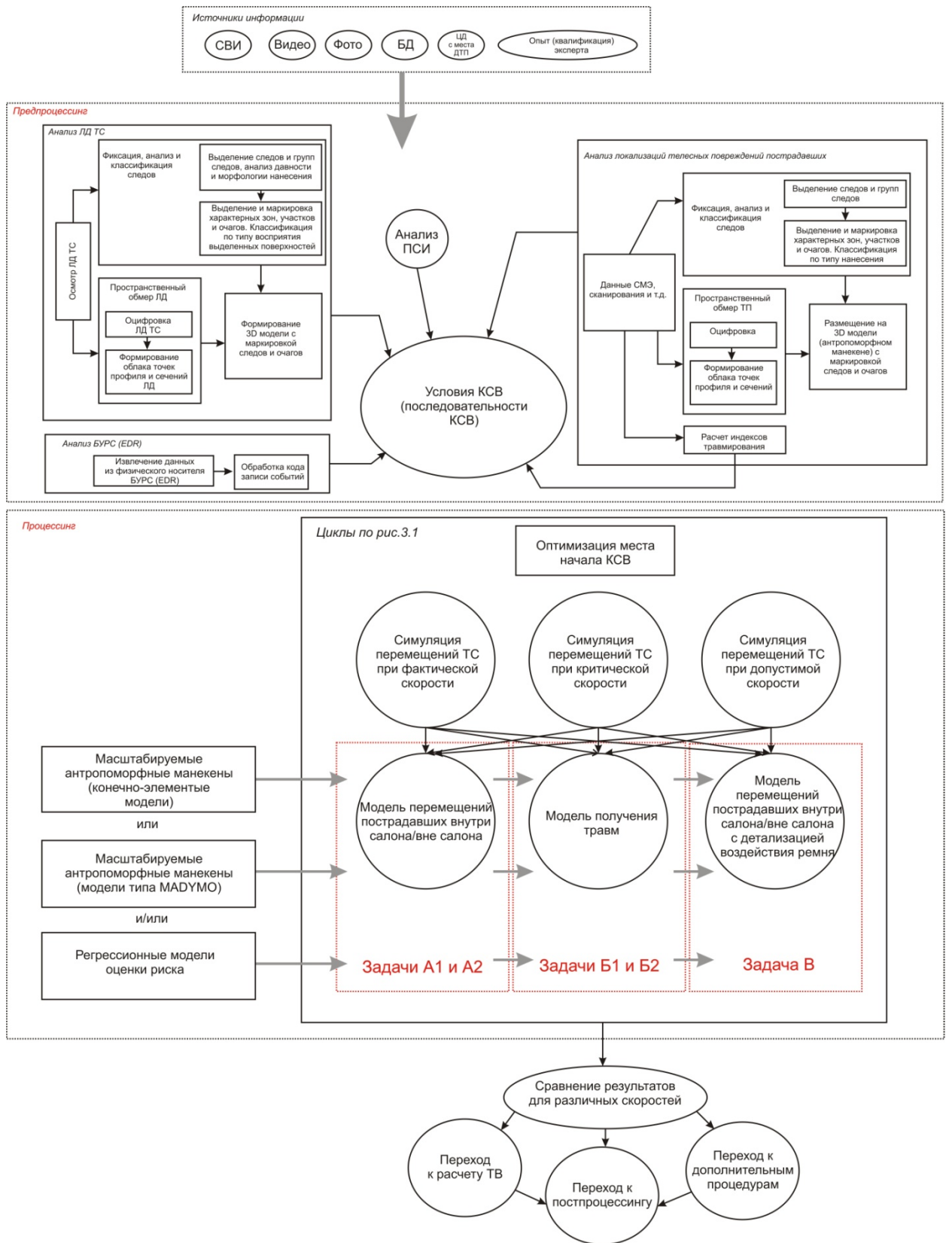


Рисунок 3.5 – Схема реализации гибридного решения объединяющего модельно-ориентированную реконструкцию ДТП с опрокидыванием ТС (случаи С+О, О+С и О) с риск-ориентированным подходом к оценке травмирования водителя и пассажиров

Циклы симуляций могут выполняться для различных условий перемещения ТС: при фактической скорости движения, при максимально допустимой по ПДД скорости движения и при критической скорости движения (по условию опрокидывания). Следует также обратить внимание, что для задач А1, А2, Б1, Б2 и В общая процедура МОР опрокидывания ТС показанная на рис.3.5 включает возможность применения различных моделей: как масштабируемых антропоморфных манекенов (многодельных моделей тела человека типа MADYMO [58] или конечно-элементных моделей человека типа THUMS [82]), так и оценки риска на основе индексов травмирования.

### **3.3 Модель оценки риска травмирования при опрокидывании ТС**

Установлению взаимосвязи между травмами пассажиров и некоторыми способствующими факторами риска (таким как различные типы ДТП, величина потери скорости на удар, использование или неиспользование ремней безопасности и других) посвящен целый ряд зарубежных работ [56,67,76]. Очевидно, что многие факторы риска, действуя одновременно, способствуют получению травм пассажирами и водителем, при этом некоторые факторы являются более значимыми, чем другие.

Большинство данных CDS и FARS являются категориальными данными, в связи с чем их удобно использовать для логистической регрессии. При этом некоторые переменные в CDS и FARS могут рассматриваться как двоичные данные, например, травмированные области тела AIS "3, 4, 5, 6" в [71] рассматривались как случай "серьезной и смертельной травмы" (или "1"), а AIS (0, 1, 2) как несерьезный случай (или "0"). Аналогично, общие независимые факторы в логит-модели включают "переворачивание, или 1" против "не переворачивание, или 0", пассажиры на переднем сидении против пассажиров на заднем сидении, боковой удар против фронтального столкновения.

В исследовании [71] использовались данные полученные из CDS за период с 2006 по 2015, включая все типы аварий, все уровни AIS и возраст автомобиля не более 10 лет. Таким образом, при большей выборке рассматриваемой в данной работе, коэффициенты весомости логит-модели могут быть уточнены для дальнейшего использования при риск-ориентированном прогнозировании трамвирования водителя и/или пассажира при решении задач А1, А2, Б1, Б2 и В (см. выше).

Статистическая корреляция между результатом и независимыми переменными (факторами) по [56,71] описывается уравнением (3.4), на основе этого корреляционного моделирования можно сравнить коэффициенты шансов (OR) тяжести травм водителя и пассажира между двумя совершенно разными условиями дорожно-транспортного происшествия.

$$\ln \frac{p}{(1-p)} = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_3 \cdot X_3 + \beta_4 \cdot X_4 + \beta_5 \cdot X_5 + \beta_6 \cdot X_6 + \beta_7 \cdot X_7 + \beta_8 \cdot X_8 \quad (3.4)$$

где  $\ln$  - знак натурального логарифма;

$p$  - вероятность «серьезной травмы пассажира» с индексом AIS =3,4,5,6;

$p/(1-p)$  - вероятность «серьезной травмы пассажира» по сравнению с «несерьезной травмой» (с индексом AIS = 0, 1, 2);

$\beta_0$  – базовый компонент риска. Следует обратить внимание, что в других работах [67], в качестве базового компонента риска выступает зависимость ASI от СКПУ и  $V_{кр}$ , а также  $ASI_{150}$  при данных по БУРС;

$\beta_1 - \beta_2$  – весовые коэффициенты бинарных факторов;

$X_1$  – фактор возраста ТС (до 10 лет, более 10 лет);

$X_2$  – фактор величины потери скорости на удар (более 56 км/ч, менее 56 км/ч);

$X_3$  – фактор массы ТС (до 1360 кг, более 1360 кг);

$X_4$  – фактор места выброса пострадавшего из салона (передний ряд, задний ряд);

$X_5$  – фактор использования ремней безопасности (использован, не использован);

$X_6$  – фактор наличия опрокидывания на полный оборот (да, нет);

$X_7$  – фактор возраста пассажира (более 65 лет, менее 65 лет);

$X_8$  – фактор первичного удара (фронтальное, боковое).

Данное статистическое моделирование выполнялось в MatLab с использованием процедуры SurveyLogistic, которая учитывает весовые коэффициенты выборки, обеспечивает результаты отношения шансов (OR) серьезных травм в зависимости от восьми указанных факторов риска.

Процедуры SurveyLogistic обычно хорошо справляются с недостающими данными. Большой процент неизвестных или отсутствующих AIS может затруднить построить корреляционную модель. ROC-анализ являясь графическим методом оценки качества работы бинарного классификатора (ROC) используется для измерения предсказательной точности модели логистической регрессии, а ROC-кривая отображает чувствительность и специфичность модели. Площадь под ROC-кривой, в работе [71] следует считать относительно низкой (0,68), что позволят совершенствовать данную модель в дальнейшем, в частности в рамках предложенного гибридного рения MOP и риск-ориентриованного подхода к оценке травмирования.

Результаты в [71] показывают, что более высокий риск получения тяжелых травм пассажирами значительно связан с авариями с опрокидыванием,  $OR=1,74$  (95% доверительный интервал от 1,31 до 2,31, при значительном  $p$ -значении 0,0001), например, пассажиры транспортных средств в случаях O+C и C+O на 74% чаще получают серьезные травмы (AIS 3+) по сравнению с пассажирами не перевернувшихся автомобилей. Аналогичным образом, более высокий риск травмирования связан с более высокой потерей скорости на удар ( $>56$  км/ч,  $OR=5,59$ ), "не пристегнутым

ремнем" ( $OR=3,26$ , 95% доверительный интервал от 2,63 до 4,04), боковым столкновением ( $OR=1,54$ ) и более старшим возрастом водителя ( $OR=2,69$ ).

Таким образом, модели аналогичные рассмотренной в рамках МОР могут использоваться индивидуально для конкретного исследования, имея единообразную структуру и методику оценки (при различном возможном факторном пространстве) базовый компонент риска следует принимать по СКПУ. При этом как показано выше процедуры МОР при опрокидывании ТС могут интегрироваться с моделями в *matlab*.

### Выводы по Главе 3

1. Процедуры МОР опрокидывания ТС должны включать в себя комплекс решений находящихся в области как технических и автотехнических, так и трасологических исследований, при этом частные процедуры фотограмметрического анализа повреждений ТС, должны позволять определить углы нанесения следов скольжения как на поверхности проезжей части, на иных объектах, так и на самом объекте исследования.

2. В ракурсе на действующие методы реконструкции механизма ДТП при опрокидывании ТС, выполняемый в ДТЭ через методический подход, реализуемый в модельно-ориентированной реконструкции механизма ДТП может быть скомпонован в комплексную процедуру МОР, в которую должны быть внедрены: риск-ориентированный подход к прогнозированию индексов травмирования водителя и пассажиров, методика расчета работы сил на совместные перемещения и вращение, методика расчета работы сил на опрокидывание и методика оптимизации расчетной области места столкновения кооперативными генетическими алгоритмами с вертикальным наложением популяций.

3. Разработана схема реализации гибридного решения объединяющего модельно-ориентированную реконструкцию ДТП с опрокидыванием ТС (случаи С+О, О+С и О) с риск-ориентированным подходом к оценке

травмирования водителя и пассажиров, позволяющая решать задачи А1, А2, Б1, Б2 и В.

4. Риск-ориентированный анализ в МОР целесообразно основывать на логит-моделях, разрабатываемых в matlab и корректируемых при процессинге в МОР в единой предложенной процедуре. Применение такого подхода, совместно с МОР позволяет решать задачи типа А1, А2, Б1, Б2 и В, а также выполнять оценку риска в том числе и для задач не только реконструкции, но и для экспертной профилактики ДТП.

## **ГЛАВА 4. МЕТОДИКИ, РАЗРАБОТАННЫЕ В РАМКАХ ПРЕДЛОЖЕННОГО ГИБРИДНОГО РЕШЕНИЯ ОБЪЕДИНЯЮЩЕГО МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ И РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОДЫ**

### **4.1 Методика расчета работы сил на непрерывное изменение угла разворота продольной оси ТС при производстве дорожно-транспортной экспертизы**

Среди множества задач решаемых в рамках дорожно-транспортной экспертизы, особе место при реконструкции механизма ДТП всегда занимало установление фактических значений скорости движения объектов исследования (транспортных средств – участников ДТП) на всех стадиях развития механизма ДТП. Эволюция методов расчета скоростей движения в взаимосвязи с развитием методологии реконструкции механизма ДТП от экспертного мнения середины прошлого века до модельно-ориентированного подхода современности, претерпела ряд существенных изменений, но к сожалению сохранила наследование некоторых допущений как в процедурах исследования, так и в фундаментальной части выполняемых расчетов и допустимости применения некоторых расчетных формул, которые чаще всего используются как универсальное расчетное решение, не учитывая при этом фактический характер перемещения ТС на стадии отброса (разлета) [3,5].

Начиная с работ таких ученых как Боровский Б.Е., Суворов Ю.Б., Кристи Н.М., Евтюков С.А. [2,12,37,42,43] в экспертную практику широко внедрилась практика расчета скорости движения транспортного средства (ТС) до ДТП на основе закона сохранения количества движения, методика которого основана в частности на суммировании работ сил на перемещения, разворот, опрокидывание и преодоление препятствия объектами исследования в стадиях Сближение – Контактно-следовое взаимодействие – Разлет [3,5]. В общем виде для столкновений двух ТС, устоявшаяся

экспертная практика на настоящий момент при расчете скорости движения ТС в экспертных исследованиях для определения работ сил на перемещения и разворот ТС использует следующие формулы:

Для работы силы на перемещения ТС:

$$A_S = m \cdot g \cdot \phi' \cdot S_S \quad (4.1)$$

где  $m$  – масса ТС с учетом загрузки, кг;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g \approx 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$\phi'$  – коэффициент сцепления в поперечном направлении, рекомендуется принимать в диапазоне значений от 0,5 до 0,8 от продольного с учетом угла разворота продольной оси ТС на стадии разлета, а именно при углах до  $45^\circ$  - 0,8, от  $45^\circ$  до  $90^\circ$  - 0,7, от  $90^\circ$  до  $180^\circ$  - 0,6, более  $180^\circ$  - 0,5; в случаях длительного скольжения при опрокидывании и выбеге накатом, рекомендуется принимать как  $\max$  возможное значение коэффициента сопротивления перемещениям 0,1.

$S_S$  – длина перемещений центра масс (хорда дуги) ТС на стадии разлета от места столкновения до конечного после ДТП положения или на расчетном участке, отличном от соседних через которые перемещалось ТС по продольному коэффициенту сцепления, в м.

И соответственно для работы сил на разворот ТС:

$$A_{RC} = m_T \cdot g \cdot L_T \cdot \frac{2\pi\alpha_{RC}}{360} \cdot \phi' \quad \text{Дж} \quad (4.2)$$

где  $g$ ,  $\phi'$  и  $m_T$  – см. выше;

$L_T$  – колесная база ТС, м;

$\alpha_{RC}$  – угол разворота продольной оси ТС в ходе перемещений на стадии разлета, определяемый по масштабному построению схемы места ДТП, в град.

При этом формулы (4.1) и (4.2) имеют ряд существенных допущений, влияющих на точность расчета итогового значения скорости движения ТС до ДТП и обладают высокой чувствительностью к значению принимаемого

коэффициента сцепления  $\varphi'$ . В частности расчет пути перемещений ТС на стадии с момента выхода из контакта до момента занятия конечного после ДТП положения (стадия разлета в хронологии механизма ДТП) использует не полный фактический путь, а хорду его дуги, при этом разворот ТС вычисляется как отдельная работ сил, хотя в физическом смысле разворот имеет место в ходе перемещений и силы (остаточное количество движения) определяющие сопротивление перемещению обуславливают также и разворот ТС. При этом нет достаточно проработанных и обоснованных исследований, учитывающих сопротивление качению и/или скольжению при разрушении элементов подвески и волочении в случаях когда деформированные элементы кузова ТС блокируют вращение одного или нескольких колес, что в экспертной практике обычно компенсируется усреднением коэффициента сцепления в поперечном направлении и/или его минимизацией. Также вышеуказанный метод расчета не позволяет численно учесть участки пути на которых после выхода из контакта одно или несколько колес не находятся в контакте с поверхностью дороги, каким-либо иным способом кроме варьирования значения коэффициента сцепления [3].

Таким образом, перемещение ТС на стадии отброса с разворотом рассматривается в большинстве отечественных работ [12,40-43] как сумма поступательного и вращательного движений, т.е. как поступательное движение от момента начала торможения до момента остановки и последующее вращение на величину угла разворота, что является весьма приблизительным описанием реального движения с разворотом. Известна также публикация Марокишвили Ю.И., Чава И.И. и Чернова В.И. [41], в которой ранее уже было учтено непрерывное изменение угла разворота в процессе торможения. Соответственно зависимость замедления ТС от этого угла, таким образом, показанная в [41] как частное решение было обосновано только для случаев когда ТС уже находится в заторможенном состоянии на стадии отброса или находится в заносе с заблокированными колесами [3].

Максимальный момент сил, препятствующих развороту автомобиля вокруг вертикальной оси, равен:

$$m_T g \varphi \frac{b}{L_T} a \sin \beta + m_T g \varphi \frac{a}{L_T} b \sin \beta = \frac{2ab}{L_T} m_T g \varphi \sin \beta \quad (4.3)$$

где  $g$ ,  $\varphi$ ,  $L_T = a + b$  и  $m_T$  – см. выше;

$a$  - расстояние от центра масс автомобиля до его передней оси, м;

$b$  - расстояние от центра масс автомобиля до его задней оси, м;

$\psi$  - угол между силой, действующей на переднюю (заднюю) ось автомобиля, и его продольной осью, рад.

В обобщенном виде замедление в зависимости от угла  $\gamma$  между направлением движения автомобиля и лучом, направленным от центра масс автомобиля к середине его передней оси может быть определено по формуле:

$$j(\gamma) = g \varphi \sin \psi \frac{a-b}{L} \sin \gamma + g \varphi \cos \psi |\cos \gamma| \quad (4.4)$$

Таким образом, наблюдаемая в (4.3) и (4.4) зависимость замедления ТС от угла разворота, который в свою очередь может варьироваться в широких пределах, расчетную задачу можно свести к необходимости вычисления среднего значения замедления  $j_{icp}$  на некотором  $i$ -ом участке перемещения для последующего определения затраты кинетической энергии на данном участке, а именно:

$$j_{icp} = \frac{g \varphi \sin \psi \frac{a-b}{L_T}}{\Delta \gamma} \int_{\gamma_i}^{\gamma_{i+\Delta \gamma}} \sin \gamma \cdot d\gamma + \frac{g \varphi \cos \psi}{\Delta \gamma} \int_{\gamma_i}^{\gamma_{i+\Delta \gamma}} |\cos \gamma| \cdot d\gamma \quad (4.5)$$

С учетом результатов интегрирования, а также с учетом того, что из закона сохранения энергии:

$$\sum_{i=1}^n m_T j_{i\varphi} \Delta S_i + \frac{2ab}{L} m_T g \varphi \sin \psi \sum_{i=1}^n \Delta \gamma = \frac{m_T}{25,92} \sum_{i=1}^n (V_{i-1}^2 - V_i^2) \quad (4.6)$$

где  $V_i$  – скорость движения автомобиля в конце  $i$ -го участка.

Исключая вывод формул, автором были получены расчетные зависимости для расчета работы сил на непрерывное изменение угла разворота продольной оси ТС против часовой стрелки при его перемещении на стадии отброса. В частности, для любых четырех (и более) случаев

попадания угла  $\gamma'$  между направлением перемещения ТС и лучом, направленным от его центра масс к середине передней оси работа сил  $A_{MR}$  совершенная на непрерывное изменение угла разворота продольной оси ТС при перемещении на стадии отброса определяется по формулам (4.7)-(4.10):

Если  $0 < \gamma' \leq \frac{\pi}{2}$ ,

$$\text{то } A_{MR} = m_T g \varphi' \left[ \left( \frac{a-b}{L_T} S_C \frac{1-\cos\gamma'}{\gamma'} \right) + \left( 0,75 \cdot S_C \frac{\sin\gamma'}{\gamma'} + \frac{2ab}{L_T} \gamma' \right) \right] \quad (4.7)$$

Если  $\frac{\pi}{2} < \gamma' \leq \pi$

$$\text{то } A_{MR} = m_T g \varphi' \left[ \left( \frac{a-b}{L_T} S_C \frac{1-\cos\gamma'}{\gamma'} \right) + \left( 0,75 \left( \frac{S_C^I}{\pi} + \frac{S_C^{II}(1-\sin\gamma')}{2(\gamma' - \frac{\pi}{2})} \right) + \frac{2ab}{L_T} \gamma' \right) \right] \quad (4.8)$$

где  $S_C^I$ - участок траектории центра масс автомобиля, на котором угол  $\gamma$  изменился от 0 до  $\frac{\pi}{2}$ ;

$S_C^{II}$ - участок траектории центра масс автомобиля, на котором угол  $\gamma$  изменился от  $\frac{\pi}{2}$  до  $\gamma'$ , причем  $S_C^I + S_C^{II} = S_C$ .

Если  $\pi < \gamma' \leq \frac{3}{2}\pi$

$$\text{то } A_{MR} = m_T g \varphi' \left[ \left( \frac{a-b}{L_T} S_C \frac{1-\cos\gamma'}{\gamma'} \right) + \left( 0,75 \left( \frac{S_C^I + S_C^{II}}{\pi} - \frac{S_C^{III} \sin\gamma'}{2(\gamma' - \pi)} \right) + \frac{2ab}{L_T} \gamma' \right) \right] \quad (4.9)$$

где  $S_C^{II}$ - участок траектории центра масс автомобиля, на котором угол  $\gamma$  изменился от  $\frac{\pi}{2}$  до  $\pi$ ;

$S_C^{III}$ - участок траектории центра масс автомобиля, на котором угол  $\gamma$  изменился от  $\pi$  до  $\gamma'$ , причем  $S_C^I + S_C^{II} + S_C^{III} = S_C$

Если  $\frac{3}{2}\pi < \gamma' \leq 2\pi$

$$\text{то } A_{MR} = m_T g \varphi' \left[ \left( \frac{a-b}{L_T} S_C \frac{1-\cos\gamma'}{\gamma'} \right) + \left( 0,75 \left( \frac{S_C^I + S_C^{II} + S_C^{III}}{\pi} - \frac{S_C^{IV}(1+\sin\gamma')}{2(\gamma' - \frac{3}{2}\pi)} \right) + \frac{2ab}{L_T} \gamma' \right) \right] \quad (4.10)$$

где  $S_C^{III}$ -участок траектории центра масс автомобиля, на котором угол  $\gamma$  изменился от  $\pi$  до  $\frac{3}{2}\pi$ ;

$S_C^{VI}$ - участок траектории центра масс автомобиля, на котором угол  $\gamma$  изменился от  $\frac{3}{2}\pi$  до  $\gamma'$ , причем  $S_C^I + S_C^{II} + S_C^{III} + S_C^{IV} = S_C$

Для случаев большего значения угла вычисления проводятся последовательно по формулам (4.7) – (4.10), в которых по тому же закону будет изменяться состав второго слагаемого в квадратных скобках. В случае разворота автомобиля в обратном направлении формулы остаются теми же, но угол разворота отсчитывается по часовой стрелке [3].

#### 4.2 Методика расчета работы сил на опрокидывание ТС при производстве дорожно-транспортной экспертизы

Действующий метод расчета скорости движения ТС при опрокидывании включает отдельный учет работы сил на перемещение и разворот ТС по (4.1) и (4.2) на стадии отброса (для случаев когда опрокидывание имеет место после или вследствие КСВ с другим ТС) или на стадии с момента начала опрокидывания до занятия конечного зафиксированного при осмотре места ДТП положения и работы на опрокидывание по (4.11) в котором учитывается только работы силы на плече опрокидывания (т.е. колеи колес) [5].

$$A_{Opr} = m \cdot g \left( \sqrt{\left(\frac{B}{2}\right)^2 + h_{COG}^2} - h_{COG} \right) \quad Дж \quad (4.11)$$

где  $g$  и  $m$  – см. выше;

$B$  – плечо опрокидывания ТС, принимаемое обычно как равное его колее колес  $K$ , м;

$h_{COG}$  – высота центра масс ТС, м.

При этом фактически такой отдельный подход к расчету работ сил, фактически обладает теми же недостатками, которые и присущи расчету работы сил на перемещение в действующем методе (см. выше), а именно высокая чувствительность к выбранному значению коэффициента сцепления

в поперечном направлении, отсутствие учета единовременности разворота продольной оси со скольжением и учетом только работы сил на опрокидывание на бок, без учета дальнейших переворотов и участков перемещения, где ТС может не находиться в контакте с покрытием.

Известно более расширенное решение по учету работы сил, представленное в [9], такой подход частично устраняет недостатки действующего метода, объединяя в себе работы на перемещение и на опрокидывание (переворот на сторону). Согласно [9] суммарная работа сил на опрокидывание ТС в процессе его перемещений на стадии разлета, для случая падения с опрокидыванием под уклон кювета или насыпи дороги:

$$A_{OIP} = m \cdot g \sum_{i=1}^n \left( \sqrt{\left(\frac{P}{x}\right)^2 + h_X^2} - h_X \right) + m \cdot g (h_{СБР} + (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) S_O) \quad (4.12)$$

где  $m$  – масса ТС с учетом загрузки, кг;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g \approx 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$i=1 \dots n$  – число переворотов, а именно при падении на бок  $n=1$ , при перевороте на крышу  $n=2$ , при перевороте на сторону, противоположную стороне опрокидывания  $n=3$ , при полном обороте  $n=4$ ;

$P$  – плечо опрокидывания ТС, м;

$x$  – доля длины плеча к точке опрокидывания, если фаза опрокидывания через колею или шириною крыши ( $n=1$  и  $n=3$ ), то  $x=2$ , если фаза опрокидывания через боковую сторону ТС для  $n=2$  соответственно  $x = B - h_{ЦТ}$ , где  $B$  – высота ТС,  $h_{ЦТ}$  – высота центра тяжести и для  $n=4$  будет:  $x = h_{ЦТ}$ ;

$h_X$  – высота центра масс ТС относительно опорной поверхности, с учетом фазы (числа переворота), м;

$h_{СБР}$  – высота сброса, а именно расстояние по вертикали к оси дороги от точки съезда до места конечного положения ТС после ДТП, м;

$\alpha$  – угол сброса, для случаев если ТС не отрывалось от опорной поверхности, равен углу уклона насыпи или кювета, в иных случаях определяется графическим построением схемы сброса;

$f$  – коэффициент сопротивления перемещением при опрокидывании;

$S_0$  – путь преодолеваемый ТС при опрокидывании, м.

Согласно [9] такая суммарная работа сил на опрокидывание ТС на горизонтальном участке дороги в процессе его перемещений на стадии разлета:

$$A_{OIP} = m \cdot g \sum_{i=1}^n \left( \sqrt{\left(\frac{P}{x}\right)^2 + h_X^2} - h_X \right) + m \cdot g \cdot f \cdot S_0 \quad (4.13)$$

Однако такое решение, также наследует подход к модели расчета в котором принимается что замедление на участке опрокидывания определяется только сцепными и инерционными силами, без демпфирования и без учета угловых скоростей и перемены контактной зоны по мере оборачивания (переворачивания). При этом во всех действующих методах расчета скорости движения ТС через работы сил, само ТС принимается как жесткое тело [3,5].

Следует также отметить, что параллельно с действующей практикой в ДТЭ расчета через работы сил, на практике также используется расчете через моменты инерции ТС [31,52,84], который обладает большей точностью, но в силу сложности ручного решения, реализован и используется только в программных средствах для моделирования механизма ДТП (в частности PC-Crash, VistaCrash, VirtualCrash).

В результате обработки натуральных данных по EDR в банке NASS EDR Report и по CDR базе проекта CISS получены регрессионные зависимости, описывающие изменение угловой скорости ТС в зависимости от количества четвертей оборота ТС при перемещении с продольным вращением (таблица 4.1), а также зависимости (таблица 4.2) описывающие изменение угловой скорости в зависимости от продольного ускорения (замедления) и типа покрытия (сухое, мокрое и гололед) и зависимости дальности перемещений ТС от числа четвертей оборота для трех состояний покрытия (таблица 4.3).

Соответственно, также были получены зависимости изменения скорости  $V_{\text{ОПР}}$  в момент начала опрокидывания от числа четвертей оборота ( $n_{\text{ЧО}}$ ) показанные в таблице 4.4.

Таблица 4.1 – Полученные зависимости изменения угловой скорости от числа четвертей оборота ( $n_{\text{ЧО}}$ )

№ п/п	Число четвертей оборота, $n_{\text{ЧО}}$	Уравнение регрессии	Достоверность аппроксимации
1	Одна ( $\pi/2$ )	$\Delta\omega = 68,833 n_{\text{ЧО}}^3 - 838 n_{\text{ЧО}}^2 + 3139,2 n_{\text{ЧО}} - 3350$	0,889
2	Две ( $\pi$ )	$\Delta\omega = 8,1414 n_{\text{ЧО}}^3 - 167,07 n_{\text{ЧО}}^2 + 974,69 n_{\text{ЧО}} - 1165,5$	0,923
3	Три ( $3\pi/2$ )	$\Delta\omega = 1,0894 n_{\text{ЧО}}^3 - 29,892 n_{\text{ЧО}}^2 + 198,31 n_{\text{ЧО}} + 85,667$	0,888
4	Четыре и более ( $2\pi$ )	$\Delta\omega = 0,0627 n_{\text{ЧО}}^3 - 4,6049 n_{\text{ЧО}}^2 + 74,366 n_{\text{ЧО}} + 259,87$	0,857

Таблица 4.2 – Полученные зависимости изменения угловой скорости от продольного замедления ( $j$ )

№ п/п	Состояние покрытия	Уравнение регрессии	Достоверность аппроксимации
1	Сухое, $\varphi = 0,7$	$\Delta\omega = -1,4866j^3 + 24,799j^2 - 30,798j + 183,44$	0,809
2	Мокрое, $\varphi = 0,5$	$\Delta\omega = -1,2486j^3 + 28,478j^2 - 31,674j + 106,44$	0,811
3	Гололед, $\varphi = 0,3$	$\Delta\omega = -1,1175j^3 + 27,98j^2 - 24,741j + 58,442$	0,807

Таблица 4.3 – Полученные зависимости изменения расстояния отброса от числа четвертей оборота ( $n_{\text{ЧО}}$ )

№ п/п	Состояние покрытия	Уравнение регрессии	Достоверность аппроксимации
1	Сухое, $\varphi = 0,7$	$\Delta S = 1,0927 n_{\text{ЧО}}^3 - 15,314 n_{\text{ЧО}}^2 + 75,445 n_{\text{ЧО}} - 61,06$	0,872
2	Мокрое, $\varphi = 0,5$	$\Delta S = 0,924 n_{\text{ЧО}}^3 - 14,303 n_{\text{ЧО}}^2 + 77,759 n_{\text{ЧО}} - 64,821$	0,861
3	Гололед, $\varphi = 0,3$	$\Delta S = -1,5152 n_{\text{ЧО}}^3 + 6,8545 n_{\text{ЧО}}^2 + 27,103 n_{\text{ЧО}} - 30,624$	0,887

Кроме того по данным, содержащимся в FARS и CDS (см. выше) было проанализировано 213 записей о фактических ДТП с AIS3+ (в выборке 2017 по 2020 годы), на основании которых для трех состояний покрытия (сухое, мокрое, гололед) были получены графики изменения скорости движения в момент начала опрокидывания  $V_{\text{ОПР}}$  от расстояния перемещений (непрерывное перемещение с разворотом продольной оси и вращением при опрокидывании) показанные на рисунке 4.1. Для представленных

распределений значений  $V_{\text{ОПР}}$  были получены зависимости их изменения, представленные в таблице 4.4.

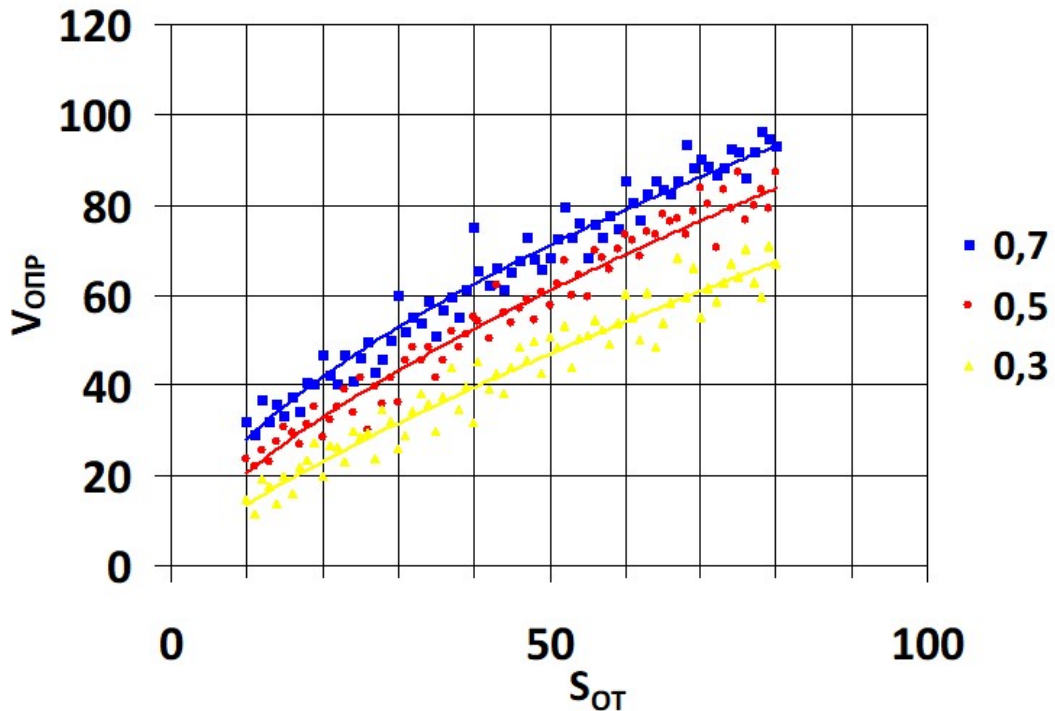


Рисунок 4.1 – Графики изменения скорости в момент начала опрокидывания  $V_{\text{ОПР}}$  от расстояния перемещений ( $S_{\text{ОТ}}$ ) для трех значений коэффициента сцепления

Таблица 4.4 – Полученные зависимости изменения скорости в момент начала опрокидывания  $V_{\text{ОПР}}$  от расстояния перемещений ( $S_{\text{ОТ}}$ )

№ п/п	Состояние покрытия	Полученная зависимость	Достоверность аппроксимации
1	Сухое, $\varphi = 0,7$	$V_{\text{ОПР}} = 7,4391 \cdot S_{\text{ОТ}}^{0,5768}$	0,96
2	Мокрое, $\varphi = 0,5$	$V_{\text{ОПР}} = 4,3797 \cdot S_{\text{ОТ}}^{0,6734}$	0,94
3	Гололед, $\varphi = 0,3$	$V_{\text{ОПР}} = 2,2748 \cdot S_{\text{ОТ}}^{0,774}$	0,93

На основе выполненного анализа экспериментальных данных (натурных краш-тестов и данных EDR) была разработана методика расчета работы сил на совместное перемещение, разворот и вращение ТС при опрокидывании, использующая следующее выражение расчета полной работы сил:

$$A_{\text{ОПР}} = A_{\text{MR}} + \frac{m \cdot g \cdot \Delta\omega \cdot \varepsilon \cdot k_r^2}{25,92 \cdot r \cdot (\varepsilon \cdot \sin \theta - \cos \theta)} \quad (4.14)$$

где  $A_{MR}$ ,  $m$ ,  $g$ , - см. выше;

$\Delta\omega$  – угловая скорость, рад/с;

$r$  – радиус оборачивания контактной зоны (расстояние от центра масс к точке контакта в четверти оборота), м;

$k_r$  – радиус гирации, м;

$\varepsilon$  – коэффициент сцепления в зоне скольжения;

$\theta$  – угол вращения продольной оси.

Таким образом, представленная зависимость устраняет вышеуказанные недостатки действующей практики расчета работы сил при совместном перемещении, развороте и опрокидывании ТС [5].

### 4.3 Методика расчета критической скорости и оценки риска получения политравм

В рамках реализации риск-ориентированного подхода были получены зависимости риска получения индекса травмирования водителя и пассажиров (по местам) выше AIS3 и риска летального исхода (для случаев только О и С+О / О + С) от числа четвертей оборота ( $n_{\text{ЧО}}$ ). Также дополнительно, в Приложении В показан пример натурального теста на выброс манекена с переднего пассажирского места и результаты обработки данных по записи тесового оборудования (там же для примера показаны графики изменения скорости, высоты и дальности выброса манекена).

Таблица 4.5 – Зависимости оценки риска травмирования для водительского сидения при опрокидывании

№ п/п	Вид риска на водительском месте	Уравнение регрессии	Достоверность аппроксимации
1	Риск получения травм с индексом AIS3 и выше для О	$R_{\text{AIS3+}} = 0,0015x^3 - 0,0416x^2 + 0,3877x - 0,2011$	0,897
2	Риск летального исхода для О	$R_D = -3E-05x^3 + 0,0017x^2 + 0,0644x + 0,0031$	0,912
3	Риск получения травм с индексом AIS3 и выше для О+С/С+О	$R_{\text{AIS3+}} = 0,0013x^3 - 0,0363x^2 + 0,343x - 0,0692$	0,904
4	Риск летального исхода для О+С/С+О	$R_D = 0,0002x^3 - 0,0117x^2 + 0,1975x - 0,0038$	0,914

В таблице 4.5 показаны полученные в ходе обработки данных по вышеуказанным данным проектов NHTSA зависимости для водителя при опрокидывании.

Полученные распределения: фактических величин ASI к СКПУ, фактических величин скорости в момент опрокидывания ( $V_{\text{ОПР}}$ ) к значениям ASI и значений AIS к величине  $\Delta V$  показаны на рисунках 4.2, 4.3 и 4.4 соответственно [8].

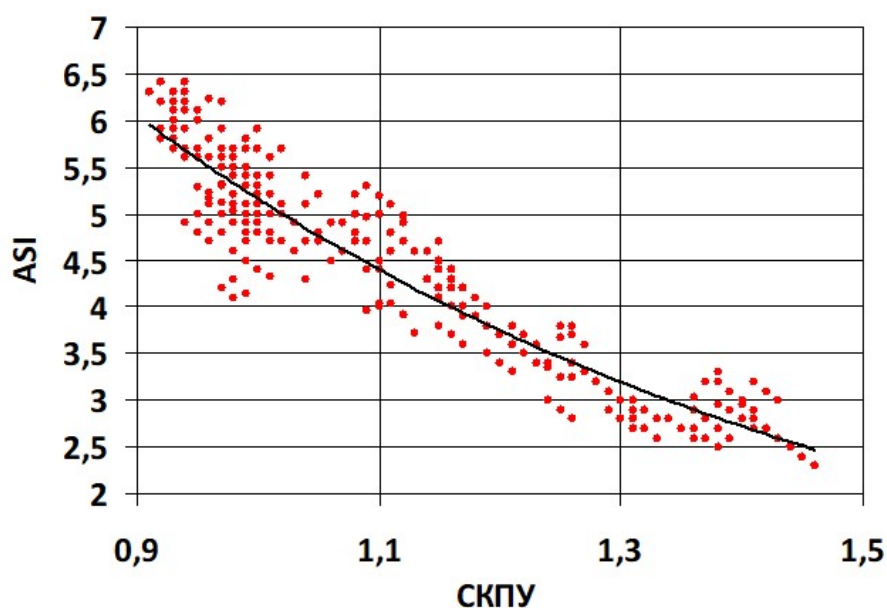


Рисунок 4.2 – Распределение фактических величин ASI к СКПУ

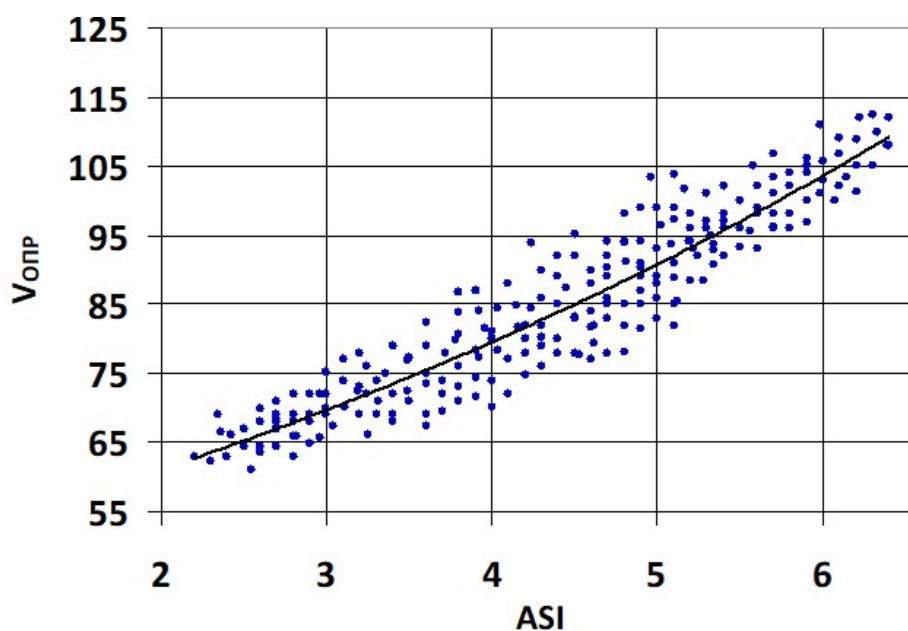


Рисунок 4.3 – Распределение фактических величин скорости в момент опрокидывания ( $V_{\text{ОПР}}$ ) к значениям ASI

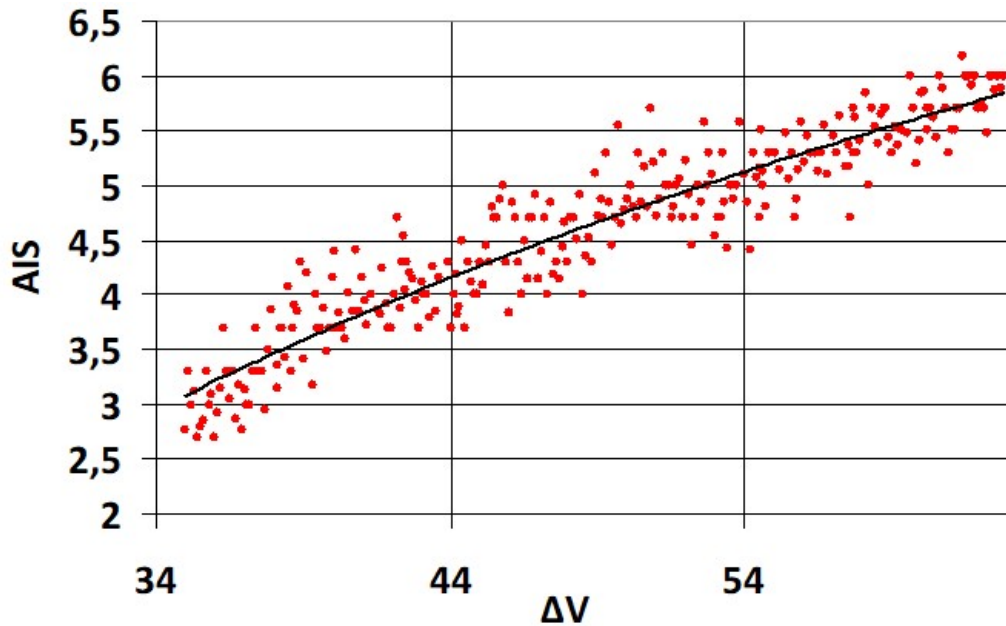


Рисунок 4.4 – Распределение значений AIS к величине  $\Delta V$

Откуда, по рисунку 4.2 было получено выражение зависимости изменения фактических величин ASI к СКПУ ( $K_{уст}$ ):

$$ASI = 25,445e^{-1,5957 \cdot K_{уст}} \quad (4.15)$$

Коэффициент детерминации полученной зависимости (4.15) составляет  $R^2 = 0,89$ . Аналогично по рисунку 4.3 было получено выражение зависимости изменения фактических величин скорости в момент опрокидывания ( $V_{ОПР}$ ) к значениям ASI:

$$V_{ОПР} = 46,965e^{0,1319 \cdot K_{уст}} \quad (4.16)$$

Коэффициент детерминации полученной зависимости (4.16) составляет  $R^2 = 0,88$ .

Соответственно, по рисунку 4.4, было получено выражение зависимости изменения значений AIS к величине  $\Delta V$ :

$$AIS = 4,714 \ln(\Delta V) - 13,677 \quad (4.17)$$

Коэффициент детерминации полученной зависимости (4.17) составляет  $R^2 = 0,88$ .

Расчет критической скорости связанный с СКПУ с учетом [67], с использованием  $K_{уст}$  по (1.1), следует выполнять по формуле:

$$V_{кр} = \sqrt{2gh_X(a+1)(1+K_{уст}^2) \left[ \sqrt{(1+K_{уст}^2) - \cos \mu} - K_{уст} \sin \mu \right]} \quad (4.18)$$

где  $g, h_X$  и  $K_{уст}$  – см. выше;

$a$  – безразмерная константа, по [67] равная 0,404;

$\mu$  – угол поперечного уклона проезжей части.

Характер изменения критической скорости от СКПУ для различных значений колеи ТС и высоты ЦТ ТС проиллюстрированы рисунками 4.5 и 4.6.

Далее было установлено, что зависимость критической скорости по условию начала опрокидывания в зависимости от значения СКПУ может быть описана как линейная, откуда полученные зависимости изменения критической скорости от СКПУ для различных значений колеи колес ТС и высоты ЦТ ТС показаны в таблицах 4.8 и 4.9 [8].

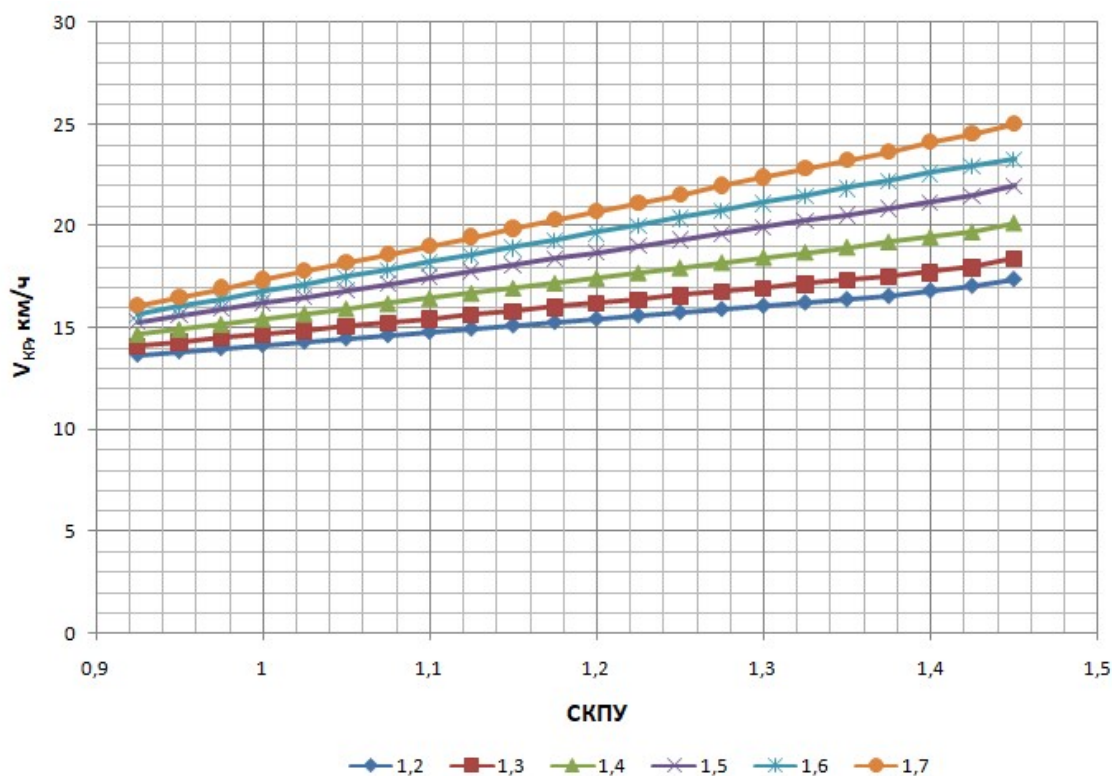


Рисунок 4.5 – Характер изменения критической скорости от СКПУ для различных значений колеи ТС

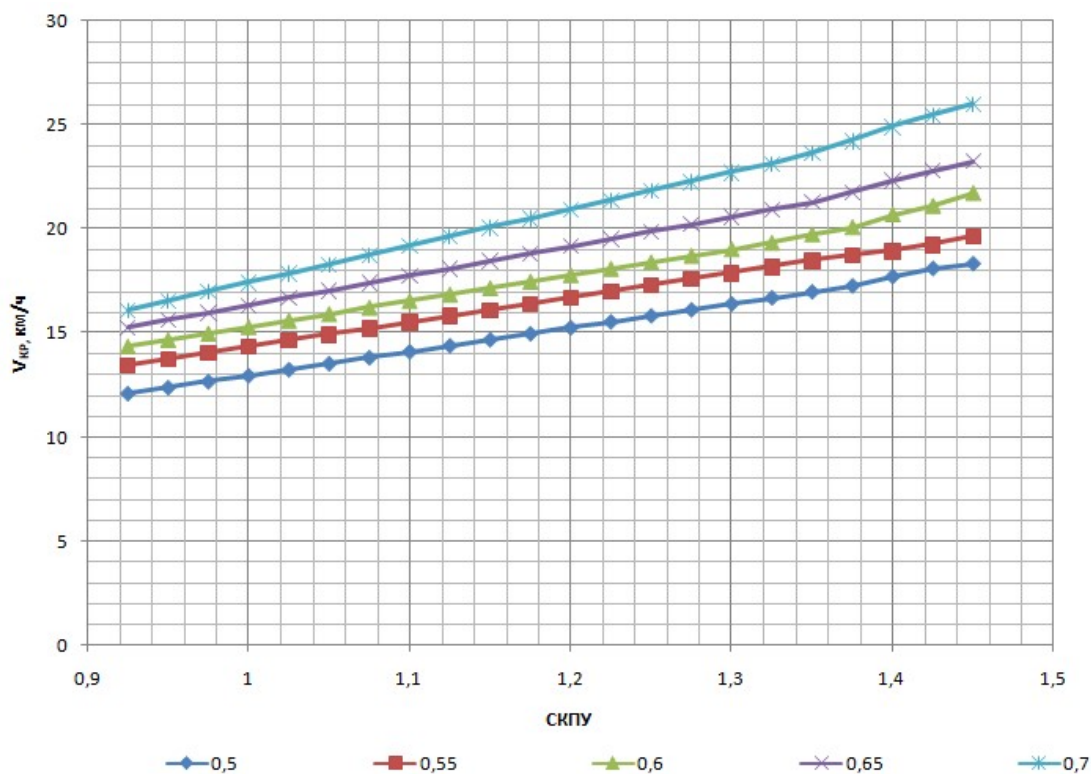


Рисунок 4.6 – Характер изменения критической скорости от СКПУ для различных значений высоты ЦТ ТС

Таблица 4.8 – Зависимость изменения критической скорости от СКПУ для различных значений колеи ТС

№ п/п	Колея ТС, м	Зависимость	Коэффициент детерминации, $R^2$
1	1,2	$V_{кр} = 6,6855K_{УСТ} + 7,4401$	0,98
2	1,3	$V_{кр} = 7,759K_{УСТ} + 6,8966$	0,98
3	1,4	$V_{кр} = 10,085K_{УСТ} + 5,3368$	0,98
4	1,5	$V_{кр} = 12,481K_{УСТ} + 3,722$	0,98
5	1,6	$V_{кр} = 14,574K_{УСТ} + 2,1635$	0,98
6	1,7	$V_{кр} = 16,904K_{УСТ} + 0,437$	0,98

Таблица 4.9 – Зависимость изменения критической скорости от СКПУ для различных значений высоты ЦТ ТС

№ п/п	Высота ЦТ ТС, м	Зависимость	Коэффициент детерминации, $R^2$
1	0,5	$V_{кр} = 11,788K_{УСТ} + 1,1239$	0,98
2	0,55	$V_{кр} = 11,645K_{УСТ} + 2,7154$	0,98
3	0,6	$V_{кр} = 13,344K_{УСТ} + 1,8718$	0,98
4	0,65	$V_{кр} = 14,693K_{УСТ} + 1,5927$	0,98
5	0,7	$V_{кр} = 18,427K_{УСТ} - 1,0766$	0,98
6	0,75	$V_{кр} = 19,86K_{УСТ} - 1,5851$	0,98

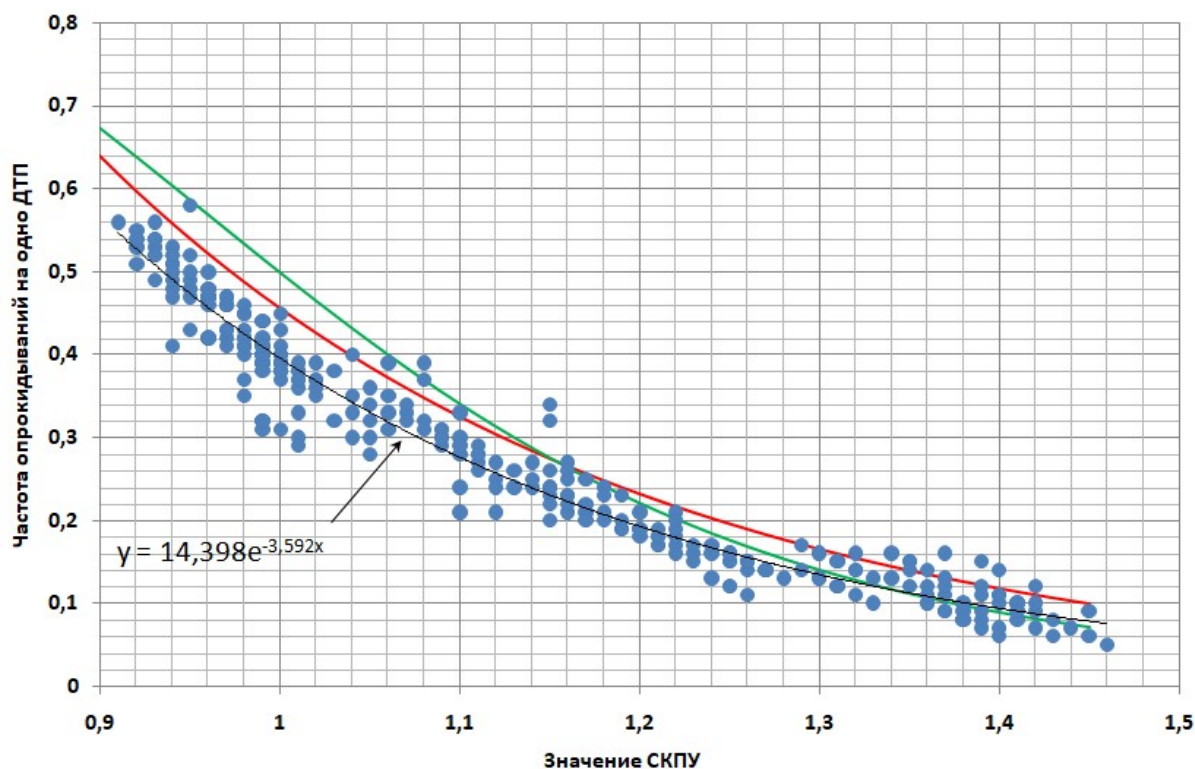


Рисунок 4.7 - Сравнение полученной выборки с оценкой риска по [67] и по [77]. На рисунке обозначено: красная линия расчет риска по [67], зеленая линия - расчет риска по [77].

В результате чего, было получено выражение зависимости изменения риска опрокидывания на одно ДТП в зависимости от СКПУ с учетом современных данных:

$$\beta_0 = 14,398e^{-3,592K_{уст}} \quad (4.19)$$

Коэффициент детерминации полученной зависимости составляет  $R^2 = 0,95$ . Сравнение полученной выборки с оценкой риска по [67] и по [77] показанной на рис.4.7, следует что кривая по полученному выражению зависимости изменения риска опрокидывания на одно ДТП в зависимости от СКПУ с учетом современных данных (4.19) проходит ниже, известных по работам [56,67,77]. Это позволяет сделать вывод, что использование оценок риска опрокидывания на одно ДТП по действующим методам [56,67,77], существенно завышает риск при значениях СКПУ от 0,9 до 1,3.

#### **4.4 Методика оптимизации области фактического расположения места контакта объектов исследования на основе коэволюционных генетических алгоритмов**

Как отмечалось ранее, на настоящий момент в практике производства ДТЭ, нет достаточно проработанных и обоснованных исследований по методам оптимизации расчетных варьируемых данных позволяющих существенно сузить площадь расчетной области (сократить длины осей эллипса области), до решения стабилизирующего результат и позволяющего дать обоснованные и категоричные выводы [4]. Имеются работы по применению методов линейной оптимизации, оптимизации методами Монте-Карло [47,65,81] и применения генетических алгоритмов, а также методов оптимизации и устранения неопределенностей ПСИ, использующим методы нечеткой логики [10,64,68,74,75,83].

Так же потенциально рациональным следует считать применение для оптимизационных задач такого рода метода роя частиц и метода эллипсоидов [18,36]. Однако, на настоящий момент нет опыта широкого их внедрения в практику производства экспертных исследований при анализе ДТП.

В общем виде, под коэволюционными алгоритмами понимается система взаимодействующих между собой генетических алгоритмов, образующих множество популяций индивидов-решений. Согласно [4] коэволюционный генетический алгоритм (КГА) является представителем мультиалгоритмического подхода в классе эволюционных алгоритмов.

Блок-схема реализации предложенного метода к задаче оптимизации области начала КСВ и начала опрокидывания показана на рисунке 4.6. Данная блок-схема показывает специализированную процедуру в рамках МОР, которая ранее не была выделена в процессинге как самостоятельное решение.

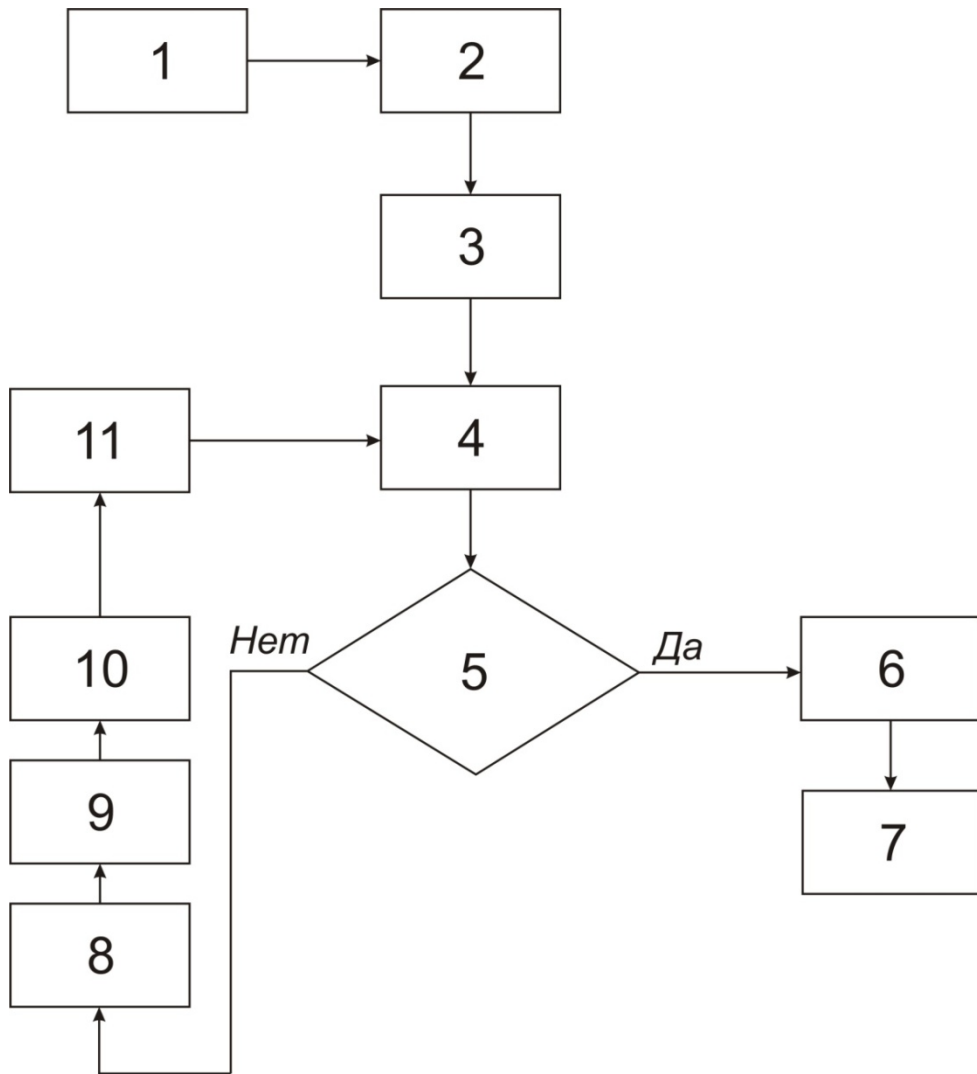


Рисунок 4.6 – Блок-схема реализации методики основанной на КГА с вертикальным наложением

Методика оптимизации области фактического расположения места контакта объектов исследования на основе коэволюционных генетических алгоритмов по рис.4.6 в общем виде включает следующие этапы:

1. Передача результатов симуляции в процессинге МОР в предварительно настроенную процедуру Global Optimization Toolbox совместно с Genetic Algorithm Toolbox в Matlab;
2. Определение границ исходной области размещения множества популяций;
3. Выбор исходного числа первых очагов (подмножеств), размещаемых внутри исходной области (исходного множества возможных решений);

4. Оценка решений в каждом очаге (подмножестве);
5. Проверка условия завершения (например: все новые особи (решения) не отличаются от предыдущего поколения, 95% из них являются лучшими);
6. Формирование конечной (оптимизированной) области решений и ее размещение на модельной сцене;
7. Переход к процедурам постпроцессинга в МОР;
8. Выполнение селекции решений в очагах;
9. Применение генетических операторов в matlab (мутации);
10. Формирование новой популяции (очага в подмножестве);
11. Наложение нового очага внутри исходного подмножества

Цикл оптимизации продолжается до достижения условия завершения в п.5, при этом данное условие может быть скорректировано в зависимости от конкретного исследования (реконструкции опрокидывания в случаях С+О и О+С). Следует заметить, что такой подход может быть также использован и для других видов ДТП, в частности при определении места столкновения ТС, при определении места наезда на пешехода [4].

#### **Выводы по Главе 4**

1. Разработана зависимость расчета работы сил на непрерывное изменение угла разворота продольной оси ТС при его перемещении на стадии отброса, которая при решении задач ДТЭ связанных с определением фактических скоростей движения ОИ до ДТП позволяет учесть работы сил более точно.

2. Разработана зависимость для расчета работы сил на опрокидывание ТС, учитывающее его вращение и непрерывное изменение угла разворота продольной оси ТС при его перемещении, для задач ДТЭ связанных с определением фактических скоростей движения ОИ до ДТП.

3. Получены зависимости, описывающие изменение угловой скорости ТС в зависимости от количества четвертей оборота ТС при перемещении с продольным вращением, а также зависимости описывающие изменение угловой скорости в зависимости от продольного ускорения (замедления) и типа покрытия (сухое, мокрое и гололед) и зависимости дальности перемещений ТС от числа четвертей оборота также для трех состояний покрытия.

4. Соответственно, также были получены зависимости изменения скорости  $V_{\text{ОПР}}$  в момент начала опрокидывания от числа четвертей оборота ( $n_{\text{ЧО}}$ ) для трех состояний покрытия проезжей части (сухое, мокрое, гололед), зависимости оценки риска травмирования для водительского сидения при опрокидывании (риск летального исхода и риск получения травм с индексом AIS3 и выше для случаев O, C+O и O+C).

5. Кроме того, получены зависимости изменения фактических величин ASI к СКПУ, фактических величин скорости в момент опрокидывания ( $V_{\text{ОПР}}$ ) к значениям ASI, а также значений AIS к величине  $\Delta V$ . Кроме того, было установлено, что критическая скорость по условию начала опрокидывания линейно зависит от СКПУ, откуда также были получены зависимости изменения критической скорости от СКПУ для различных значений высоты ЦТ ТС и колеи колес ТС.

6. Уточнена зависимость для расчета критической скорости на опрокидывание учитывающая поперечный уклон проезжей части. В результате анализа установлено, что использование оценок риска по действующим методам, завышает риск при значениях СКПУ от 0,9 до 1,3 в среднем на 5-15%.

7. Получена новая зависимость изменения риска опрокидывания на одно ДТП от величины СКПУ ТС, которая является базовым компонентом оценки риска по [56,67,77].

8. Предложена специализированная процедура в рамках модельно-ориентированной реконструкции опрокидывания ТС, которая ранее не была

выделена в процессинге как самостоятельное решение, позволяющая оптимизировать область фактического расположения места контакта объекта (-ов) исследования (для случаев С+О, О+С и О) на основе коэволюционных генетических алгоритмов.

## ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ МЕТОДИК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДТЭ

### 5.1 Результаты оценки эффективности разработанных методик в сравнении с действующими методами ДТЭ

С целью верификации предложенного метода расчета работ сил, были отобраны 10 ДТП из экспертной практики ИБДД СПбГАСУ, в которых исследование скорости движения не производилось, но имеющийся объем исходных данных был достаточен для целей данного исследования. Были отобраны случаи, где имело место только перемещение в пределах покрытия с одним состоянием без выезда на обочину и/или грунт, а также где не было опрокидывания ТС и/или его переезда через бордюрные камни. Во всех 10 примерах были определены путем графического построения схемы места ДТП. Сравнение полученных значений показано в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Сравнение методов расчета сил на перемещение и разворот ТС на стадии отброса

№	Расчет работы сил по действующей общепринятой методике				Расчет работы сил по предлагаемой методике	
	Работа сил на перемещения, Дж	Работа сил на разворот, Дж	Суммарная работа, Дж	Скорость ТС, км/ч	Суммарная работа, Дж	Скорость ТС, км/ч
1	99657,3	26683,4	126340,8	49,3	24553,4	21,7
2	63073,4	35880,6	98954,0	39,2	21523,9	18,3
3	46322,0	13974,7	60296,8	35,5	35049,7	27,1
4	415893,0	145030,0	560923,0	83,2	157013	44,0
5	46756,9	13448,3	60205,2	31,7	35295,1	24,3
6	59152,3	19553,2	78705,6	37,4	44723,6	28,2
7	186607,3	71182,8	257790,1	69,3	65364,3	34,9
8	88985,3	29668,1	118653,4	41,1	67510,8	31,0
9	107794,7	12754,1	120548,9	40,0	81020,8	32,8
10	67431,5	17855,7	85287,2	43,4	34012,9	27,4

Кроме того, были выбраны 5 натуральных краш-тестов по [9] и 7 натуральных краш-тестов по данным NHTSA (Национальное управление безопасностью движения на трассах (англ. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)) для которых известны скорости в момент контакта, а также затраты скорости на деформации и на перемещения и разворот после выхода из контакта [3,5]. Для всех выбранных тестов были произведены расчеты работы сил по действующей методике и по предлагаемой. Результаты расчета скорости показаны на рис.5.1.

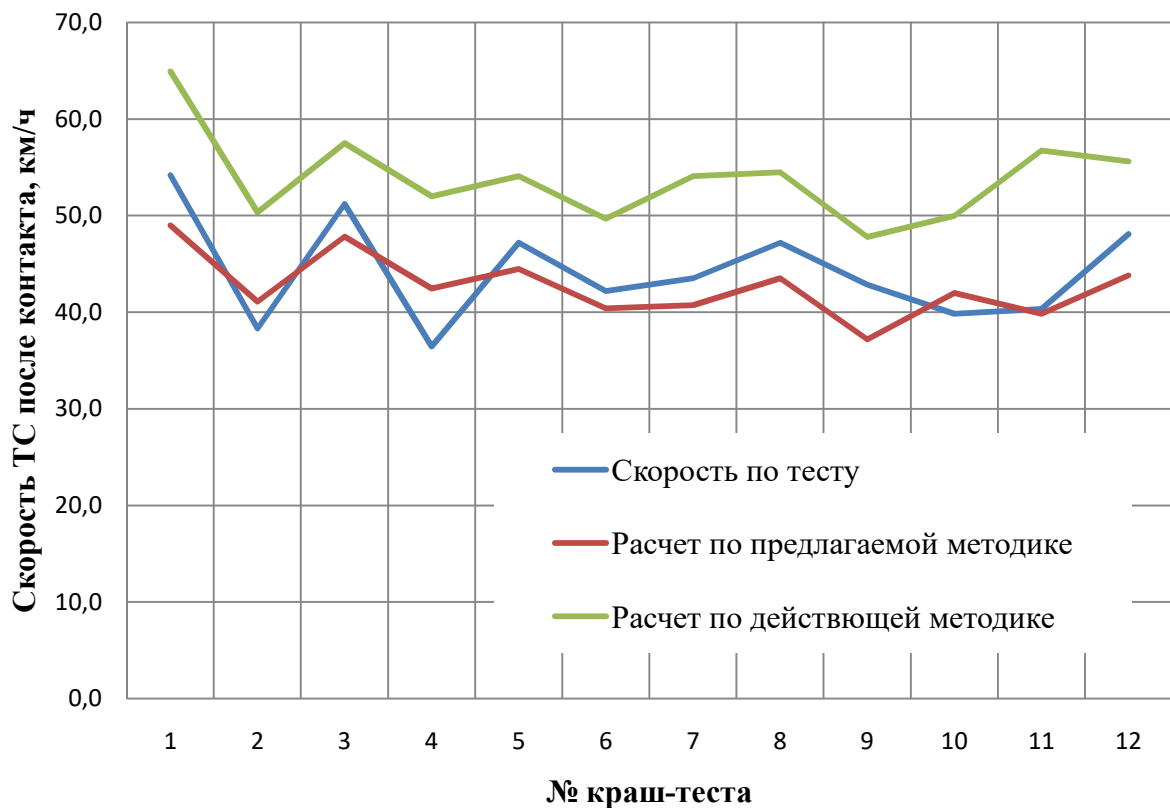


Рисунок 5.1 – Результаты сравнения методов расчета с данными краш-тестов

Из приведенных результатов сравнения значений расчетной скорости к моменту выхода из контакта (для выбранных случаев, где отсутствовало движение по участкам с покрытиями отличными от исходного, а также не было переезда бордюрного камня и/или опрокидывания), определенных по действующей и предлагаемой методике расчета наглядно следует, что используемая в общей практике производства экспертиз методика расчета работ сил на перемещение и разворот существенно завышает (в среднем на

15÷20 км/ч) фактическое значение скорости в момент выхода из контакта и как следствие оказывает влияние на дальнейший расчет скорости к моменту столкновения. Это позволяет сделать вывод что использование отдельного расчета работы сил на перемещение и разворот ТС по методике, предполагающей использование формул (4.1) и (4.2) оказывает существенное влияние на точность и достоверность экспертного исследования и выводы полученные в ходе него [3].

Вывод о завышении расчетных значений скоростей к моменту выхода из контакта, также следует из [41], исходя из представленных там результатов расчета. Показанное сравнение значений полученных по предложенной методике расчета с тестовыми значениями показывает меньшее отклонение расчетной скорости к моменту выхода из контакта от фактического значения относительно стандартной методики расчета работы сил на перемещение и разворот ТС [3,5].

Таким образом, предложенный метод расчета в сравнении со стандартным общепринятым методом показывает свою допустимую для судебной экспертизы точность и может быть применен в экспертной практике при решении задач связанных с реконструкцией механизма ДТП и в частности при расчете скорости движения ТС до ДТП.

Показанное сравнение значений полученных по предложенной методике расчета с тестовыми значениями показывает отклонение расчетной скорости к моменту выхода из контакта в пределах 5% от фактического значения относительно стандартной методики расчета работы сил на перемещение и разворот ТС.

С целью верификации предложенного метода расчета работы сил, были отобраны 10 ДТП из экспертной практики ИБДД СПбГАСУ, в которых исследование скорости движения ТС до опрокидывания не производилось, но имеющийся объем исходных данных был достаточен для целей данного исследования. Во всех 10 примерах расстояния перемещений и конечный угол разворота продольной оси ТС были определены путем графического

построения схемы места ДТП. Сравнение полученных значений показано в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты расчета по предложенной и общепринятой методикам

№	Ограничение скорости	Расчет по действующей методике					Расчет по предложенной методике	
		Работа сил на перемещение, Дж	Работа сил на разворот, Дж	Работа сил на опрокидывание, Дж	Суммарная работа, Дж	Скорость, км/ч	Суммарная работа, Дж	Скорость, км/ч
1	60	124570	42573	4271	171414	53,7	198454	57,8
2	90	347540	65785	5035	418360	87,2	487241	94,1
3	60	174452	87412	8268	270132	57,7	289452	59,8
4	90	274451	32784	4028	311263	84,1	478368	104,3
5	40	78496	12548	5331	96375	43,0	117855	47,5
6	40	66912	19846	8112	94870	36,3	147821	45,3
7	60	165248	67855	6591	239694	60,9	278454	65,7
8	90	268493	61548	4399	334440	83,4	389784	90,1
9	90	365945	94085	5426	465456	93,6	578144	104,3
10	90	512687	84965	7485	605137	95,5	678418	101,1

При этом следует ответить, что в 70% расчетных случаев, выбранных для верификации, было установлено, что до опрокидывания имело место превышение максимально допустимой скорости движения, при этом данное превышение не могло быть установлено при расчете действующим методом.

## **5.2 Результаты оценки эффективности применения КГА при определении места начала КСВ в сравнении с действующими методами ДТЭ**

Для случаев анализа эффективности предлагаемого метода были отобраны 10 ДТП (5 столкновений и 5 наездов на пешехода) в которых место контакта (наезда) было определено как область большой площади, внесение которой в масштабную схему места ДТП не позволило дать категоричный вывод о положении точки начала КСВ (в частности для

столкновений – область расположена без преобладания на какую-либо из сторон проезжей части, а для наездов на пешехода область расположена частично в зоне пешеходного перехода). КГА с вертикальным наложением был экспериментально реализован в Matlab R2020b [4].

Результаты оценки эффективности предлагаемого метода оптимизации, по площади расчетной области и по критерию категоричности вывода о местоположении точки начала КСВ показаны в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Результаты оценки эффективности методов

№	Вид ДТП	оптимизация по действующим методикам		оптимизация КГА с вертикальным наложением популяций	
		площадь расчетной области, м <sup>2</sup>	категоричность полученного решения	площадь расчетной области, м <sup>2</sup>	категоричность полученного решения
1	столкновение	3,4	нет	1,2	да
2		4,5	нет	0,8	да
3		2,5	нет	0,9	да
4		5,6	нет	1,4	да
5		3,2	нет	1,1	да
6	наезд на пешехода	8,1	нет	3,3	да
7		12,4	нет	3,5	да
8		6,7	нет	2,4	да
9		8,8	нет	2,7	да
10		14,6	нет	3,7	да

На рис.5.2 показана визуализация примера сопоставления работы КГА с вертикальным наложением популяций с результатом имитационного моделирования в программе Virtual Crash 2.2 Lite для расчетного случая показанного выше на рис.4.1 [4].

Для случаев анализа эффективности предлагаемого метода оптимизации были отобраны 15 ДТП (10 случаев С+О и 5 случаев О+С) в которых место контакта ОИ было определено как область большой площади, внесение которой в масштабную схему места ДТП не позволило дать

категоричный вывод о положении точки начала КСВ, в частности в 4 случаях С+О и 4 случаях О+С) полученная расчетная область расположена без преобладания на какую-либо из сторон проезжей части.

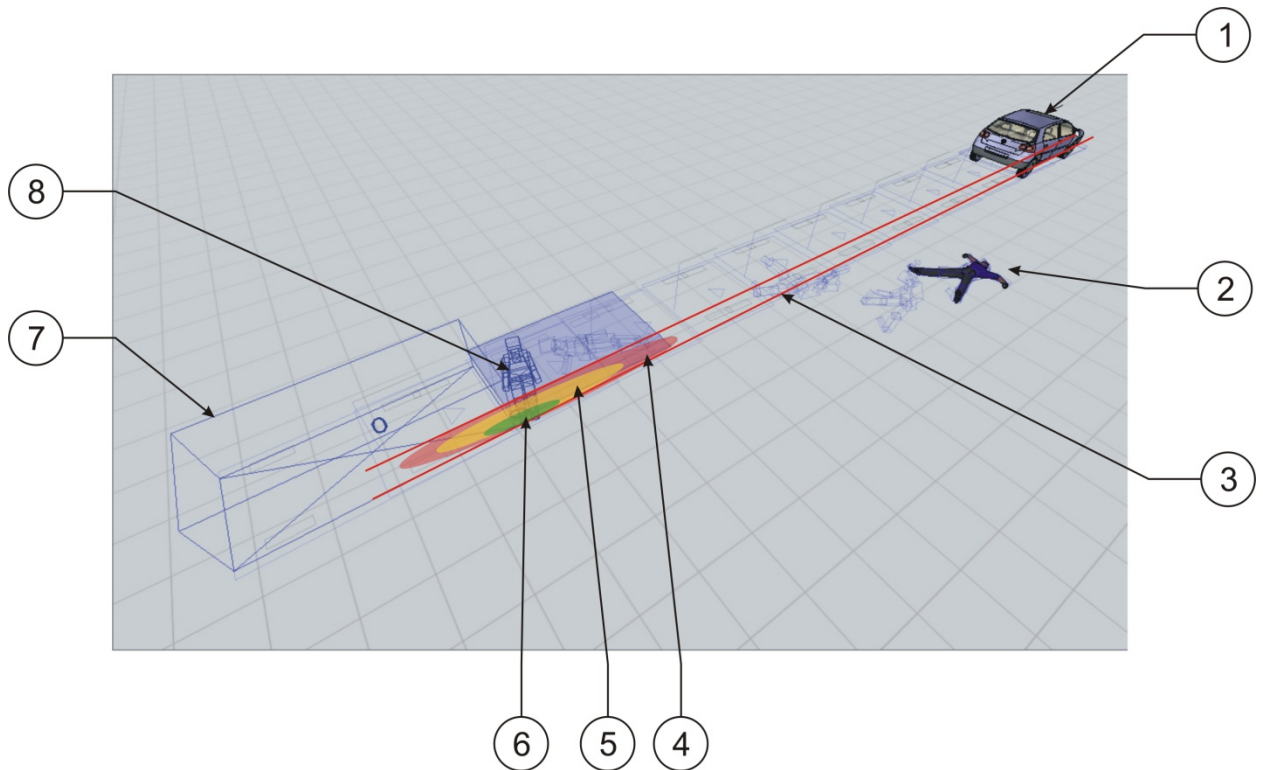


Рисунок 5.2 - Пример сопоставления работы КГА с вертикальным наложением с результатом имитационного моделирования для расчетного случая принятого в исследовании. На рисунке обозначено: 1 – конечное после ДТП положение автомобиля; 2 – конечное после ДТП положение тела пострадавшего; 3 – границы коридора перемещений локальной зоны деформаций автомобиля; 4 – расчетная область, подлежащая оптимизации; 5 – популяционная область в ходе оптимизации; 6 – получаемая оптимизированная область; 7 – габаритный объем автомобиля в момент наезда; 8 – положение пострадавшего в момент наезда в центре оптимизированной области.

Результаты оценки эффективности предлагаемого метода оптимизации, для случаев С+О и О+С, по площади расчетной области и по критерию категоричности вывода о местоположении точки начала КСВ показаны в таблице 5.3.

На рис.5.3 показана визуализация примера №СО1 (строка 1 в таблице 5.3, сводные данные по нему показаны в таблице 5.4) сопоставления работы КГА с вертикальным наложением популяций с результатом имитационного моделирования в программе Virtual Crash 2.2 Lite.

Таблица 5.3 - Результаты оценки эффективности методов оптимизации

№	Случай (вид ДТП)	Результаты оптимизация по действующим методикам		Результаты оптимизация КГА с вертикальным наложением популяций	
		площадь расчетной области, м <sup>2</sup>	категоричность полученного решения	площадь расчетной области, м <sup>2</sup>	категоричность полученного решения
1	С+О	7,6	нет	0,8	да
2		8,2	нет	1,1	да
3		10,4	нет	2,2	да
4		9,1	нет	1,4	да
5		5,6	нет	0,8	да
6		4,6	нет	0,8	да
7		12,2	нет	1,7	да
8		17,4	нет	2,7	да
9		9,7	нет	1,3	да
10		5,9	нет	0,9	да
11	О+С	9,6	нет	2,7	да
12		12,4	нет	4,1	да
13		16,6	нет	3,4	да
14		24,3	нет	4,2	да
14		16,5	нет	3,4	да

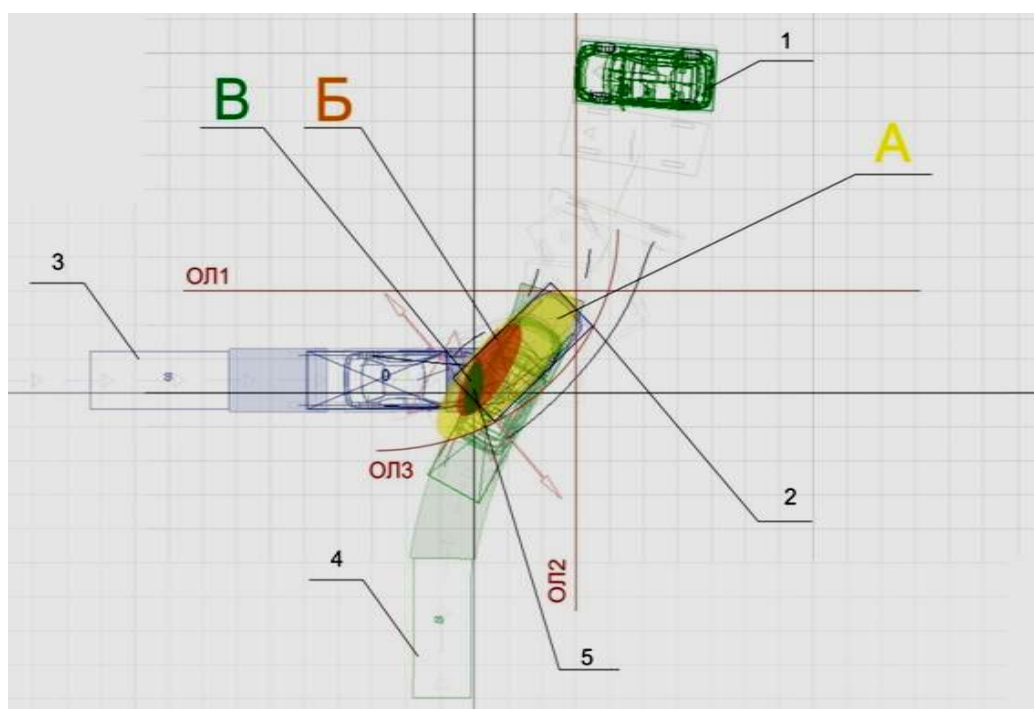


Рисунок 5.3 - Пример сопоставления работы КГА с вертикальным наложением с результатом имитационного моделирования для расчетного случая №СО1 принятого в исследовании. На рисунке обозначено: 1 – конечное после ДТП положение ТС1 (лежит на крыше); 2 – конечное после ДТП положение ТС2; 3 – реконструкция перемещений ТС1 до ДТП в VirtualCrash; 4 – реконструкция перемещений ТС2 до ДТП в VirtualCrash; А – исходная область полученная методом отсечений; Б – популяционная область в ходе оптимизации; В – получаемая оптимизированная область; ОЛ1-ОЛ3 – линии ограничений графоаналитическом построении при примени метода отсечений.

Таблица 5.4 – Сводные данные по случаю СО1

Цвет ТС на рис.5.3	Марка и модель	Год выпуска	V <sub>ф</sub> , км/ч	φ
Зеленый	Фольксваген Тигуан	2016	74,5	0,7
Синий	Мазда 6	2010	68,3	
Площадь исходной области по методу отсечения (линии ОЛ1, ОЛ2 и ОЛ3 на рис.5.3), м <sup>2</sup> .				7,6
Время оптимизации путем итерационного подбора (алгоритм Монте-Карло в ПО PC-Crash 11), мин.				32
Площадь оптимизированной с использованием КГА области, м <sup>2</sup>				0,8
Число поколений				3
Время оптимизации, мин.				6,5

В таблицах 5.5-5.18 показаны сводные данные по временным затратам и на рис.5.4-5.17 примеры симуляций в ПО Virtual Crash 2.2 Lite по всем другим (следующим за СО1) рассмотренным выборке фактическим ДТП по таблице 5.3 (для соответствия которой использована индексация СО1÷СО10 и ОС11÷ОС15).

Таблица 5.5 – Сводные данные по случаю СО2

Цвет ТС на рис.5.4	Марка и модель ТС	Год выпуска ТС	V <sub>ф</sub> , км/ч	φ	Время, затраченное на процедуру оптимизации, мин	
					алгоритм Монте-Карло	КГА
Зеленый	Хундай Соната	2014	42,4	0,7	44	8
Синий	Лада Веста	2018	85,1			

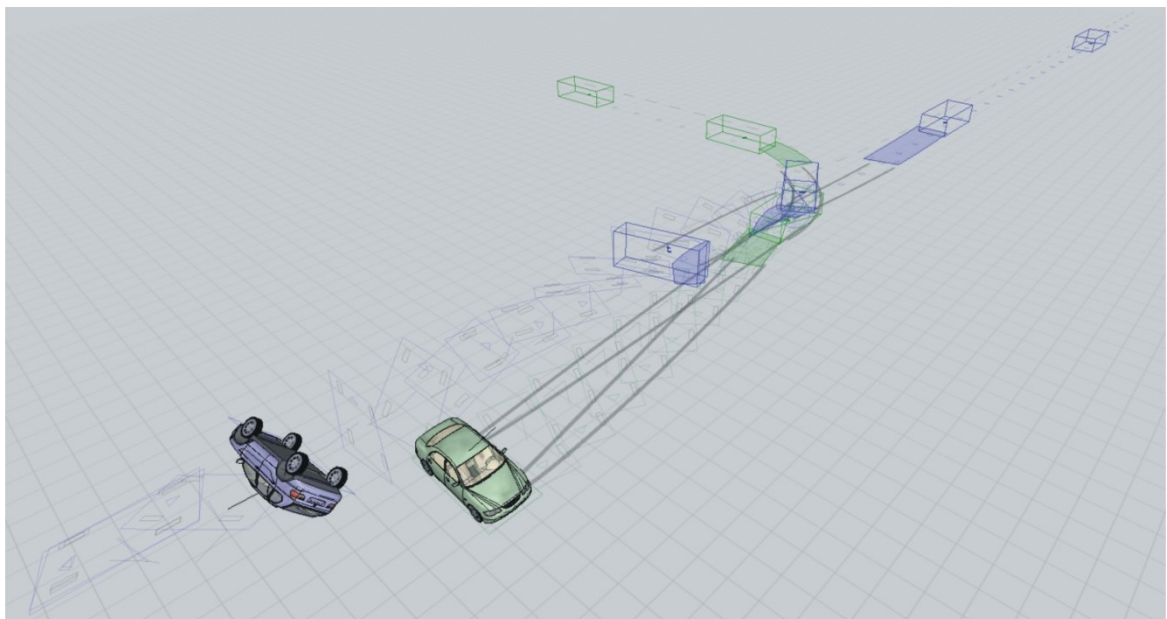


Рисунок 5.4 - Пример симуляции случая СО2

Таблица 5.6 – Сводные данные по случаю CO3

Цвет ТС на рис.5.5	Марка и модель	Год выпуска	$V_{\Phi}$ , км/ч	$\phi$	Время, затраченное на процедуру оптимизации, мин	
					алгоритм Монте-Карло	КГА
Зеленый	Ситроен С3	2006	35,6	0,7	62	10
Синий	Хонда CRV	1999	72,7			

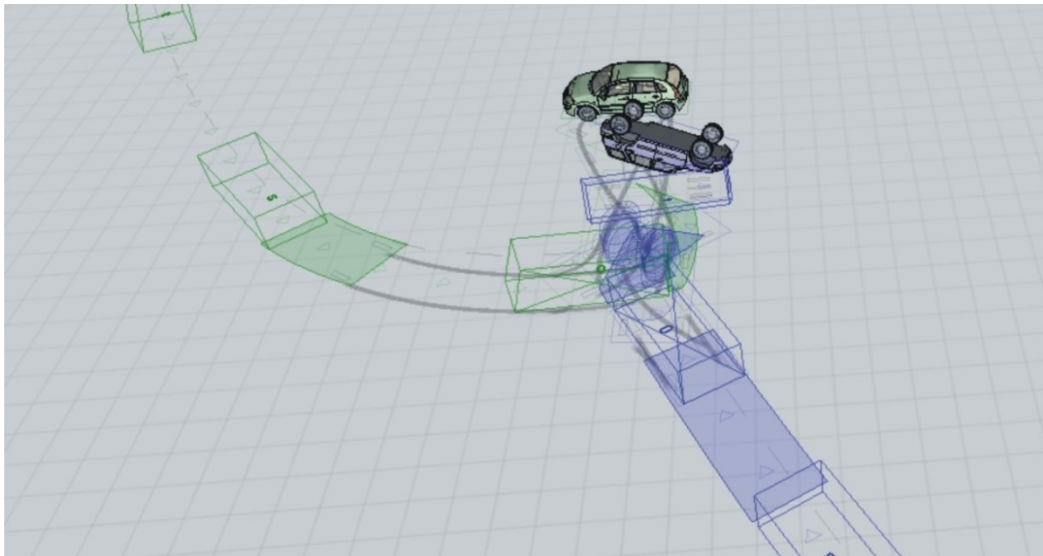


Рисунок 5.5 - Пример симуляции случая CO3

Таблица 5.7 – Сводные данные по случаю CO4

Цвет ТС на рис.5.6	Марка и модель	Год выпуска	$V_{\Phi}$ , км/ч	$\phi$	Время, затраченное на процедуру оптимизации, мин	
					алгоритм Монте- Карло	КГА
Зеленый	Опель Астра	2011	42,1	0,5	48	12
Синий	Ниссан Альмера	2008	67,6			

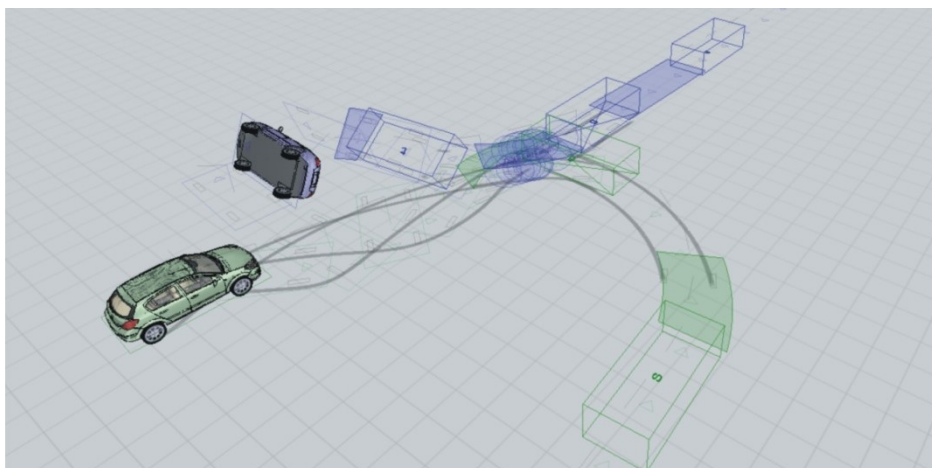


Рисунок 5.6 - Пример симуляции случая CO4

Таблица 5.8 – Сводные данные по случаю CO5

Цвет ТС на рис.5.7	Марка и модель	Год выпуска	$V_{\Phi}$ , км/ч	$\phi$	Время, затраченное на процедуру оптимизации, мин	
					алгоритм Монте- Карло	КГА
Зеленый	Пежо 307	2007	47,4	0,7	37	7
Синий	Рено Сценик	2009	76,8			

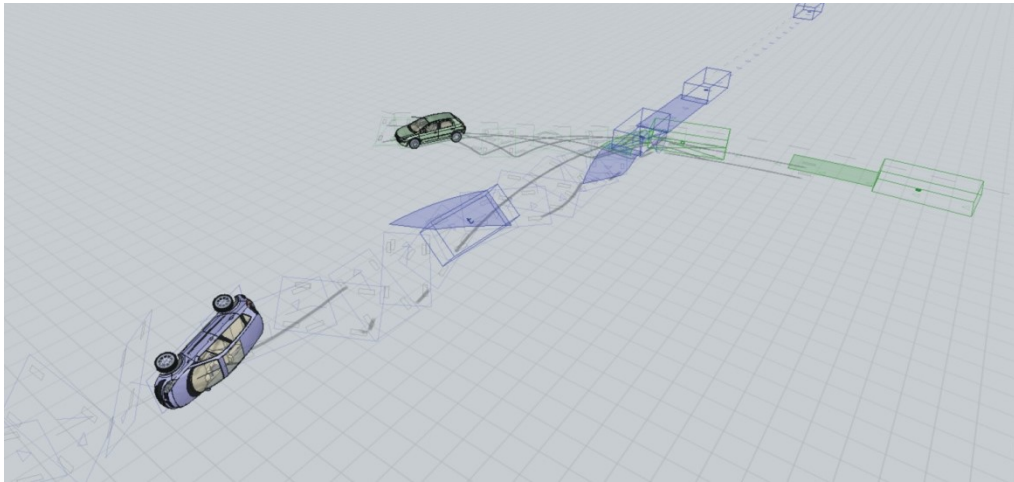


Рисунок 5.7 - Пример симуляции случая CO5

Таблица 5.9 – Сводные данные по случаю CO6

Цвет ТС на рис.5.8	Марка и модель	Год выпуска	$V_{\Phi}$ , км/ч	$\phi$	Время, затраченное на процедуру оптимизации, мин	
					алгоритм Монте-Карло	КГА
Зеленый	Субару Форестер	2002	92,4	0,5	28	4
Синий	Форд Мондео	2014	84,2			

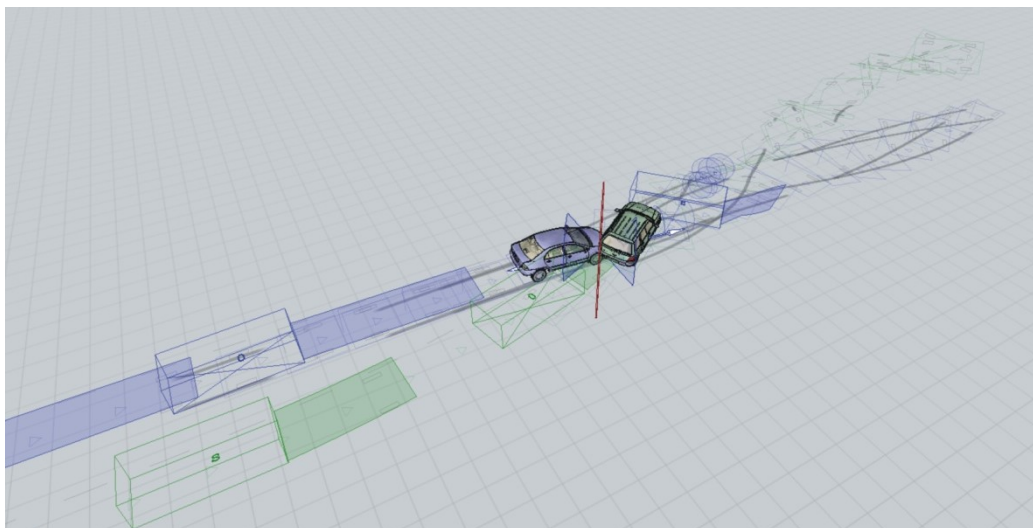


Рисунок 5.8 - Пример симуляции случая CO6

Таблица 5.10 – Сводные данные по случаю СО7

Цвет ТС на рис.5.9	Марка и модель	Год выпуска	V <sub>ф</sub> , км/ч	φ	Время, затраченное на процедуру оптимизации, мин	
					алгоритм Монте-Карло	КГА
Зеленый	Форд Фокус	2015	91,4	0,5	52	12
Синий	Рено Логан	2012	74,5			

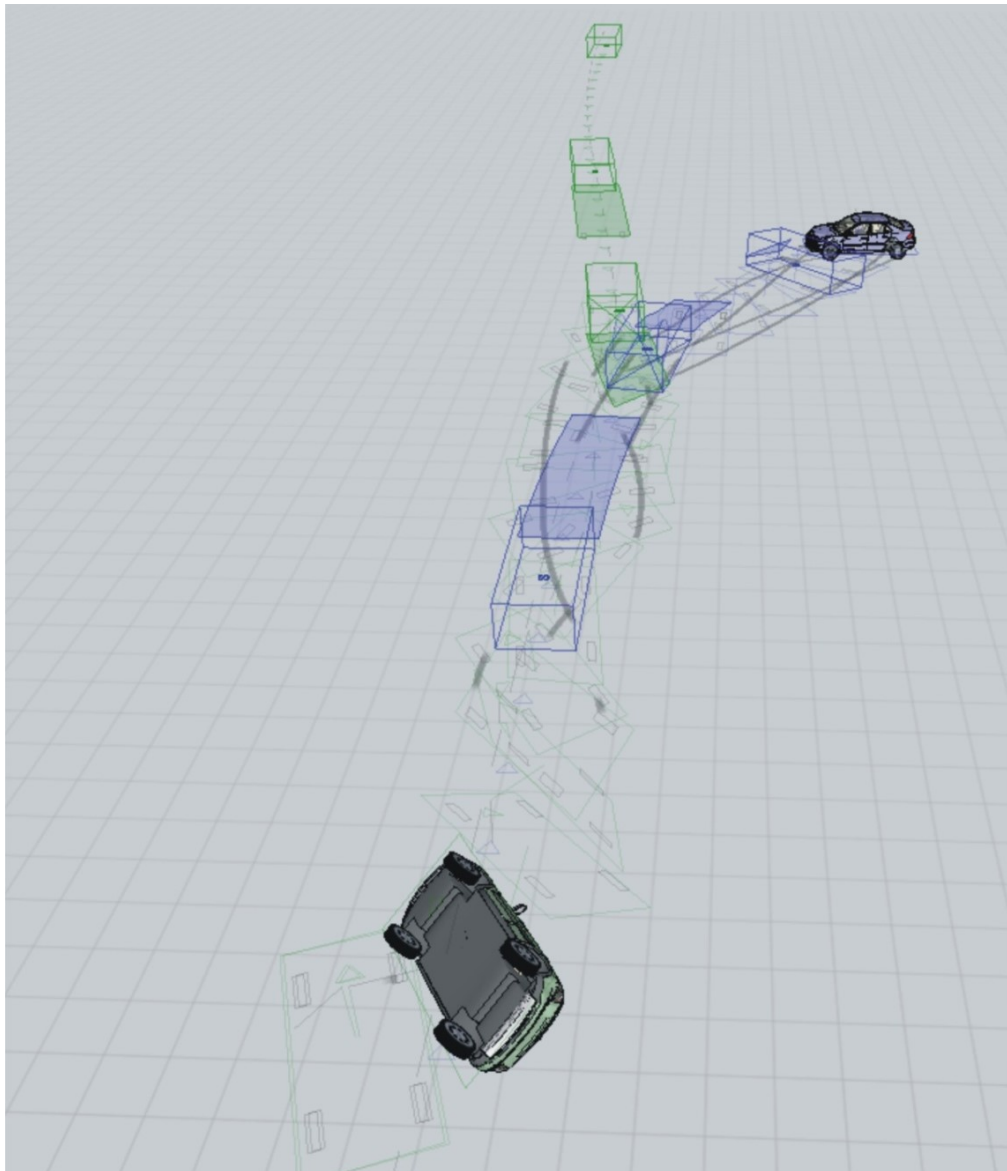


Рисунок 5.9 - Пример симуляции случая СО7

Из представленных таблиц 5.5-5.18 следует что применение КГА существенно сокращает затраты времени эксперта как на конкретную процедуру выполнения симуляции в рамках МОР, так и в целом на производство ДТЭ.

Таблица 5.11 – Сводные данные по случаю CO8

Цвет ТС на рис.5.10	Марка и модель	Год выпуска	$V_{\Phi}$ , км/ч	$\phi$	Время, затраченное на процедуру оптимизации, мин	
					алгоритм Монте- Карло	КГА
Зеленый	Митсубиси Паджеро	2013	87,4	0,5	71	15
Синий	Фольксваген Гольф	2007	94,2			

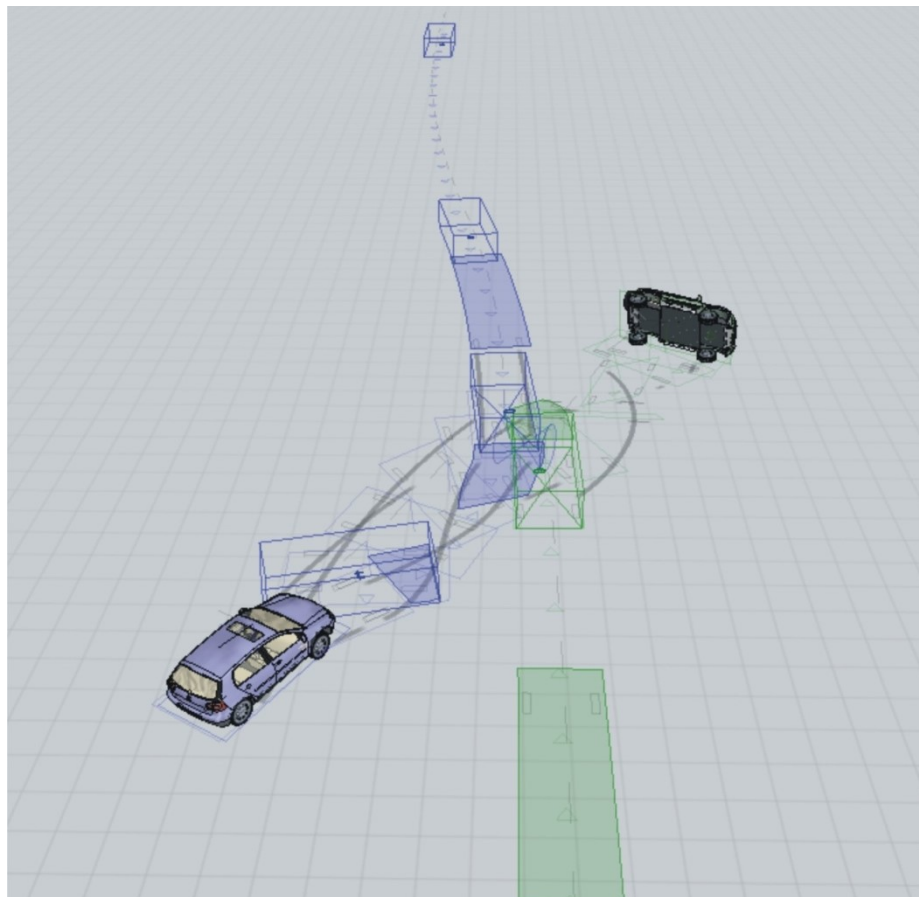


Рисунок 5.10 - Пример симуляции случая CO8

Таблица 5.12 – Сводные данные по случаю CO9

Цвет ТС на рис.5.11	Марка и модель	Год выпуска	$V_{\Phi}$ , км/ч	$\phi$	Время, затраченное на процедуру оптимизации, мин	
					алгоритм Монте- Карло	КГА
Зеленый	Сааб 9-3	2008	97,8	0,7	46	9
Синий	Ниссан Максима	2004	32,2			

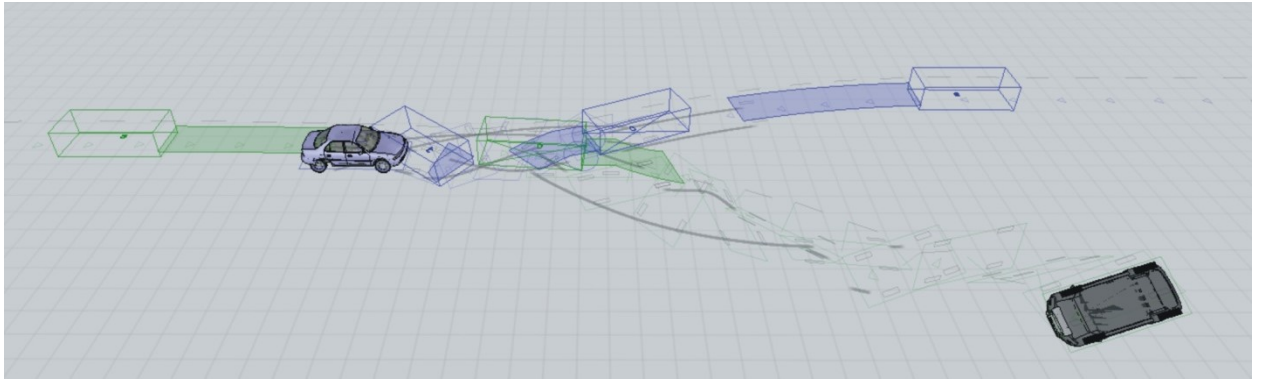


Рисунок 5.11 - Пример симуляции случая CO9

Таблица 5.13 – Сводные данные по случаю CO10

Цвет ТС на рис.5.12	Марка и модель	Год выпуска	V <sub>ф</sub> , км/ч	φ	Время, затраченное на процедуру оптимизации, мин	
					алгоритм Монте- Карло	КГА
Зеленый	ВАЗ-21074	2001	73,2	0,7	35	7
Синий	ЛендРовер Фриландер	2003	48,5			

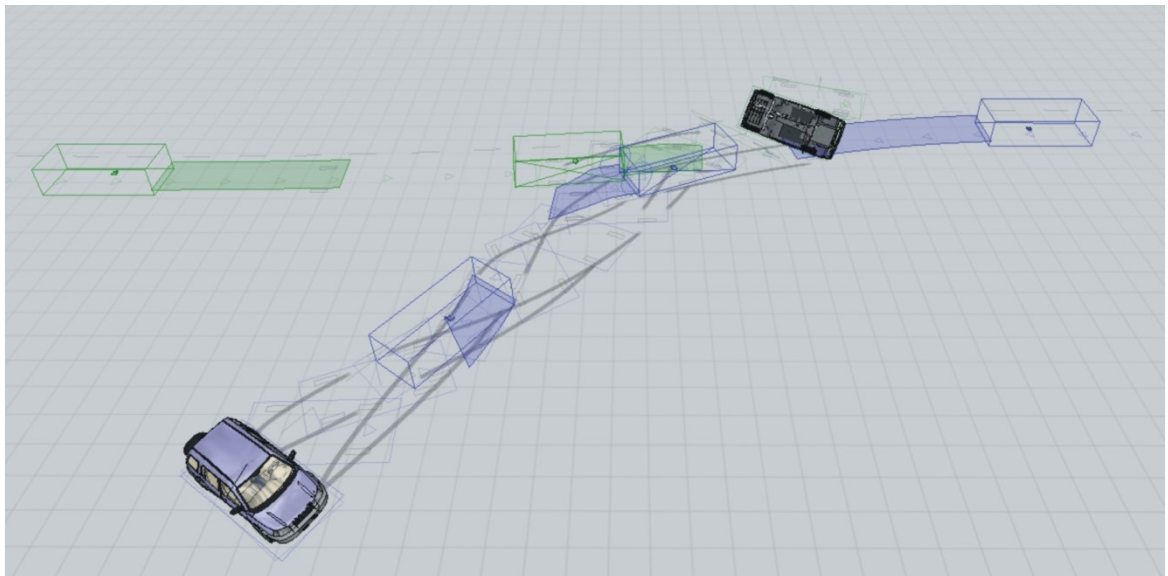


Рисунок 5.12 - Пример симуляции случая CO10

Таблица 5.14 – Сводные данные по случаю OC11

Цвет ТС на рис.5.13	Марка и модель	Год выпуска	V <sub>ф</sub> , км/ч	φ	Время, затраченное на процедуру оптимизации, мин	
					алгоритм Монте- Карло	КГА
Зеленый	Рено Меган	2008	98,8	0,5	43	11
Синий	Хундай Акцент	2002	82,7			

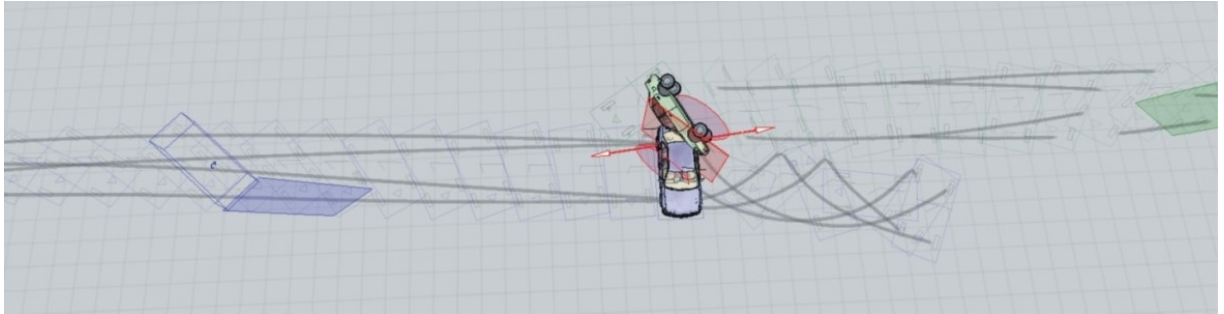


Рисунок 5.13 - Пример симуляции случая ОС11

Таблица 5.15 – Сводные данные по случаю ОС12

Цвет ТС на рис.5.14	Марка и модель	Год выпуска	$V_{\Phi}$ , км/ч	$\varphi$	Время, затраченное на процедуру оптимизации, мин	
					алгоритм Монте-Карло	КГА
Зеленый	Ауди А3	2017	81,2	0,5	56	16
Синий	БМВ Х5	1998	96,7			

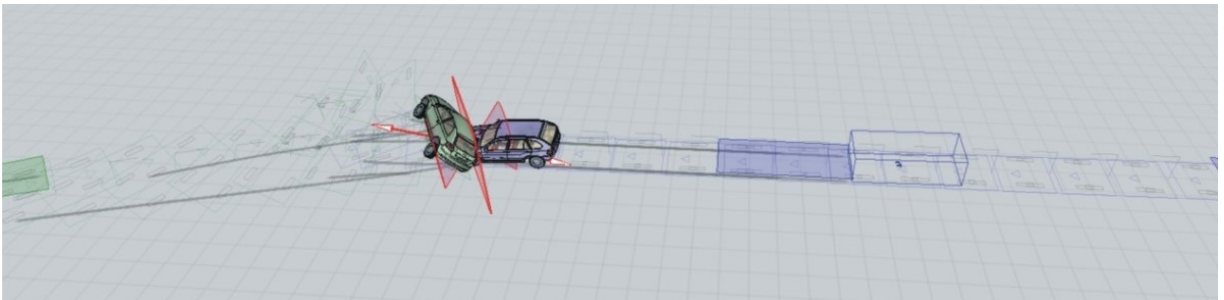


Рисунок 5.14 - Пример симуляции случая ОС12

Таблица 5.16 – Сводные данные по случаю ОС13

Цвет ТС на рис.5.15	Марка и модель	Год выпуска	$V_{\Phi}$ , км/ч	$\varphi$	Время, затраченное на процедуру оптимизации, мин	
					алгоритм Монте-Карло	КГА
Зеленый	Лада Приора	2018	31,2	0,5	64	18
Синий	Ауди Q5	2013	93,2			

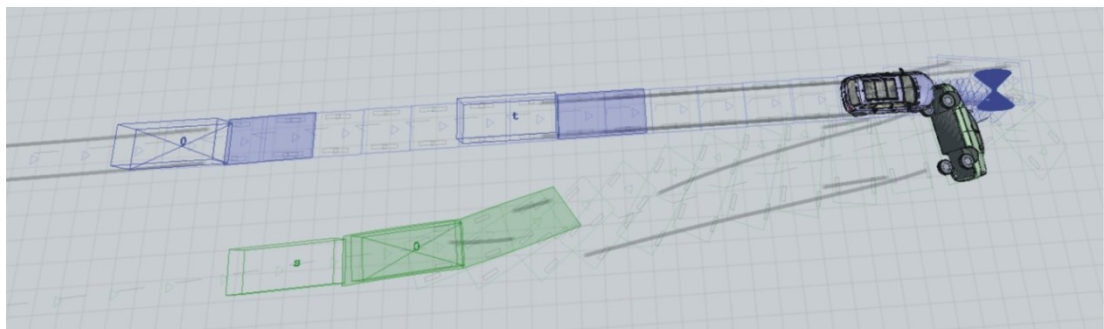


Рисунок 5.15 - Пример симуляции случая ОС13

Таблица 5.17 – Сводные данные по случаю ОС14

Цвет ТС на рис.5.16	Марка и модель	Год выпуска	V <sub>ф</sub> , км/ч	φ	Время, затраченное на процедуру оптимизации, мин	
					алгоритм Монте- Карло	КГА
Зеленый	Хонда Цивик	2004	51,2	0,3	78	22
Синий	Мазда 3	2010	75,9			

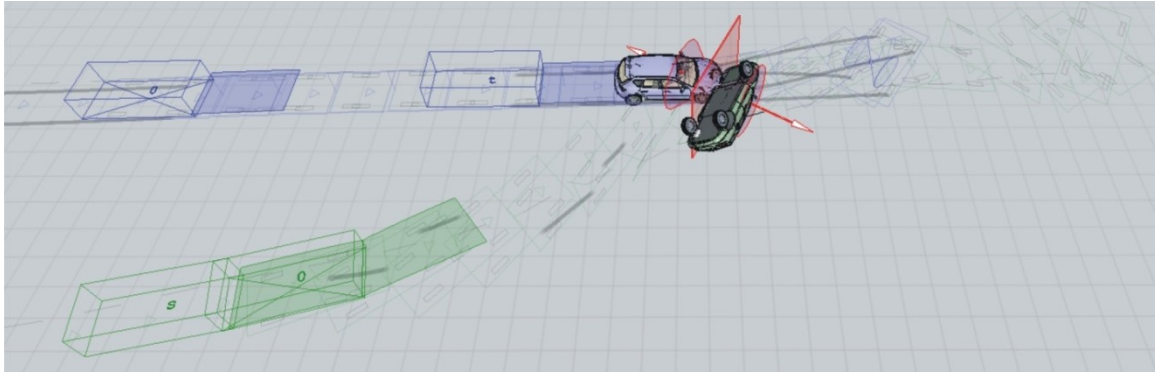


Рисунок 5.16 - Пример симуляции случая ОС14

Таблица 5.18 – Сводные данные по случаю ОС15

Цвет ТС на рис.5.17	Марка и модель	Год выпуска	V <sub>ф</sub> , км/ч	φ	Время, затраченное на процедуру оптимизации, мин	
					алгоритм Монте- Карло	КГА
Зеленый	Киа К5	2019	82,7	0,5	63	19
Синий	Вольво S60	2009	71,4			

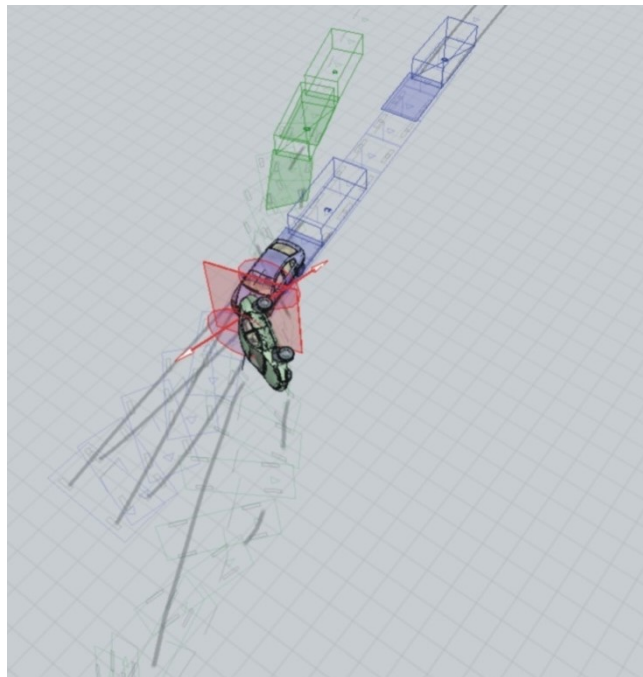


Рисунок 5.17 - Пример симуляции случая ОС15

Обобщая представленные выше результаты, применение предлагаемого метода оптимизации, с применением КГА с вертикальным наложением популяций, показало свою эффективность по времени выполнения оптимизации (в среднем в 2,6 раза) и по точности получения конечной (оптимизированной) области фактического КСВ (в среднем в 2,4 раза) о случаях С+О и О+С в сравнении с оптимизацией методами, положенными в базовые алгоритмы PC-Crash, что оказывает существенное влияние на категоричность полученного решения (вывода эксперта при производстве ДТЭ).

### **5.3 Результаты оценки эффективности применения РОП при решении задач типа А1, А2, Б1, Б2 и В**

Было отобрано по 10 ДТЭ на каждый из видов задач (А1, А2, Б1, Б2 и В). Было выполнено сравнение между следующими методами: применение МКЭ (модели THUMS 4 AM50 в программе LS-Dyna), модель Madymo с решением в PC-Crash 11 и предложенные зависимости по расчету процедуры МОР с РОП показанной ранее на рис.3.6.

Сравнение производилось по следующим показателям: возможность применения (оценивалась по достаточности ПСИ), точность результата (проверялись на сходимость с валидационными решениями, при их наличии и определялась как категоричность итогового вывода эксперта по задаче), время выполнения процедуры МОР (определялось как время на выполнение процедуры МОР, включая препроцессинг, процессинг, постпроцессинг, с учетом дополнительного времени на корректировки), время производства ДТЭ (общее время производства ДТЭ момента получения к исполнению руководителем экспертной организации до момента передачи в отправку в орган назначивший ДТЭ). Результаты проведенного сравнения показаны в таблицах 5.19÷5.21.

Таблица 5.19 - Результаты оценки эффективности рассмотренных методов для решения задач вида А1 и А2

Сравниваемые методы	возможность применения	точность результата	время выполнения процедуры МОР	время производства ДТЭ
Решение МКЭ	20%	100%	2 рабочих дня	14 рабочих дней
Использование моделей MADYMO	30%	95%	1 рабочий день	7 рабочих дней
Предложенные зависимости оценки риска	100%	95%	4 часа	5 рабочих дней

Таблица 5.20 - Результаты оценки эффективности рассмотренных методов для решения задач вида Б1 и Б2

Сравниваемые методы	возможность применения	точность результата	время выполнения процедуры МОР	время производства ДТЭ
Решение МКЭ	15%	100%	3 рабочих дня	17 рабочих дней
Использование моделей MADYMO	25%	90%	2 рабочих дня	9 рабочих дней
Предложенные зависимости оценки риска	100%	95%	7 часов	7 рабочих дней

Таблица 5.21 - Результаты оценки эффективности рассмотренных методов для решения задачи вида В

Сравниваемые методы	возможность применения	точность результата	время выполнения процедуры МОР	время производства ДТЭ
Решение МКЭ	10%	95%	5 рабочих дней	18 рабочих дней
Использование моделей MADYMO	20%	90%	3 рабочих дня	10 рабочих дней
Предложенные зависимости оценки риска	100%	90%	8 часов	8 рабочих дней

Полученные результаты сравнения методов показывают что при сопоставимой точности результата (9 из 10 ДТЭ где индексированная задача – А1, А2, Б1, Б2 и В была решена категорично) время производства ДТЭ по

предложенным зависимостям оценки риска (т.е. при предложенном гибридном решении РОП и МОР) в 1,3-2,2 меньше временных затрат на производство ДТЭ более сложными методами. При этом для оценки риска по предложенным зависимостям не требуется специальная подготовка эксперта.

### **Выводы по Главе 5**

1. Доказано, что используемая в общей практике производства экспертиз методика расчета работ сил на перемещение и разворот существенно завышает (в среднем на  $15 \div 20$  км/ч) фактическое значение скорости в момент выхода из контакта и как следствие оказывает влияние на дальнейший расчет скорости к моменту столкновения.

2. Показанное сравнение значений полученных по предложенной методике расчета (на перемещение и разворот и на опрокидывание) с тестовыми значениями показывает меньшее отклонение расчетной скорости к моменту выхода из контакта от фактического значения относительно стандартной методики расчета работы сил на перемещение и разворот ТС. Представленное сравнение значений полученных по предложенной методике расчета с тестовыми значениями показывает отклонение расчетной скорости к моменту выхода из контакта в пределах 5% от фактического значения относительно стандартной методики расчета работы сил на перемещение и разворот ТС. Таким образом, предложенный метод расчета в сравнении со стандартным общепринятым методом показывает свою допустимую для судебной экспертизы точность и может быть применен в экспертной практике при решении задач связанных с реконструкцией механизма ДТП и в частности при расчете скорости движения ТС до ДТП.

3. При этом в 70% расчетных случаев по фактическим ДТП, выбранных для исследования, было установлено, что до опрокидывания имело место превышение максимально допустимой скорости движения, при этом данное превышение не могло быть установлено при расчете действующим методом,

соответственно при производстве ДТЭ не была дана оценка причинно-следственной связи между фактом ДТП и превышением скорости (равно как и с получением ЛТП водителями и/или пассажирами ОИ).

4. Применение предлагаемого метода оптимизации расчетной области фактического начала КСВ, с применением КГА с вертикальным наложением популяций, показало свою эффективность по времени выполнения оптимизации (в среднем в 2,6 раза) и по точности получения конечной (оптимизированной) области фактического КСВ (в среднем в 2,4 раза) о случая С+О и О+С в сравнении с оптимизацией методами, положенными в базовые алгоритмы PC-Crash, что оказывает существенное влияние на категоричность полученного решения (вывода эксперта при производстве ДТЭ)

5. При решении задач вида А1, А2, Б1, Б2 и В предложенный метод использующий гибридное РОП и МОП решение показывает свою эффективность при сопоставимой точности результата за счет сокращения времени производства ДТЭ в 1,3-2,2 раза по предложенным зависимостям оценки риска в сравнении с применением МКЭ или применение многотельной модели Madymo для тех же задач.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научно-практические результаты диссертационного исследования:

1. Впервые определены закономерности изменения категоричности выводов ДТЭ от объема (качества) исходной ПСИ и методов решения, а также изменения вариативности выводов ДТЭ относительно различных методов оптимизации применяемых численных методов расчета, что на практике позволяет более точно выбирать стратегию проведения ДТЭ;

2. Составлена математическая модель перемещений ТС при опрокидывании учитывая потери энергии при опрокидывании, которая внедрена в новую комплексную процедуру модельно-ориентированной реконструкции механизма опрокидывания ТС, представленную как гибридное (совмещенное) решение с риск-ориентированным подходом, позволяющее производить оценку травмирования водителя и пассажиров при опрокидывании ТС;

3. Разработана методика учета работ сил на совместное перемещение ТС в контакте и непрерывное изменение угла разворота ТС при его перемещении на стадии отброса, использование которой в практике производства ДТЭ позволят увеличить точность расчета скорости движения ТС до ДТП (включая расчет скорости на всех стадиях механизма ДТП) на 15-20% по сравнению с действующей методикой;

4. Разработана методика расчета работы сил совершаемой при опрокидывании ТС, в зависимости от фактического механизма опрокидывания, которая позволяет повысить точность пространственно-временного анализа перемещений ТС при опрокидывании и получать более точные значения скорости перемещения ТС перед началом опрокидывания (до 30% по сравнению с действующей методикой);

5. Разработана и апробирована методика оптимизации расчетного местоположения точки контакта объектов исследования в ДТЭ на основе

кооперативных генетических алгоритмов, использование которой в экспертной практике позволяет увеличить категоричность выводов ДТЭ при определении места столкновения на 80% (за счет существенного снижения площади области местоположения фактической точки начала КСВ).

6. Применение предлагаемого метода оптимизации расчетной области фактического начала КСВ, с применением КГА с вертикальным наложением популяций, показало свою эффективность по времени выполнения оптимизации (в среднем в 2,6 раза) и по точности получения конечной (оптимизированной) области фактического КСВ (в среднем в 2,4 раза) о случая С+О и О+С в сравнении с оптимизацией методами, положенными в базовые алгоритмы PC-Crash, что оказывает существенное влияние на категоричность полученного решения (вывода эксперта при производстве ДТЭ)

7. При решении экспертных задач вида А1, А2, Б1, Б2 и В (по Главе 1) предложенный метод, основанный на гибридном решении МОР с риск-ориентированным подходом для оценки травмирования водителя и пассажиров при опрокидывании ТС показывает свою эффективность при сопоставимой точности результата за счет сокращения времени производства ДТЭ в 1,3-2,2 раза по предложенным зависимостям оценки риска в сравнении с применением МКЭ или применение многотельной модели Madymo для тех же задач

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

а/м – автомобиль

БД – база данных

БУРС – бортовое устройство регистрации событий

ВАДС – система Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда

ДТП – дорожно-транспортное происшествие

ДТС – дорожно-транспортная ситуация

КСВ – контактно-следовое взаимодействие

КПОИ – конечное положение объекта исследования после ДТП

КПТ – комплексный показатель травмирования

ЛД – локализации деформаций

ЛТП – локализации телесных повреждений

МКЭ – метод конечных элементов

МОР – модельно-ориентированная реконструкция

О – случай ДТП с опрокидыванием

ОИ – объект (-ы) исследования

О+С – случай ДТП, в котором опрокидывание предшествовало столкновению

ПВХ – пространственно-временные характеристики

ПДД – Правила дорожного движения

ПО – программное обеспечение

ПСИ – пространственно-следовая информация

РОП – риск-ориентированный подход

СЗФО – Северо-Западный Федеральный Округ

СКПУ – статический коэффициент поперечной устойчивости

СМЭ – судебно-медицинская экспертиза

С+О – случай ДТП, в котором столкновение предшествовало опрокидыванию

ТВ – техническая возможность

ТП – телесные повреждения

ТС – транспортное средство

ФКВ – факт контактно-следового взаимодействия

ЦТ – центр тяжести

AIS – Abbreviated Injury Scale

ASI – Acceleration Severity Index

BIM – Building Information Model

CDS – Crashworthiness Data System

EDR – Event Data Recorder

HIC – Head injury criterion

ISS – Injury Severity Score

FARS – Fatality Analysis Reporting System

NCAP – New Car Assessment Program

NIC – Neck Injury Criteria

Nij – Normalized Neck Injury Criterion

NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Актуальные проблемы исследования обстоятельств дорожно-транспортных происшествий: Материалы первой международной конференции. Северо-Западный региональный центр судебной экспертизы. – СПб., 2001. – 399 с.
2. Боровский Б.Е. Безопасность движения автомобильного транспорта. – Л.: Лениздат, 1984. -304с., ил.
3. Васильев Я. В., Воронин В. В. Методика расчета работы сил на непрерывное изменение угла разворота продольной оси ТС при производстве дорожно-транспортной экспертизы // Вестник гражданских инженеров. 2021. №3 (86). С. 134–138. (DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-3-134-138)
4. Васильев Я. В., Воронин В. В. Применение коэволюционных генетических алгоритмов в задачах установления места контакта объектов исследования в экспертизе ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2021. №4 (87). С. 113-121. (DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-113-121)
5. Васильев Я. В., Воронин В. В. Методика расчета работы сил на опрокидывание ТС при реконструкции ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2021. №6 (89). С.158-164. (DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-6-158-164)
6. Васильев Я.В., Воронин В.В., Евтюков С.А. Теоретические и практические основы формирования критериев оценки уровней летнего содержания дорог при производстве дорожно-транспортной экспертизы. – СПб.: Издательский дом Петрополис, 2019.- 176 стр.
7. Васильев Я.В., Воронин В.В. Концепция риск-ориентированного подхода к производству дорожно-транспортной экспертизы в границах имитационной системы зимнего содержания дорог. – СПб: ИД «Петрополис», 2019.-124 с.
8. Воронин В. В. Методика расчета базового компонента риска травмирования при опрокидывании автомобиля в частных задачах дорожно-

транспортной экспертизы // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 1 (90). С. 130–135. (DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-1-130-135)

9. Евтюков С.С. Методология оценки и повышения эффективности дорожно-транспортных экспертиз [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.10 / С.С. Евтюков. – СПб, 2020. – 355 с.

10. Евтюков С.А., Васильев Я.В., Rajczyk Pavel Концепция количественной оценки неопределенности знаний в задачах реконструкции ДТП / Сборник докладов 12-ой международной научно-практической конференция «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». СПб 28-30 сентября 2016 г.

11. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Реконструкция и экспертиза ДТП в примерах – СПб.: Издательский дом Петрополис, 2012.

12. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Справочник по экспертизе дорожно-транспортных происшествий. – СПб.: ИД Петрополис, 2020. – 516 с.

13. ГОСТ 33464-2015 Глобальная навигационная спутниковая система. Система экстренного реагирования при авариях. Устройство/система вызова экстренных оперативных служб. Общие технические требования

14. ГОСТ Р 58840-2020 Автомобильные транспортные средства. Бортовые устройства регистрации событий. Общие технические требования и методы испытаний

15. Домке Э.Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 288 с.

16. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 2020 год. Информационно-аналитический обзор. – М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2021, 79 с.

17. Жанказиев, С. В. Анализ состояния дорожного движения методом экспертных оценок / С. В. Жанказиев, С. Х. Нгуен // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2019. – № 1(87). – С. 7-10.

18. Журавлёв, Ю.И. Избранные научные труды / Ю.И. Журавлёв. М.:

Издательство Магистр, 1998. - 420 с.

19. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1989. – 255

20. Индиаминов С.И., Исмаилов Р.А., Бахтиёров Б.Б. Повреждения у водителей, пострадавших при внутрисалонной автомобильной травме // Вестник современной клинической медицины. 2020. №5.

21. Калмыков Б.Ю., Гармидер А.С. Способ определения скорости автобуса в момент опрокидывания // ИВД. 2017. №3 (46).

22. Козлов А.И. Авдеев. С.В. Повреждения грудной клетки и дифференциальная диагностика травмы пострадавших в результате дорожно-транспортного происшествия внутри салона автомобиля // Дальневосточный медицинский журнал. 2007. №3.

23. Козлов А.И. Авдеев. С.В. Повреждения грудной клетки и дифференциальная диагностика травмы пострадавших в результате дорожно-транспортного происшествия внутри салона автомобиля // Дальневосточный медицинский журнал. 2007. №3.

24. Кравченко, П. А. Концепция обеспечения нулевой смертности на дорогах России как механизм борьбы с причинами дорожно-транспортных происшествий / П. А. Кравченко, С. В. Жанказиев, Е. М. Олещенко // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 4(83). – С. 3-7.

25. Куракина Е.В., Евтюков С.С., Голов Е.В., Реконструкция дорожно-транспортных происшествий - Монография, ИД «Петрополис» - 2017 – 204 с. ISBN 978-5-9676-0874-2

26. Лукошявичене О. В. Моделирование дорожно-транспортных происшествий. – М.: Транспорт, 1988. – 96 с.

27. Лукошявичене О. В. и др. Новый способ определения психомоторных реакций водителя // Автомобильный транспорт. 1972, №2.

28. Маякова М. А., Теньков А. А., Кочкаров В. И. Судебно-медицинская оценка повреждений, получаемых в салоне автомобиля живыми лицами // Актуальные проблемы медицины. 2010. №22 (93).

29. Никонов В. Н. Классификация методов реконструкции обстоятельств ДТП, применяемых в мировой практике, и их допустимость в качестве доказательства в суде // Материалы Всероссийской конференции «Реконструкция обстоятельств дорожно-транспортного происшествия при проведении судебных экспертиз. Правовые и методические вопросы судебной экспертизы». Уфа, 24-25 апреля 2008 г.

30. Никонов В. Н. Метод конечных элементов и судебная инженерно-техническая прочностная экспертиза. – Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Реконструкция обстоятельств дорожно-транспортного происшествия при проведении судебных экспертиз. Правовые и методические вопросы судебной экспертизы». Уфа, 24-25 апреля 2008г.

31. Никонов В. Н. Реконструкция обстоятельств ДТП: Введение в современные методы экспертных исследований. Использование краш-тестов // Издательские решения, 2016 – 126 с.

32. Правила дорожного движения РФ

33. Петров С.М. Исследование материалов видеозаписи с целью установления обстоятельств ДТП // Теория и практика судебной экспертизы: научно-практический журнал. – М.: ФБУ РФЦСЭ при Минюсте России. – 2013. – № 4 (32).

34. Пронин В.Н., Звездин М.В., Шавыкина С.Б. Расчет скоростей движения объектов по видеозаписям, полученным средствами видеофиксации // Теория и практика судебной экспертизы: научно-практический журнал. – М.: ФБУ РФЦСЭ при Минюсте России. – 2013. – № 3 (31).

35. Пучкин В.А. Основы экспертного анализа ДТП: База данных. Экспертная техника. Методы решения. – Ростов-на-Дону: ИПО ПИ ЮФУ, 2012. – 400 с.

36. Растрин, Л.А. Адаптация сложных систем / Л.А. Растрин. Рига: Зинатне, 1981.- 375 с.

37. Решение отдельных типовых задач судебной автотехнической экспертизы. ВНИИСЭ МЮ СССР. – М.: 1988. – 37 с., ил.
38. Смирнова С. А. Судебная экспертиза на рубеже XXI века. Состояние, развитие, проблемы. 2-е изд-е, пер. и доп. – СПб.: Питер, 2004. – 875 с.
39. Столяров В. В. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий на основе теории риска: Учебное пособие. – Саратов: СГТУ, 1996. – 176 с.
40. Суворов Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза: Учеб. пособие. – М.: Изд. «Экзамен», «Право и закон», 2003.
41. Судебная автотехническая экспертиза. Сборник научных трудов. - М., Изд. ВНИИСЭ, 1986, 174 с.
42. Судебная автотехническая экспертиза: Пособие для экспертов-автотехников, следователей и судей. Ч.2./ Под ред. В. А. Иларионова. – М.: ВНИИСЭ, 1980. – 491 с.
43. Транспортно-трасологическая экспертиза по делам о дорожно-транспортных происшествиях. Диагностические исследования. Методическое пособие для экспертов, следователей и судей. Вып. 2. Выпуск 2 пособия подготовлен: Н. М. Кристи (глава 1, глава 2 - в соавторстве) и сотрудником НИИ судебной медицины МЗ СССР канд. мед. наук В. С. Тишиным (глава 2 - в соавторстве). Ответственный редактор докт. юрид. наук проф. Ю. Г. Корухов– М.: ВНИИСЭ, 1988.
44. Тартаковский Д.Ф. Проблемы неопределенности данных при экспертизе дорожно-транспортных происшествий. – СПб: Издательство Р.Асанова «Юридический центр Пресс», 2006. – 268 с.
45. Федеральный закон 73-ФЗ О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации (с изменениями на 26 июля 2019 года)
46. Asay, A.F. and Woolley, R.L. (2010) «Rollover Testing of Sport Utility Vehicles (SUVs) on an Actual Highway», Society of Automotive Engineers, SAE 2010-01-0521.

47. Application of the Monte Carlo Methods for Stability Analysis within the Accident Reconstruction Software PC-CRASH. SAE Technical Paper 2003-01-0488
48. Brach, R.M. and Brach, R.M. (2005) Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods, SAE International, Warrendale, PA.
49. Burg, H., and Zeidler, F. "EES – Ein Hilfsmittel Zur Unfallrekonstruktion und dessen Auswirkung auf die Unfallforschung", Der Verkehrsunfall 4/1980, Verlag Information Ambs GmbH, Germany.
50. Burel, J., Dynamic Analysis of Occupant Behavior in Vehicle Rollover Event, The George Washington University, Ashburn, 2003.
51. Charles E. Strother, Ronald L. Woolley, Michael B. James, and Charles Y. Warner. Collision Safety Engineering, Inc. «Crush Energy in Accident Reconstruction» SAE Paper 860371.
52. Christopher D. Armstrong. Collision Reconstruction Methodologies Volume 6A: Rollover Accident Reconstruction. Published by SAE International with a Product Code of PT-186\_6A, ISBN of 978-0-7680-9207-3
53. Cliff, W. and Montgomery, D., "Validation of PC-Crash - A Momentum-Based Accident Reconstruction Program," SAE Technical Paper 960885, 1996
54. Collins, James C. and Morris, Joe L and Collins. Accident Reconstruction, Highway Collision Analysis. – Thomas Publishing, 2004.
55. Cooperrider, N., Thomas, T., and Hammoud, S. (1990) «Testing and Analysis of Vehicle Rollover Behavior», Society of Automotive Engineers, SAE 900366.
56. Conroy, C., Hoyt, D, Eastman, A.B, etc. (2006), “Rollover crashes: Predicting serious injury based on occupant, vehicle, and crash characteristics”, Accident Analysis and Prevention, 38 (2006).
57. Dahdah, S., Effects of Roll Rate and Tripping Velocities on Occupant Kinematics in Vehicle Rollover, The George Washington University, Ashburn, 2004.

58. Design, Simulation and Virtual Testing, Madymo Theory Manual. VERSION 7.7 TASS International Software BV
59. Digges, K., and Eigen, A., Crash Attributes That Influence the Severity of Rollover Crashes, Proceedings of the 18th ESV Conference, No. 231, Nagoya, 2003.
60. Digges, K., Burel, J., Godrick, D., Soltani, H., Bedewi, P., and Eigen, A., Crash Simulations to Understand Injury Mechanisms in Maneuver-Induced Rollover Crashes, Proceedings of SAE (2004), no. 2004-01-0330.
61. Funk, J.R. and Leupke, P.A. (2007) «Trajectory Model of Occupants Ejected in Rollover Crashes», Society of Automotive Engineers, SAE 2007-01-0742.
62. Eigen, A., Characterization of Attributes Applicable to a Rollover Crash Severity Metric, The George Washington University/NHTSA, Ashburn 2004.
63. Eigen, A., Examination of Rollover Crash Mechanisms and Occupant Outcomes, DOT HS 809 692, Washington, DC, 2003.
64. Hao Wang, Lai Zheng, Xianghai Meng, Traffic Accidents Prediction Model Based on Fuzzy Logic. Advances in Information Technology and Education. International Conference, CSE 2011, Qingdao, China, July 9-10, 2011, Proceedings, Part I, pp 101-108.
65. Horn, J., Nafpliotis, N. (1993). Multiobjective optimization using the niched Pareto genetic algorithm. IlliGAL Report 93005. Moser, A., Steffan, H., Spek, A., & Makkinga, W. (2003).
66. Leupke, P.A., Carter, J.W, Henry, K.C., Germane, G.J., and Smith, J.W. (2008) «Rollover Crash Tests on Dirt: An Examination of Rollover Dynamics», Society of Automotive Engineers, SAE 2008-01-0156.
67. Lund, Yvonne Irene Katherine, "An investigation of the mechanics of rollover for cars and light trucks " (1995). Retrospective Theses and Dissertations. 10930.
68. M.Hiemer Model based detection and reconstruction of road traffic

accidents. Dissertation, Universitat Karlsruhe, 2004.

69. McHenry R., Jones I., Lynch J. Mathematical Reconstruction of Highway Accidents. – Scene Measurement and Data Processing System, «DOTHS-053-3-658», Dec. 1984.

70. Noga T., Oppenheim T. CRASH3 User's Guide and Technical Manual. – NHTSA, U.S. Dept. of Transportation, Washington, DC, 1981.

71. Occupant Injuries Related to Rollover Crashes and Ejections from Recent Crash Data, Jingshu Wu, PhD, Stephen Summers, Stephen Ridella, PhD, Ellen Lee, Thomas Kang, James Myers. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, DC Paper No. 19-0153. 26th ESV Conference, 2019

72. Orłowski, K.F., Moffatt, E.A., Bundorf, R.T., and Holcomb, M.P. (1989) «Reconstruction of Rollover Collisions», Society of Automotive Engineers, SAE 890857.

73. Osterholt, G., Cummings, J., Biller, B., and Calhoun, V., "Updating Generic Crush Stiffness Coefficients for Accident Reconstruction," SAE Technical Paper 2010-01-1581, 2010

74. Pawlus W., Reza Karimi H., Robbersmyr K.G., A fuzzy approach to modeling a vehicle crash test. Central European Journal of Engineering. 2012.

75. Paulo Ricardo, Valentin Francisco. Simulation and multi-objective optimization of road traffic accidents. Instituto superior tecnico, University of Lisbon, Portugal.

76. Rollover Crash Mechanisms and Injury Outcomes for Restrained Occupants: Technical Report DOT HS 809 894 Paperback – September 14, 2013.

77. Subramanian Pm. Rollover Evaluation Characteristics of Passenger Vehicles. Second International Conference «Advances in Mechanical Engineering and Building Sciences» – ICAMB 2012, VIT University At: Vellore. August 2012

78. Sens M., Cheng P., Weichel J., Guenther D. Perception/reaction time values for accident reconstruction. / Society of Automotive Engineers. Paper N. 890732, 1989.

79. Songfei Zhang, Shaoyi Bei, Bo Li, Yingjie Jin, Hao Yan. Overview of Car Rollover System Development International Conference on Mechanical, Electrical, Electronic Engineering & Science (MEEES 2018). Advances in Engineering Research, volume 154
80. Stanislav Evtukov, Yaroslav Vasilev, Vseslav Voronin and Egor Golov Differentiating the stiffness of the side of the car. MATEC Web Conf., 341 (2021) 00035. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134100035>
81. Steffan, H., Moser, A., Spek, A., & Makkinga, W. (2007). Collision optimizer and Monte Carlo methods in impact calculation. EVU-Annual meeting 2007.
82. THUMS Overview and Application. Hiroshi Miyazaki. IWG DPPS 7<sup>th</sup> Meeting September, 2020
83. Várkonyi-Kóczy AR. Fuzzy logic supported corner detection. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. 2008;19(1):41-50.
84. Wypadki drogowe Vademecum biegłego sądowego. Wydanie 2 uaktualnione. Reza Adam, Wierciński Jacek. Instytut Ekspertyz Sądowych. 2010 – 1094 p.

**Приложение А**  
**(Пример отчета CDR по проекту CISS)**

В данном примере шестнадцатеричный код и листы с пропусками записи данных – удалены



IMPORTANT NOTICE: Robert Bosch LLC and the manufacturers whose vehicles are accessible using the CDR System urge end users to use the latest production release of the Crash Data Retrieval system software when viewing, printing or exporting any retrieved data from within the CDR program. Using the latest version of the CDR software is the best way to ensure that retrieved data has been translated using the most current information provided by the manufacturers of the vehicles supported by this product.

### CDR File Information

User Entered VIN	2C4RDGCG3HR*****
User	
Case Number	
EDR Data Imaging Date	
Crash Date	
Filename	20171023028_V1_ACM.CDRX
Saved on	
Imaged with CDR version	Crash Data Retrieval Tool 17.2.1
Imaged with Software Licensed to (Company Name)	NHTSA
Reported with CDR version	Crash Data Retrieval Tool 18.0.2
Reported with Software Licensed to (Company Name)	Center for Injury Biomechanics
EDR Device Type	Airbag Control Module
Event(s) recovered	Most Recent Event, Deployment Event

### Comments

No comments entered.

### Data Limitations

#### AIRBAG CONTROL MODULE (ACM) DATA LIMITATIONS:

#### GENERAL INFORMATION:

CAUTION: During direct-to-module imaging where the Airbag Control Module (ACM) is disconnected and removed from a vehicle, make sure the ACM is not moved, tilted or turned over while connected to and powered by the CDR Interface Module (with appropriate adaptors in place, where required). Also, after a CDR imaging process, wait 2 minutes after power is removed from the ACM before attempting to move the module. Not following these general ACM guidelines for direct-to-module imaging may cause new events to be recorded in the ACM.

- For additional definitions, please refer to the CDR Help File Glossary.
- As the VIN may be used to determine the configuration of the restraint system, it is imperative that the correct VIN be entered into the CDR Tool during the imaging process.
- For Fiat vehicles, the "Read VIN from Vehicle" feature in the CDR Tool will not work. The VIN will have to be manually entered.
- The 2019 MY RAM 1500 may take up to 30 minutes to retrieve the EDR data. The ignition will time out within 20 minutes so the vehicle flashers must be turned on within 20 minutes to keep the ignition and communication bus active.
- Lateral Delta V will not be displayed for the 2013 MY Jeep Compass and Patriot.
- Ignition Cycle, download/crash
  - For RAMs and Dodge Vipers, there are 2 internal ignition counters in the ACM. It is possible for the ignition cycles at download to be different than the ignition cycles at event due to the 2 different counters.
  - Note that the ignition cycle count in an ACM may differ from the ignition cycle count in a Pedestrian Protection Module (PPM) in the same vehicle due to the fact that the ACM has an energy reserve while the PPM does not.
- The following table provides an explanation of the sign notation for data elements that may be included in this CDR report. All directional references to sign notation are from the perspective of the driver when seated in the vehicle facing the direction of forward vehicle travel.

Data Element Name	Positive Sign Notation Indicates
Delta-V, Longitudinal	Forward
Maximum Delta-V, Longitudinal	Forward
Delta-V, Lateral	Left to Right
Maximum Delta-V, Lateral	Left to Right
Angular Rate	Clockwise rotation around the longitudinal axis
Peripheral Sensors, X and Y	Outside to Inside
Pressure Sensors	Compression of air
Internal Y Acceleration	Left to Right
Low-g Z Acceleration	Downward
Steering Input	Steering wheel turned counter clockwise
Yaw Rate	Counter clockwise rotation


**CDR FILE INFORMATION:**

- An event will be stored when the delta V is approximately 5 mph (8 km/h) or greater within a 150 ms interval.
- For non-NAFTA ACMs that control pedestrian protection devices, a non-deployment event will be stored when the pedestrian protection devices are activated.
- A non-deployment event may be stored with activation of the Active Head Restraints. See AHR explanation under System Configuration at Retrieval/Event section.

**Event(s) Recovered definitions:**

- None - There are no stored events in the ACM
- Not Retrievable - Event Data may be stored in the ACM but is not retrievable by the CDR Tool.
- Most Recent Event - Data of the most recent event is displayed in the report
- 1st Prior Event - Two events are stored in the ACM, Data displayed is of the first prior event.
- 2nd Prior Event - Three events are stored in the ACM, Data displayed is of the second prior event.
- For 2013 and 2014 MY Dodge Journey and Fiat Freemont:
  - Event Record 1 - Data from an event is stored in the ACM (not necessarily in chronological order)
  - Event Record 2 - Data from another event is stored in the ACM (not necessarily in chronological order)
- For TRW modules:
  - If there is a side impact, two EDR events may be stored for the one side impact event. The second event may be recorded due to the Lateral Delta V exceeding 5 mph (8 km/h) within a 150 ms interval after the side deployment occurred.
- For some Fiat vehicles:
  - Two EDR events may be stored for one impact event. The second event may be recorded due to the deployment of the frontal airbag, 3<sup>rd</sup> stage passenger.
- During an event, if power to the ACM is lost, all or part of the event data record may not be recorded. An indication may be observed in the recorded data under this condition: The restraint data is recorded first and then the vehicle data.
  - "None" may be displayed in the "Event(s) Recovered" section of the report indicating no pre-crash vehicle data.
  - An event may be displayed in the "Event(s) Recovered" section of the report and "Interrupted" will be displayed for Pre-Crash Recorder Status.

**SYSTEM STATUS AT RETRIEVAL:**

- Original VIN - The VIN is captured by the ACM and then recorded as the Original VIN after 10 consecutive ignition cycles of capturing the same number. Once it has been recorded, this number cannot be changed.

**SYSTEM CONFIGURATION AT RETRIEVAL/EVENT:**

- The System Configuration data tables indicate the components that the ACM for a particular vehicle monitors and/or controls.
- Active Head Restraint (AHR) - This refers to some active head restraint systems that are electronically controlled by the ACM. AHRs may activate but not store an EDR Record if the delta V does not exceed the minimum delta V threshold. It is possible that the AHRs may activate after the EDR record has been stored and written, based on achieving the minimum delta V. This condition will result in an EDR but no record of the AHR activation in the CDR report. Activation of only the AHRs, if stored, will be a non-deployment event.

**SYSTEM STATUS AT EVENT:**

- Number, Total Events - Cumulative number of events that the ACM has recorded, including those non-deployment events that have been overwritten by a subsequent event.
- Occupant Size Classification, Outboard Front Passenger - "Child" status may be used to indicate anything weighing less than a 5<sup>th</sup> percentile female adult crash dummy, including an empty seat; "Not Child" indicates anything weighing the same as or more than a 5<sup>th</sup> percentile female adult crash dummy.
- Odometer at Event - Vehicle odometer at the time of the event
- Operation via Energy Reserve Only - "Yes" indicates that the ACM had lost power at or before T0 and was only operating on energy reserve at T0.
- System Voltage at Event, ACM - Voltage at the ACM as measured by the ACM.
- System Voltage at Event, Bussed - Voltage of the vehicle system, communicated on the communication bus to other electronic modules in the vehicle.
- Temperature, Outside - Ambient Air Temperature.
- Time, Airbag Warning Lamp On - This is a cumulative time. It indicates the total amount of time that the ACM has requested the Airbag Warning Lamp be turned on.
  - This time does not include the warning lamp bulb check time, which occurs at every ignition cycle
  - For 2013 MY Minivans and new 2017+ MY Jeep Compass, this time is only cumulative for the past 10 ignition cycles.
- Time from event 1 to 2 -
  - If only one event is stored, either a value of 0 or >5 may be displayed for this data element.
  - For the 2018+ MY Promaster and 2019+ MY RAM 1500, a value of 0 may be displayed for the first event or for events >5 seconds apart.
  - If multiple events exist in the EDR, the time from event 1 to event 2 is defined as:
    - For Bosch and TRW modules, the time from the prior recorded event (even if it has been overwritten) to the current recorded event.
    - For Continental modules, the time from the prior existing recorded event (as long as it is still displayed in the CDR report) to the current recorded event. If the prior event in a multi-event condition is overwritten by a subsequent event, the multi-event



- status will no longer be displayed.
- For the 2019+ MY RAM 1500, the time from event 1 to 2 may utilize a non-stored event as event 1. In this case, the total number of events and multi-event data elements will not include the non-stored event in the number of events. However, the time from event 1 to 2 will be shown as time from that non-stored event.
- Time, Operation System Time - This is a cumulative lifetime timer for the ACM. It indicates the total amount of time the ACM has been powered up.
- VIN at Event, Last 8 Digits- Last 8 digits of the VIN of the vehicle at the time the ACM records the event.

#### DEPLOYMENT COMMAND DATA:

- A "Yes" for a particular item indicates that the ACM commanded the deployment /activation of the associated device.
- The phrase "Exceeded Storage Range" for a particular time to deploy indicates that the deployment time is equal to or greater than the 255 milliseconds that can be stored.
- If a device is not deployed, the "time to deploy" for that device will display 0, SNA, N/A or 255.
- In vehicles with Bosch ACMs, once a device has been deployed in an ignition cycle, it is possible that the ACM will not attempt to re-deploy any already deployed device during subsequent events in that same ignition cycle.

#### DTCs PRESENT AT START OF EVENT:

- If any DTCs (diagnostic trouble codes) are present in the ACM at the start of the event, these will be listed in this section. A dealership service manual can be used to decode the DTCs.
  - DTCs Present at Start of Event are not present in the Alfa Romeo Giulia, Fiat 500X, and the Jeep Renegade.

#### SENSOR DATA:

- The design range for the angular rate data is:
  - +/- 240 deg/sec for Bosch ACMs
  - +/- 300 deg/sec for TRW ACMs, the 2019 MY RAM 1500, and the 2018+ MY Dodge Journey
  - +/- 290 deg/sec for 2008+ MY minivans and 2009-2017 MY Dodge Journey
  - +/- 340 deg/sec for 2017+ MY Chrysler Pacifica and new 2017+ MY Jeep Compass
- For vehicles that store peripheral sensor data, t0 for the peripheral sensors is the same as the t0 for the delta V.
- Internal y acceleration is stored prior to t0 so the internal y acceleration data will usually be zero unless the rollover sensing algorithm has triggered storage of the EDR event.
- The words "Sensor Design Range Exceeded" and a vertical line will be displayed on the Longitudinal and Lateral Delta-V graphs the first time the applicable sensor range is exceeded.

#### PRE-CRASH DATA:

- The recorded Event may contain Pre-Crash data. Pre-Crash data from the various electronic control modules in the vehicle is transmitted to the Airbag Control Module via the vehicle's communication bus.
- (if equip.) - If a parameter name is followed by the words (if equip.), then the parameter is only valid for vehicles equipped with the associated parameter/vehicle system.
- The MIL (Malfunction Indicator Lamp) Status for the various recorded systems indicates the requested state of the applicable malfunction indicator lamp at the time that the data was captured. Note: Some fault codes could be stored due to component/system damage from the accident. The appropriate diagnostic tool should be used to read any stored Diagnostic Trouble Codes (DTC's) in the various electronic modules (ACM, PCM, ABS, TCM, etc., where applicable) for use in interpretation of some vehicle specific recorded data.
- ABS Activity - "Yes" indicates an active ABS event in which the ABS is actively controlling the brakes.
- ABS MIL- This indicates the ABS fault indicator lamp status. It will only be "On" when there is a fault in the ABS system. The Electronic brake module DTC's should be read and recorded for final system interpretation.
- Accelerator Pedal, % Full - This indicates the actual position of the accelerator pedal. It will be "SNA" if the vehicle is in the power free mode which limits acceleration.
- Accelerator Pedal (Derived), % Full - This indicates the calculated value of the accelerator pedal for battery electric vehicles only.
- Accelerator Pedal/Engine Throttle, % Full - This indicates the actual position of the accelerator pedal unless the cruise control is engaged. If the cruise control is engaged, this indicates the actual position of the engine throttle blade.
- Braking System, Maximum Braking - "Yes" indicates that ABS is active on all 4 wheels at the same time.
- Cruise Control:
  - Note that the following two Cruise Control data elements are only valid for vehicles not equipped with Adaptive Cruise Control (ACC). For vehicles equipped with ACC, the ACC data elements are used for both regular Cruise Control and ACC.
  - Cruise Control System/Lamp Status - "On" indicates that the Cruise Control system is turned on.
  - Cruise Control Engaged Status/Active - "Engaged"/"Yes" indicates the Cruise Control system is actively controlling vehicle speed. "Not Engaged"/"No" indicates the system is NOT controlling vehicle speed.
  - Adaptive Cruise Control (ACC) Status (if equip.)- "Off" indicates that all cruise control functionality is disabled; "NCC\_On" indicates that the Normal Cruise Control system is turned on; "NCC\_Set" indicates the Normal Cruise Control is actively controlling vehicle speed; "ACC\_On" indicates that ACC is turned on; "ACC\_Set" indicates that the ACC is actively controlling vehicle speed. If the value is SNA for all time stamps, then the vehicle is not equipped with ACC.
  - ACC Speed Set (if equip.)- This indicates the desired speed in mph that was input by the driver for the ACC system. If the value is SNA for all time stamps, then the vehicle is not equipped with ACC.
  - ACC Faulted - "Yes" indicates that the ACC system will not function and the ACC warning lamp is lit; "No" indicates that the ACC system is functional and the ACC warning lamp is off;



- Drive Mode - This indicates the driver selected mode of operation (e.g. normal, sport, track, ...)
- Electronic Brake/Stability Control information:
  - Stability Control - This is the status of the ESC symbol - "car with squiggly lines" indicator lamp. "On" indicates that the ESC system is functional. "Off" indicates that the ESC system was turned off either by the driver or due to a fault or thermal mode shutdown. "Engaged" indicates an active ESC/TCS event. "Partial Off" indicates that engine management has been turned off but brake traction control is still functional.
    - For the Jeep Renegade, if the Stability Control is "Off", the ESC Button Status is "Disabled", and the vehicle speed exceeds 40 mph, the stability control system will operate in a reduced functionality mode with traction control turned off ("partial off" mode) even though the user disabled it. For all other conditions, when the Stability Control is "Off", the stability control system will be off.
  - ESC Button Status - This indicates the driver selected mode for the ESC system. "Disabled" indicates that the driver pressed the ESC Button to disable engine management. "Enabled" is the default state for the ESC system.
    - SRT and some Fiat products have the ability to fully disable the ESC system if the ESC button has been pressed and held for a specific amount of time. Additional system analysis is required.
  - ESP Feature is Completely Disabled - This indicates that the stability control system has turned off engine management, traction control, and stability control.
  - ESC/ESP MIL - This indicates the ESC/ESP fault indication lamp status. It will only be "On" when there is a fault or thermal mode shutdown in the ESC/ESP system. The ESC/ESP module DTC's should be read and recorded for final system interpretation.
  - Brake Intervention by ESP - "Yes" indicates that the stability control system has engaged the brakes.
  - Engine Torque Applied - "No" indicates no engine torque output was applied (as in Park/Neutral for Automatic transmissions or clutch depressed on manual or during an ESP/Traction Control event). If "Yes", then engine torque output was applied.
  - Traction Control Active - "Yes" indicates that the traction control system is actively controlling the vehicle's wheels.
- Electronic Park Brake (EPB):
  - Park Brake Engaged - "Yes" indicates that the park brake is applied.
  - EPB MIL - "On" indicates that there is a fault in the Electronic Park Brake System.
- Engine Throttle, % Full - This indicates the actual position of the Engine Throttle blade. This data element is not supported by vehicles with diesel engines. Thus a value of "SNA" will be displayed if the vehicle has a diesel engine.
- ETC Lamp - Lamp "ON" indicates there is an active Electronic Throttle DTC.
- ETC Lamp Flashing - "Yes" indicates that the ETC is in the limp-in mode.
- Forward Collision Warning (FCW) (if equip.):
  - Object of Interest Distance - This indicates the actual forward distance to the main object being tracked by the FCW system. "FCW present but not tracking" indicates that the FCW system is not currently tracking an object. If the value is SNA for all time stamps, then the vehicle is not equipped with FCW.
  - FCW System Operating State - "Off" indicates that the FCW system is off and the FCW Warning Lamp will be "On"; "On" indicates that the FCW system is fully on with active braking as well as the audible and visual warnings enabled.
  - FCW System Status - "Off" indicates that the FCW system is off and the FCW Warning Lamp will be "On". "On-braking" indicates that the FCW system is on with active braking enabled but there will be no FCW audible or visual warnings in an FCW event. "On-warning" indicates that the FCW system is on but active braking is disabled. In an FCW event, the driver will only receive FCW audible and visual warnings. "On-ful" indicates that the FCW system is fully on with active braking as well as the audible and visual warnings enabled. SNA indicates that the vehicle is not equipped with FCW.
- Gear Position - This indicates the current transmission gear.
- Master Cylinder Pressure - This indicates the brake pressure applied to the brakes through the brake pedal.
- PCM MIL - This indicates the PCM fault indicator lamp status. It will only be "On" when there is a fault in the PCM. "Flashing" indicates misfire detection. The Powertrain Control Module DTC's should be read and recorded for final system interpretation.
- Pre-Crash Recorder Complete - Due to the interruption of data recording in one section, this data element may display "Interrupted" for all sections when some data sections are actually complete.
  - For the 2014 MY Jeep Grand Cherokee and Dodge Durango, if recording of angular rate data is interrupted, the entire EDR record will display "Interrupted" even though the rest of the data may be complete.
- PRND/PRNDL/PRNDS Status - This indicates the status of the Shifter Position.
- Raw Manifold Pressure - This indicates engine load in kPa.
- Reverse Gear - For manual transmission vehicles only, "Yes" indicates the transmission is in the reverse gear.
- Service Brake - "On" indicates that the brake pedal is physically depressed. Braking from the ABS or FCW systems will not be reported in this data element.
- Speed, Vehicle Indicated - This indicates the average of the drive wheels. The accuracy of the recorded Speed, Vehicle Indicated will be affected if the vehicle had the tire size or the final drive axle ratio changed from the factory build specifications. On some vehicles capable of speeds in excess of 255km/h (about 158mph), the actual vehicle speed may have exceeded the reporting range. It is always prudent to check the reported wheel speeds and other parameters to confirm the Speed, Vehicle Indicated value(s).
- Tire Information:
  - XX where LF = Left Front Tire, RF = Right Front Tire, LR = Left Rear Tire, and RR = Right Rear Tire.
  - Tire X Location - This indicates the location of the tire pressure sensor data being displayed for that time stamp. Default is used to indicate that the location of the tire pressure sensor is unknown or there is no tire pressure sensor in that wheel. Vehicles with Base Tire Pressure Monitoring systems will display SNA for both Tire Locations as these vehicles do not send actual pressure values across the communication bus.
  - Tire X Pressure/Tire Pressure Status, XX - This indicates the actual pressure status of the Tire Location defined in the previous column (Tire X Location) or by the values for XX. Possible values are LOW, NORMAL, HIGH, or SNA for this parameter. Vehicles with Base Tire Pressure Monitoring systems may display NORMAL even though these vehicles do not send actual pressure values across the communication bus.
  - Tire X Pressure/Tire Pressure Value, XX (psi) - This indicates the actual tire pressure value of the Tire Location defined in the previous column (Tire X Location) or by the values for XX. Vehicles with Base Tire Pressure Monitoring systems will display N/A for this parameter as these vehicles do not send actual pressure values across the communication bus.
    - For the following vehicles, the tire location, if displayed, may not be accurate if the tires have been rotated:
      - 2013 MY Ram



- 2013-2017 MY Jeep Patriot
- 2013-2014 MY Chrysler 200
- 2013-2017 MY Jeep Compass
- 2013-2016 MY Dodge Dart
- For the 2013 MY Ram, if the values for tire pressure status and the tire pressure are SNA, the EDR does not store tire pressure monitoring data.
- Tire pressure is not stored in the EDR for the following vehicles:
  - 2014-2018 MY RAM 1500
  - 2014+ MY RAM (all but 1500)
  - 2013+ MY Jeep Wrangler
  - 2013 MY Jeep Grand Cherokee
  - 2013 MY Dodge Durango
  - 2013-2014 MY Dodge Challenger
  - 2013-2016 MY Chrysler Town and Country
  - 2013+ MY Dodge Grand Caravan
  - 2015+ MY Fiat 500
- Wheel Speed, XX - This indicates the speed value (in revolutions per minute) of a particular tire as denoted by XX.
- Tire Pressure Monitor Indicator Lamp/Faults - "On" indicates a fault in the tire pressure monitoring system. The TPM module DTC's should be read and recorded for final system interpretation.
- "T0" ("Time zero" where '0' is seen as subscript) is defined as "beginning of the crash event". T0 is the time at which the ACM algorithm is activated, a specific Delta-V is exceeded, or a non-reversible restraint device is deployed. T0 may be defined differently for front, side, rear and roll-over events.
  - If multiple algorithm decisions (i.e.: frontal, side, rear and/or rollover) are made before the first recorded event ends, all of those events are part of the same event record and "T0" is defined as the "T0" from the first recorded event.
  - In the Pre-Crash data tables, the relative time marker "-0.1s" or "-0.25s" respectively represents the last set of data captured in the buffer prior to "T0."
- Torque Information:
  - Axle Torque - This indicates the E-Motor Torque multiplied by the gear ratio for battery electric vehicles only.
  - E-Motor Torque - This indicates the calculated torque from the output shaft of the electric motor in battery electric vehicles only.
- Traction Control Intervention Active - "Active" indicates wheel slippage was occurring during vehicle acceleration.

#### APPLICATION INFORMATION:

- Jeep Renegade and Alfa Romeo Giulia are only CDR supported in the NAFTA market.

03002\_Chrysler\_r038



### System Status at Retrieval

Original VIN	2C4RDGCG3HR*****
Current VIN	2C4RDGCG3HR*****
Ignition Cycle, Download	314
ECU Part Number	68233535AD
ECU Serial Number	T10JF322600399
Supplier Identification	Continental Corporation
ECU Supply Voltage at Time of Retrieval	12.1

### System Configuration at Retrieval

Configured for Driver/Passenger Frontal Airbags	Yes
Configured for Rollover Sensing	Yes
Configured for Driver Knee Airbag	Yes
Configured for Driver/Passenger Retractor Pretensioner	Yes
Configured for Driver/Passenger Buckle Pretensioner	Yes
Configured for Driver Seat Track Position Sensor	Yes
Configured for Outboard Front Passenger Seat Track Position Sensor	No
Configured for Passenger Knee Airbag	No
Configured for Left/Right Side Seat Airbag	Yes
Configured for Left/Right Side Curtain Airbag	Yes
Configured for Left/Right Up Front Sensors	Yes
Configured for Left/Right Side Pressure Sensors	Yes
Configured for Left/Right Side B-Pillar Acceleration Sensors	Yes
Configured for Left/Right Side C-Pillar Acceleration Sensors	Yes
Configured for Left/Right Side D-Pillar Acceleration Sensors	Yes
Configured for Driver/Passenger Active Head Restraint	Yes
Configured for Passenger Buckle Switches	Yes


**System Configuration at Event (Most Recent Event)**

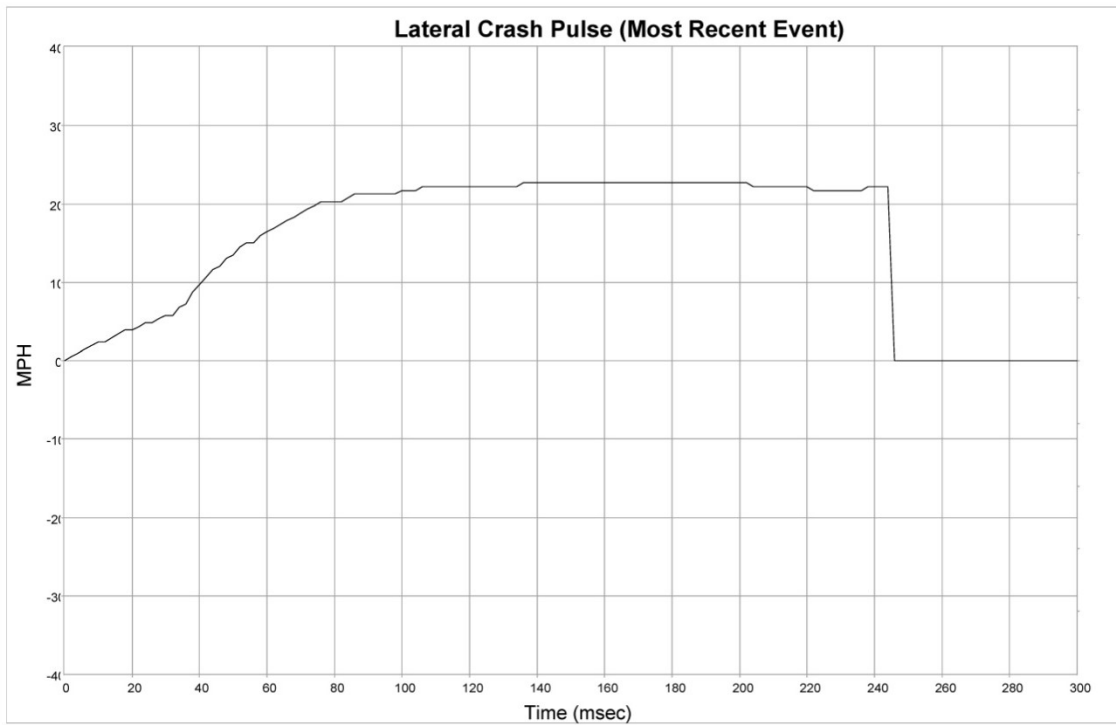
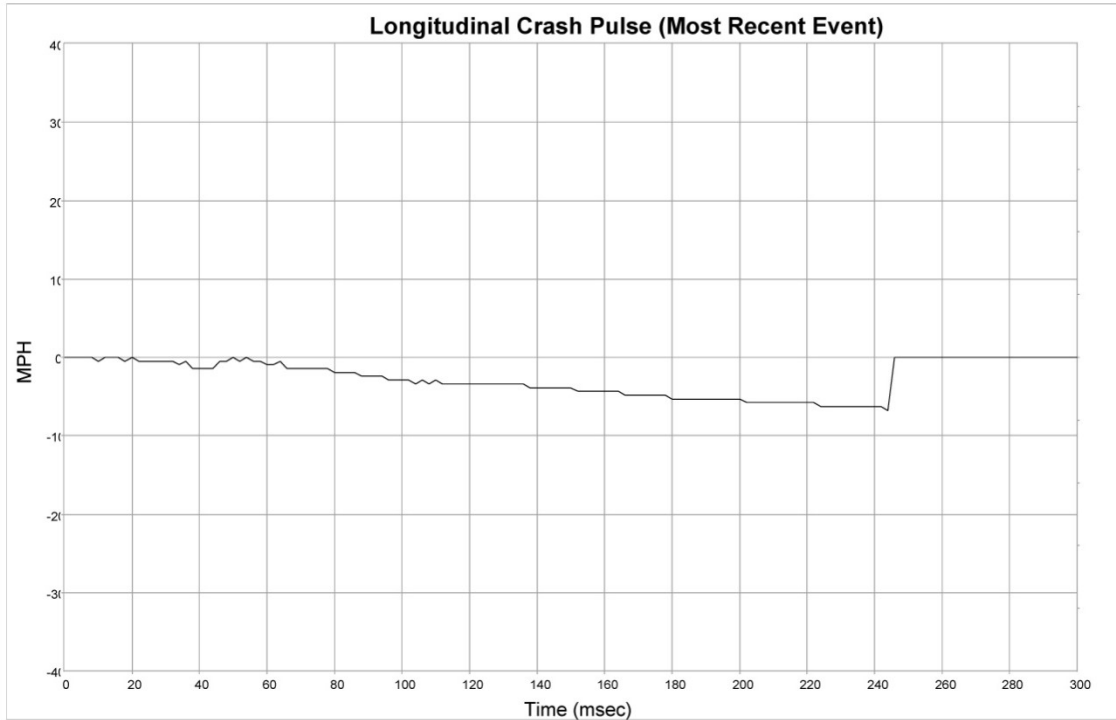
Configured for Driver Frontal Airbag	Yes
Configured for Passenger Frontal Airbag	Yes
Configured for Rollover Sensing	Yes
Configured for Driver Knee Airbag	Yes
Configured for Driver Retractor Pretensioner	Yes
Configured for Driver Seatbelt Buckle Pretensioner	Yes
Configured for Driver Seat Track Position Sensor	Yes
Configured for Outboard Front Passenger Seat Track Position Sensor	No
Configured for Outboard Front Passenger Knee Airbag	No
Configured for Outboard Front Passenger Retractor Pretensioner	Yes
Configured for Outboard Front Passenger Seatbelt Buckle Pretensioner	Yes
Configured for Left Side Seat Airbag	Yes
Configured for Left Side Curtain Airbag	Yes
Configured for Right Side Seat Airbag	Yes
Configured for Right Side Curtain Airbag	Yes
Configured for Left/Right Up Front Sensors	Yes
Configured for Left/Right Side Pressure Sensors	Yes
Configured for Left/Right Side Acceleration Sensors	Yes
Configured for Driver/Passenger Active Head Restraint	Yes
Configured for Passenger Buckle Switches	Yes

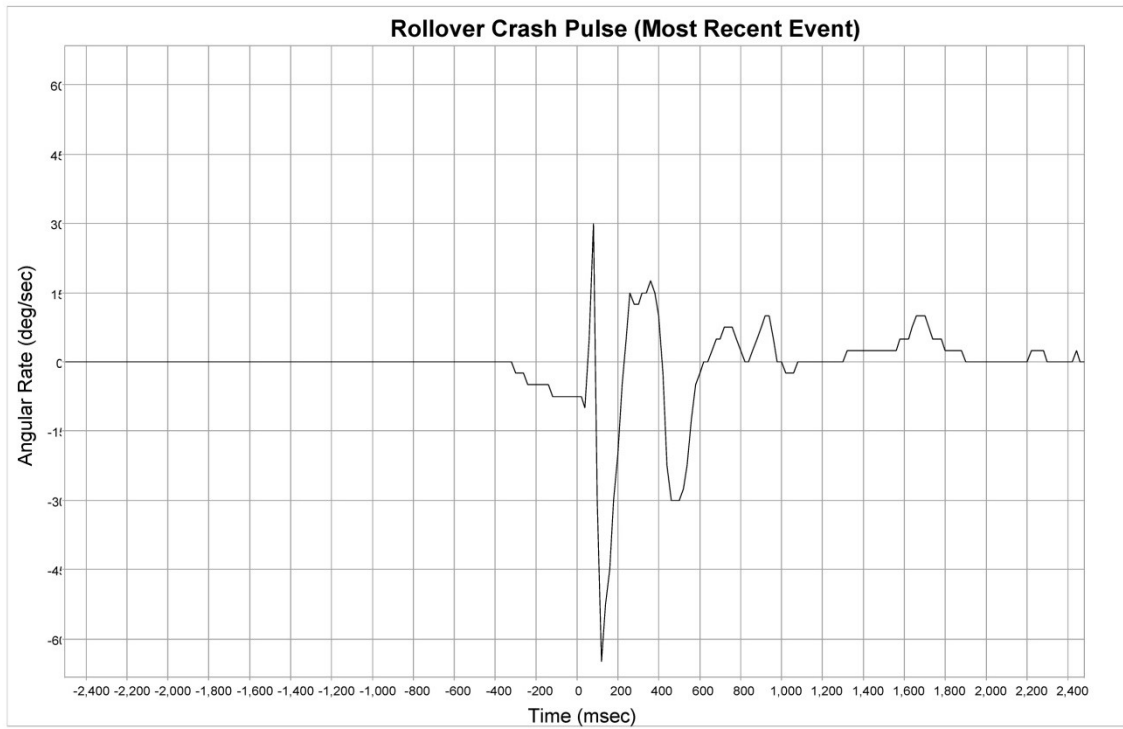
**System Status at Event (Most Recent Event)**

Deployment Data Status	Complete
Complete File Recorded (Yes, No)	Yes
Ignition Cycle, Crash	313
Safety Belt Status, Driver	Buckled
Safety Belt Status, Outboard Front Passenger	Buckled
Frontal Airbag Warning Lamp, On/Off	Off
Seat Track Position Switch, Foremost, Status, Driver	No
Seat Track Position Switch, Foremost, Status, Outboard Front Passenger	Not Present
Maximum Delta-V Longitudinal (MPH [km/h])	-6.8 [-11]
Time, Maximum Delta-V, Longitudinal (msec)	244
Maximum Delta-V Lateral (MPH [km/h])	22.7 [37]
Time, Maximum Delta-V, Lateral (msec)	136
Time, Operation System Time (sec)	551327.65
Time, Airbag Warning Lamp On (min)	0
Number, Event	1
Time from Event 1 to 2 (sec)	N/A
Multi-Event, Number of Events (1,2,3)	1
Number, Total Events	1
Operation Via Energy Reserve Only (Yes, No)	No
System Voltage at Event, Bussed (V)	14.5
Supply Voltage at Event, ECU (V)	14.6
Odometer at Event (miles [km])	7021.5 [11300]
VIN at Event (last 8 digits)	HR*****


**Deployment Command Data (Most Recent Event)**

Frontal Airbag Deployment, 1st Stage, Driver	No
Frontal Airbag Deployment, 2nd Stage, Driver	No
Frontal Airbag Deployment, Time to First Stage Deployment, Driver (msec)	SNA
Frontal Airbag Deployment, Time to 2nd Stage Deployment, Driver (msec)	SNA
Knee Airbag Deployment, Driver	No
Retractor Pretensioner, Driver	Yes
Seatbelt Buckle Pretensioner, Driver	Yes
Frontal Airbag Deployment, 1st Stage, Passenger	No
Frontal Airbag Deployment, 2nd Stage, Passenger	No
Frontal Airbag Deployment, Time to First Stage Deployment, Passenger (msec)	SNA
Frontal Airbag Deployment, Time to 2nd Stage Deployment, Passenger (msec)	SNA
Retractor Pretensioner, Outboard Front Passenger	Yes
Seatbelt Buckle Pretensioner, Outboard Front Passenger	Yes
Side Seat Airbag Deployment, Left	Yes
Side Seat Airbag Deployment, Right	No
Side Curtain Airbag Deployment, Left	Yes
Side Curtain Airbag Deployment, Right	No
Active Headrest Deployment, Driver	No
Active Headrest Deployment, Passenger	No







**Longitudinal Crash Pulse (Most Recent Event)**

Time (msec)	Delta-V, Longitudinal (MPH [km/h])
0	0.0 [0]
2	0.0 [0]
4	0.0 [0]
6	0.0 [0]
8	0.0 [0]
10	-0.5 [-1]
12	0.0 [0]
14	0.0 [0]
16	0.0 [0]
18	-0.5 [-1]
20	0.0 [0]
22	-0.5 [-1]
24	-0.5 [-1]
26	-0.5 [-1]
28	-0.5 [-1]
30	-0.5 [-1]
32	-0.5 [-1]
34	-1.0 [-2]
36	-0.5 [-1]
38	-1.4 [-2]
40	-1.4 [-2]
42	-1.4 [-2]
44	-1.4 [-2]
46	-0.5 [-1]
48	-0.5 [-1]
50	0.0 [0]
52	-0.5 [-1]
54	0.0 [0]
56	-0.5 [-1]
58	-0.5 [-1]
60	-1.0 [-2]
62	-1.0 [-2]
64	-0.5 [-1]
66	-1.4 [-2]
68	-1.4 [-2]
70	-1.4 [-2]
72	-1.4 [-2]
74	-1.4 [-2]
76	-1.4 [-2]
78	-1.4 [-2]
80	-1.9 [-3]
82	-1.9 [-3]
84	-1.9 [-3]
86	-1.9 [-3]
88	-2.4 [-4]
90	-2.4 [-4]
92	-2.4 [-4]
94	-2.4 [-4]
96	-2.9 [-5]
98	-2.9 [-5]

Time (msec)	Delta-V, Longitudinal (MPH [km/h])
100	-2.9 [-5]
102	-2.9 [-5]
104	-3.4 [-5]
106	-2.9 [-5]
108	-3.4 [-5]
110	-2.9 [-5]
112	-3.4 [-5]
114	-3.4 [-5]
116	-3.4 [-5]
118	-3.4 [-5]
120	-3.4 [-5]
122	-3.4 [-5]
124	-3.4 [-5]
126	-3.4 [-5]
128	-3.4 [-5]
130	-3.4 [-5]
132	-3.4 [-5]
134	-3.4 [-5]
136	-3.4 [-5]
138	-3.9 [-6]
140	-3.9 [-6]
142	-3.9 [-6]
144	-3.9 [-6]
146	-3.9 [-6]
148	-3.9 [-6]
150	-3.9 [-6]
152	-4.3 [-7]
154	-4.3 [-7]
156	-4.3 [-7]
158	-4.3 [-7]
160	-4.3 [-7]
162	-4.3 [-7]
164	-4.3 [-7]
166	-4.8 [-8]
168	-4.8 [-8]
170	-4.8 [-8]
172	-4.8 [-8]
174	-4.8 [-8]
176	-4.8 [-8]
178	-4.8 [-8]
180	-5.3 [-9]
182	-5.3 [-9]
184	-5.3 [-9]
186	-5.3 [-9]
188	-5.3 [-9]
190	-5.3 [-9]
192	-5.3 [-9]
194	-5.3 [-9]
196	-5.3 [-9]
198	-5.3 [-9]

Time (msec)	Delta-V, Longitudinal (MPH [km/h])
200	-5.3 [-9]
202	-5.8 [-9]
204	-5.8 [-9]
206	-5.8 [-9]
208	-5.8 [-9]
210	-5.8 [-9]
212	-5.8 [-9]
214	-5.8 [-9]
216	-5.8 [-9]
218	-5.8 [-9]
220	-5.8 [-9]
222	-5.8 [-9]
224	-6.3 [-10]
226	-6.3 [-10]
228	-6.3 [-10]
230	-6.3 [-10]
232	-6.3 [-10]
234	-6.3 [-10]
236	-6.3 [-10]
238	-6.3 [-10]
240	-6.3 [-10]
242	-6.3 [-10]
244	-6.8 [-11]
246	0.0 [0]
248	0.0 [0]
250	0.0 [0]
252	0.0 [0]
254	0.0 [0]
256	0.0 [0]
258	0.0 [0]
260	0.0 [0]
262	0.0 [0]
264	0.0 [0]
266	0.0 [0]
268	0.0 [0]
270	0.0 [0]
272	0.0 [0]
274	0.0 [0]
276	0.0 [0]
278	0.0 [0]
280	0.0 [0]
282	0.0 [0]
284	0.0 [0]
286	0.0 [0]
288	0.0 [0]
290	0.0 [0]
292	0.0 [0]
294	0.0 [0]
296	0.0 [0]
298	0.0 [0]
300	0.0 [0]



**Lateral Crash Pulse (Most Recent Event)**

Time (msec)	Delta-V, Lateral (MPH [km/h])	Time (msec)	Delta-V, Lateral (MPH [km/h])	Time (msec)	Delta-V, Lateral (MPH [km/h])
0	0.0 [0]	100	21.7 [35]	200	22.7 [37]
2	0.5 [1]	102	21.7 [35]	202	22.7 [37]
4	1.0 [2]	104	21.7 [35]	204	22.2 [36]
6	1.4 [2]	106	22.2 [36]	206	22.2 [36]
8	1.9 [3]	108	22.2 [36]	208	22.2 [36]
10	2.4 [4]	110	22.2 [36]	210	22.2 [36]
12	2.4 [4]	112	22.2 [36]	212	22.2 [36]
14	2.9 [5]	114	22.2 [36]	214	22.2 [36]
16	3.4 [5]	116	22.2 [36]	216	22.2 [36]
18	3.9 [6]	118	22.2 [36]	218	22.2 [36]
20	3.9 [6]	120	22.2 [36]	220	22.2 [36]
22	4.3 [7]	122	22.2 [36]	222	21.7 [35]
24	4.8 [8]	124	22.2 [36]	224	21.7 [35]
26	4.8 [8]	126	22.2 [36]	226	21.7 [35]
28	5.3 [9]	128	22.2 [36]	228	21.7 [35]
30	5.8 [9]	130	22.2 [36]	230	21.7 [35]
32	5.8 [9]	132	22.2 [36]	232	21.7 [35]
34	6.8 [11]	134	22.2 [36]	234	21.7 [35]
36	7.2 [12]	136	22.7 [37]	236	21.7 [35]
38	8.7 [14]	138	22.7 [37]	238	22.2 [36]
40	9.7 [16]	140	22.7 [37]	240	22.2 [36]
42	10.6 [17]	142	22.7 [37]	242	22.2 [36]
44	11.6 [19]	144	22.7 [37]	244	22.2 [36]
46	12.1 [19]	146	22.7 [37]	246	0.0 [0]
48	13.0 [21]	148	22.7 [37]	248	0.0 [0]
50	13.5 [22]	150	22.7 [37]	250	0.0 [0]
52	14.5 [23]	152	22.7 [37]	252	0.0 [0]
54	15.0 [24]	154	22.7 [37]	254	0.0 [0]
56	15.0 [24]	156	22.7 [37]	256	0.0 [0]
58	15.9 [26]	158	22.7 [37]	258	0.0 [0]
60	16.4 [26]	160	22.7 [37]	260	0.0 [0]
62	16.9 [27]	162	22.7 [37]	262	0.0 [0]
64	17.4 [28]	164	22.7 [37]	264	0.0 [0]
66	17.9 [29]	166	22.7 [37]	266	0.0 [0]
68	18.3 [30]	168	22.7 [37]	268	0.0 [0]
70	18.8 [30]	170	22.7 [37]	270	0.0 [0]
72	19.3 [31]	172	22.7 [37]	272	0.0 [0]
74	19.8 [32]	174	22.7 [37]	274	0.0 [0]
76	20.3 [33]	176	22.7 [37]	276	0.0 [0]
78	20.3 [33]	178	22.7 [37]	278	0.0 [0]
80	20.3 [33]	180	22.7 [37]	280	0.0 [0]
82	20.3 [33]	182	22.7 [37]	282	0.0 [0]
84	20.8 [33]	184	22.7 [37]	284	0.0 [0]
86	21.2 [34]	186	22.7 [37]	286	0.0 [0]
88	21.2 [34]	188	22.7 [37]	288	0.0 [0]
90	21.2 [34]	190	22.7 [37]	290	0.0 [0]
92	21.2 [34]	192	22.7 [37]	292	0.0 [0]
94	21.2 [34]	194	22.7 [37]	294	0.0 [0]
96	21.2 [34]	196	22.7 [37]	296	0.0 [0]
98	21.2 [34]	198	22.7 [37]	298	0.0 [0]
				300	0.0 [0]



**Rollover Crash Pulse (Most Recent Event) (if equipped)**

Time (msec)	Angular Rate (deg/sec)	Time (msec)	Angular Rate (deg/sec)	Time (msec)	Angular Rate (deg/sec)
-2500	0.00	-1500	0.00	-500	0.00
-2480	0.00	-1480	0.00	-480	0.00
-2460	0.00	-1460	0.00	-460	0.00
-2440	0.00	-1440	0.00	-440	0.00
-2420	0.00	-1420	0.00	-420	0.00
-2400	0.00	-1400	0.00	-400	0.00
-2380	0.00	-1380	0.00	-380	0.00
-2360	0.00	-1360	0.00	-360	0.00
-2340	0.00	-1340	0.00	-340	0.00
-2320	0.00	-1320	0.00	-320	0.00
-2300	0.00	-1300	0.00	-300	-2.50
-2280	0.00	-1280	0.00	-280	-2.50
-2260	0.00	-1260	0.00	-260	-2.50
-2240	0.00	-1240	0.00	-240	-5.00
-2220	0.00	-1220	0.00	-220	-5.00
-2200	0.00	-1200	0.00	-200	-5.00
-2180	0.00	-1180	0.00	-180	-5.00
-2160	0.00	-1160	0.00	-160	-5.00
-2140	0.00	-1140	0.00	-140	-5.00
-2120	0.00	-1120	0.00	-120	-7.50
-2100	0.00	-1100	0.00	-100	-7.50
-2080	0.00	-1080	0.00	-80	-7.50
-2060	0.00	-1060	0.00	-60	-7.50
-2040	0.00	-1040	0.00	-40	-7.50
-2020	0.00	-1020	0.00	-20	-7.50
-2000	0.00	-1000	0.00	0	-7.50
-1980	0.00	-980	0.00	20	-7.50
-1960	0.00	-960	0.00	40	-10.00
-1940	0.00	-940	0.00	60	5.00
-1920	0.00	-920	0.00	80	30.00
-1900	0.00	-900	0.00	100	-30.00
-1880	0.00	-880	0.00	120	-65.00
-1860	0.00	-860	0.00	140	-52.50
-1840	0.00	-840	0.00	160	-45.00
-1820	0.00	-820	0.00	180	-30.00
-1800	0.00	-800	0.00	200	-20.00
-1780	0.00	-780	0.00	220	-5.00
-1760	0.00	-760	0.00	240	5.00
-1740	0.00	-740	0.00	260	15.00
-1720	0.00	-720	0.00	280	12.50
-1700	0.00	-700	0.00	300	12.50
-1680	0.00	-680	0.00	320	15.00
-1660	0.00	-660	0.00	340	15.00
-1640	0.00	-640	0.00	360	17.50
-1620	0.00	-620	0.00	380	15.00
-1600	0.00	-600	0.00	400	10.00
-1580	0.00	-580	0.00	420	-2.50
-1560	0.00	-560	0.00	440	-22.50
-1540	0.00	-540	0.00	460	-30.00
-1520	0.00	-520	0.00	480	-30.00

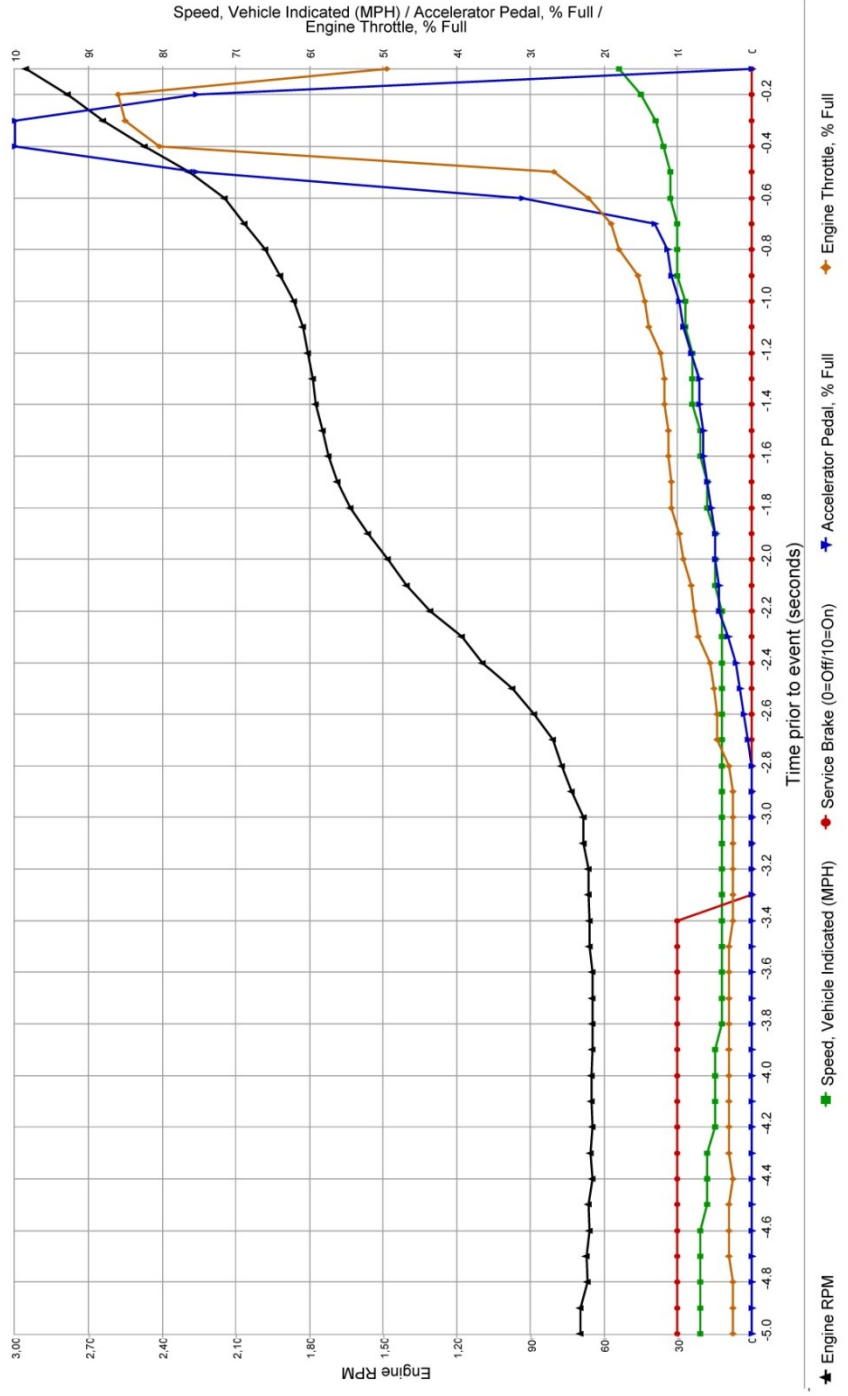


**Rollover Crash Pulse (Most Recent Event) (if equipped)**

Time (msec)	Angular Rate (deg/sec)	Time (msec)	Angular Rate (deg/sec)
500	-30.00	1500	2.50
520	-27.50	1520	2.50
540	-22.50	1540	2.50
560	-12.50	1560	2.50
580	-5.00	1580	5.00
600	-2.50	1600	5.00
620	0.00	1620	5.00
640	0.00	1640	7.50
660	2.50	1660	10.00
680	5.00	1680	10.00
700	5.00	1700	10.00
720	7.50	1720	7.50
740	7.50	1740	5.00
760	7.50	1760	5.00
780	5.00	1780	5.00
800	2.50	1800	2.50
820	0.00	1820	2.50
840	0.00	1840	2.50
860	2.50	1860	2.50
880	5.00	1880	2.50
900	7.50	1900	0.00
920	10.00	1920	0.00
940	10.00	1940	0.00
960	5.00	1960	0.00
980	0.00	1980	0.00
1000	0.00	2000	0.00
1020	-2.50	2020	0.00
1040	-2.50	2040	0.00
1060	-2.50	2060	0.00
1080	0.00	2080	0.00
1100	0.00	2100	0.00
1120	0.00	2120	0.00
1140	0.00	2140	0.00
1160	0.00	2160	0.00
1180	0.00	2180	0.00
1200	0.00	2200	0.00
1220	0.00	2220	2.50
1240	0.00	2240	2.50
1260	0.00	2260	2.50
1280	0.00	2280	2.50
1300	0.00	2300	0.00
1320	2.50	2320	0.00
1340	2.50	2340	0.00
1360	2.50	2360	0.00
1380	2.50	2380	0.00
1400	2.50	2400	0.00
1420	2.50	2420	0.00
1440	2.50	2440	2.50
1460	2.50	2460	0.00
1480	2.50	2480	0.00



Pre-Crash Data (Most Recent Event)



SNA values will not be plotted on the graph

**Приложение Б**  
**(Пример отчета EDR по проекту NASS)**

Шестнадцатеричный код и листы с пропусками записи данных – удалены.



IMPORTANT NOTICE: Robert Bosch LLC and the manufacturers whose vehicles are accessible using the CDR System urge end users to use the latest production release of the Crash Data Retrieval system software when viewing, printing or exporting any retrieved data from within the CDR program. Using the latest version of the CDR software is the best way to ensure that retrieved data has been translated using the most current information provided by the manufacturers of the vehicles supported by this product.

### CDR File Information

User Entered VIN	JTEBU5JR8A5*****
User	
Case Number	
EDR Data Imaging Date	
Crash Date	
Filename	2013-75-103-V2.CDRX
Saved on	
Collected with CDR version	Crash Data Retrieval Tool 12.1
Reported with CDR version	Crash Data Retrieval Tool 13.0
EDR Device Type	Airbag Control Module
Event(s) recovered	Front/Rear (2), Rollover (2)

### Comments

### Data Limitations

#### CDR Record Information:

- Due to limitations of the data recorded by the airbag ECU, such as the resolution, data range, sampling interval, time period of the recording, and the items recorded, the information provided by this data may not be sufficient to capture the entire crash.
- Pre-Crash data is recorded in discrete intervals. Due to different refresh rates within the vehicle's electronics, the data recorded may not be synchronous to each other.
- Airbag ECU data should be used in conjunction with other physical evidence obtained from the vehicle and the surrounding circumstances.
- If the airbags did not deploy or the pretensioners did not operate during an event that meets a specified recording threshold, it is called a Non-Deployment Event. Data from a Non-Deployment Event can be overwritten by a succeeding event that meets the specified recording threshold. If the airbag(s) deploy or the pretensioners are operated, it is called a Deployment Event. Deployment Event data cannot be overwritten or deleted by the airbag ECU following that event.
- If power supply to the airbag ECU is lost during an event, all or part of the data may not be recorded.
- "Diagnostic Trouble Codes" are information about faults when a recording trigger is established. Various diagnostic trouble codes could be set and recorded due to component or system damage during an accident.
- The airbag ECU records only diagnostic information related to the airbag system. It does not record diagnostic information related to other vehicle systems.
- The TaSCAN, Global TechStream, or Intelligent Tester II devices (or any other Toyota genuine diagnostic tool) can be used to obtain detailed information on the diagnostic trouble codes from the airbag system, as well as diagnostic information from other systems. However, in some cases, the diagnostic trouble codes of the airbag system recorded by the airbag ECU when the event occurred may not match the diagnostic trouble codes read out when the diagnostic tool is used.

#### General Information:

- The data recording specifications of Toyota's airbag ECUs are divided into the following seven categories. The specifications for 12EDR or later are designed to be compatible with NHTSA's 49CFR Part 563 rule.
  - 00EDR / 02EDR / 04EDR / 06EDR / 10EDR / 12EDR / 13EDR
- The airbag ECU records data for all or some of the following accident types: frontal crash, rear crash, side crash, and rollover events. Depending on the installed airbag ECU, data for side crash and/or rollover events may not be recorded.
- This airbag ECU records post-crash data, and depending on the airbag ECU, may record pre-crash data.
  - If a single event occurs independently, the data for that event is recorded on a one-to-one basis.
  - If multiple events occur successively (within a period of approximately 500ms), the establishment of the recording trigger for the first event is defined as the "pre-crash recording trigger". Pre-crash data for the first event and post-crash data for each successive event is then recorded.
- The airbag ECU has two recording pages (memory maps) to store pre-crash data. Additionally, to store post-crash data, the airbag ECU has two recording pages for each accident type: two pages for frontal and rear crash, two pages for a side crash, and two pages for rollover event.
- The data recorded by the airbag ECU includes correlating information between each previously occurring event (i.e., information that clarifies the collision event sequence. This correlation information consists of the following items.
  - Time from Previous Pre-Crash TRG



- Linked Pre-Crash Page
- Time from Pre-Crash TRG
- TRG Count
- Previous Crash Type
- The point in time at which the recording trigger is established is regarded as time zero for the recorded data.
- The recording trigger judgment threshold value differs depending on the collision type (i.e., frontal crash, rear crash, side crash, or rollover event).
- Time series data for side crash may have 24 or 25 sampling points.
- Some of the data recorded by the airbag ECU is transmitted to the airbag ECU from various vehicle control modules by the vehicle's Controller Area Network (CAN).
- In some cases, the airbag ECU part number printed on the ECU label may not match the airbag ECU part number that the CDR tool reports. The part number retrieved by the CDR tool should be considered as the official ECU part number.

**Data Element Sign Convention:**

The following table provides an explanation of the sign notation for data elements that may be included in this CDR report.

Data Element Name	Positive Sign Notation Indicates
Max. Longitudinal Delta-V	Forward
Longitudinal Delta-V	Forward
Max. Lateral Delta-V , B-Pillar Sensor	Outside to Inside
Max. Lateral Delta-V , C-Pillar Sensor	Outside to Inside
Max. Lateral Delta-V , Front Door Sensor	Outside to Inside
Max. Lateral Delta-V , Slide Door Sensor	Outside to Inside
Lateral Delta-V , B-Pillar Sensor	Outside to Inside
Lateral Delta-V , C-Pillar Sensor	Outside to Inside
Lateral Delta-V , Airbag ECU Sensor	Left to Right
Roll Angle Peak	Clockwise Rotation
Roll Angle	Clockwise Rotation
Lateral Acceleration , Airbag ECU Sensor *	Right to Left

\* For sensing a rollover

**Data Definitions:**

1)

- The "ON" setting for the "Freeze Signal" indicates a state in which the non-volatile memory can not be overwritten or deleted by the airbag ECU. After "Freeze Signal" has been turned ON, subsequent events will not be recorded.
- "Recording Status" indicates a state in which all recorded event data has been written into the non-volatile memory, or a state in which this process was interrupted and not fully written into the non-volatile memory. If "Recording Status" is "Incomplete", recorded event data may not be valid.
- "Time to Deployment Command" indicates the time between recording trigger establishment and the determination of airbag deployment. This value may differ from the actual time it takes for the airbag to fully deploy.
- Even if an airbag/pretensioner did not deploy due to the "front passenger airbag disable switch and/or "RSCA Disable Switch" in the ON position or other disabling criteria are met, the "Time to deployment command" data element for that airbag/pretensioner may still be recorded.
- "Engine RPM" indicates the number of engine revolutions, not the number of motor revolutions. The recorded value has an upper limit of 5,200 rpm. Resolution is 400 rpm and the value is rounded down and recorded. For example, if the actual engine speed is 799 rpm, the recorded value will be 400 rpm.
- The upper limit for the recorded "Vehicle Speed" value is 122 km/h (75.8mph). Resolution is 2km/h (1.2mph) and the value is rounded down and recorded. The accuracy of the "Vehicle Speed" value can be affected by various factors. These include, but not limited, to the following.
  - Significant changes in the tire's rolling radius
  - Wheel lock and wheel slip
- "Accelerator Rate" has two recording specifications. Both the recorded value increases as the driver depresses the accelerator.
  - Percentage of accelerator pedal depressed (recorded as 0-100(%)).
  - Output voltage of accelerator pedal module (recorded as 0-5(V)).
- The "Drive" setting for the "Shift Position" value indicates the shift position state is other than "R,"(Reverse), "N" (Neutral), or "P" (Park).
- Depending on the type of occupant sensor installed in the vehicle, one of the following four recording formats for "Occupancy Status, Passenger" will be utilized.
  - Occupied / Not Occupied
  - Adult / Child / Not Occupied
  - AM50 / AF05 / Child / Not Occupied
  - AM50 / AF05 / Child or Not Occupied
- Resolution of the "Air Bag Warning Lamp ON Time Since DTC was Set" is 15 minutes, and the value is rounded down and recorded.
- "Longitudinal Delta-V" indicates the change in forward speed after establishment of the recording trigger. This does not refer to vehicle speed, and it does not include the change in speed during the period from the start of the actual collision to establishment of the recording trigger.
- "Roll Angle peak" may not always match the peak value within the "Roll Angle" sampling points due to differences in data calculation



method.

- For "Lateral Delta-V", the sensor location (B-pillar, front door, C-pillar, and slide door) shows the outline of a typical sensor position. Sensory location can be confirmed using the repair manual.
- "Time from Previous Pre-Crash TRG" indicates the time between the establishment of an event's pre-crash recording trigger to the establishment of a more recent event's pre-crash recording trigger. The upper limit for the recorded value is 16,381 milliseconds. In the event of establishment of the first pre-crash recording trigger after the ignition is switched ON, the upper limit value(max value) is recorded.
- "TRG Count" indicates a calculated value of the number of times recording triggers have been established for all crash types. The sequence in which each event occurred can be verified from the "TRG Count". The smaller the "TRG Count" value, the older the data. The upper limit for the recorded value is 65,533 times. When more than one event reaches the upper limit, the actual "TRG Count" may be greater than what is displayed for that event.
- "Linked Pre-Crash Page" is used to link 'paged" pre-crash data with 'paged" post-crash data. When old pre-crash data is overwritten by new pre-crash data, the "Linked Pre-Crash Page" value may record a page number that is not actually linked.
- Resolution of the "Time from Pre-Crash to TRG" is 100 [ms], and the value is rounded down and recorded.

05006\_ToyotaDENSO\_r022



**System Status at Time of Retrieval**

ECU Part Number	89170-35250
ECU Generation	06EDR
Recording Status, All Pages	Complete
Freeze Signal	ON
Freeze Signal Factor	Front Airbag Deployment Front Pretensioner Deployment
Diagnostic Trouble Codes Exist	No
Time from Previous Pre Crash TRG (msec)	16381 or greater
Latest Pre-Crash Page	1
Contains Unlinked Pre-Crash Data	No

**Event Record Summary at Retrieval**

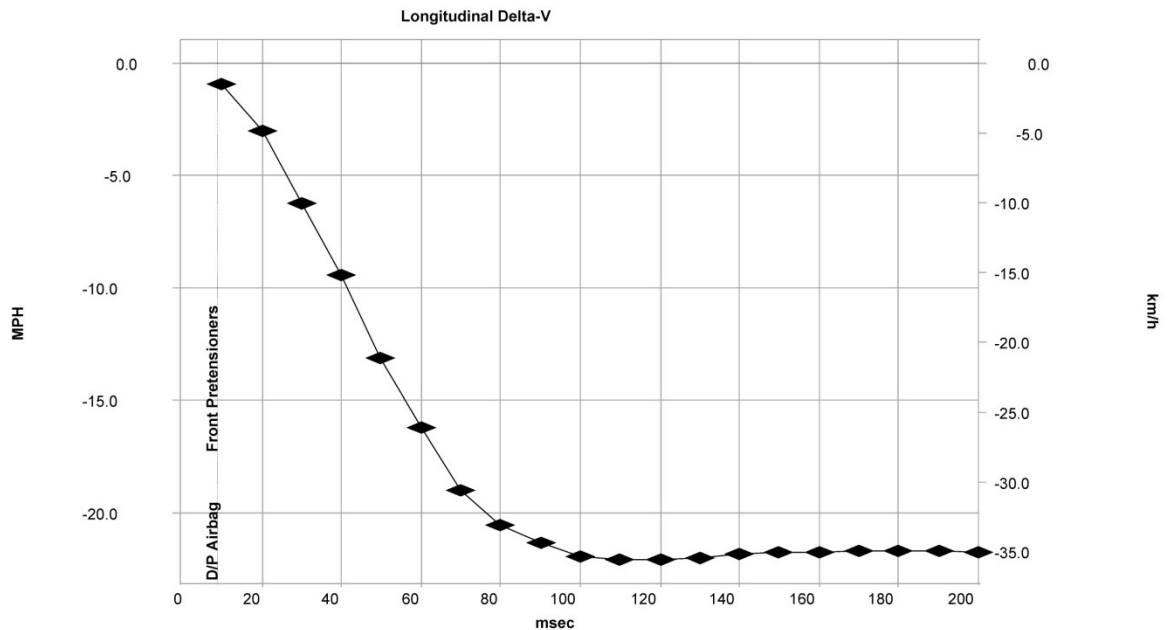
Events Recorded	TRG Count	Crash Type	Time (msec)	Pre-Crash & DTC Data Recording Status	Event & Crash Pulse Data Recording Status
Most Recent Event	6	Front/Rear Crash	0	Complete (Page 1)	Complete (Front/Rear Page 1)
1st Prior Event	5	Front/Rear Crash	-16381 or greater	Complete (Page 0)	Complete (Front/Rear Page 0)
2nd Prior Event	4	Rollover	N/A	N/A	Complete (Rollover Page 1)
3rd Prior Event	3	Rollover	N/A	N/A	Complete (Rollover Page 0)

**System Status at Event (Most Recent Event, TRG 6)**

Recording Status, Front/Rear Crash Info.	Complete
Crash Type	Front/Rear Crash
TRG Count (times)	6
Previous Crash Type	No Event
Time from Pre-Crash TRG (msec)	0
Linked Pre-Crash Page	1
Time to Deployment Command, Front Airbag, Driver (msec)	9
Time to Deployment Command, Front Airbag, Passenger (msec)	9
Event Severity Status, Driver	Level 3
Event Severity Status, Passenger	Level 3
Time to Deployment Command, Pretensioner (msec)	9

**Longitudinal Crash Pulse (Most Recent Event, TRG 6 - table 1 of 2)**

Recording Status, Time Series Data	Complete
Max Longitudinal Delta-V (MPH [km/h])	-22.1 [-35.6]




**Longitudinal Crash Pulse (Most Recent Event, TRG 6 - table 2 of 2)**

Time (msec)	Longitudinal Delta-V (MPH [km/h])
10	-0.9 [-1.5]
20	-3.0 [-4.8]
30	-6.3 [-10.1]
40	-9.4 [-15.2]
50	-13.1 [-21.1]
60	-16.2 [-26.1]
70	-19.0 [-30.6]
80	-20.6 [-33.1]
90	-21.3 [-34.3]
100	-21.9 [-35.3]
110	-22.1 [-35.6]
120	-22.1 [-35.6]
130	-22.0 [-35.4]
140	-21.9 [-35.2]
150	-21.8 [-35.0]
160	-21.8 [-35.0]
170	-21.7 [-34.9]
180	-21.7 [-34.9]
190	-21.7 [-34.9]
200	-21.8 [-35.0]

**DTCs Present at Time of Event (Most Recent Event, TRG 6)**

Recording Status, Diagnostic	Complete
Ignition Cycle Since DTC was Set (times)	0
Airbag Warning Lamp ON Time Since DTC was Set (min)	0
Diagnostic Trouble Codes	None

**Pre-Crash Data, 1 Sample (Most Recent Event, TRG 6)**

Recording Status, Pre-Crash/Occupant	Complete
Time from Pre-Crash to TRG (msec)	300
Buckle Switch, Left Seat	Buckled
Buckle Switch, Right Seat	Buckled
Occupancy Status, Passenger	AF05
RSCA Disable Switch	OFF
Shift Position	Drive

**Pre-Crash Data, -5 to 0 seconds (Most Recent Event, TRG 6)**

Time (sec)	-4.3	-3.3	-2.3	-1.3	-0.3	0 (TRG)
Vehicle Speed (MPH [km/h])	37.3 [60]	36 [58]	36 [58]	34.8 [56]	29.8 [48]	27.3 [44]
Brake Switch	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON
Accelerator Rate (V)	1.09	1.17	1.05	1.05	0.78	0.78
Engine RPM (RPM)	800	800	800	800	800	800

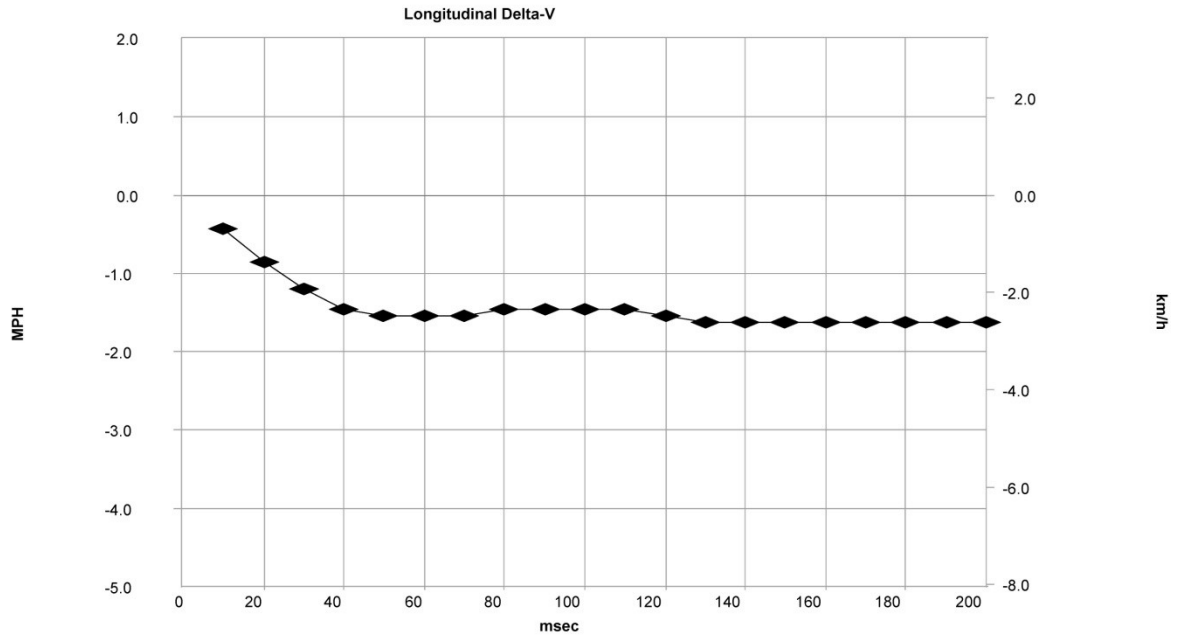
**System Status at Event (1st Prior Event, TRG 5)**

Recording Status, Front/Rear Crash Info.	Complete
Crash Type	Front/Rear Crash
TRG Count (times)	5
Previous Crash Type	No Event
Time from Pre-Crash TRG (msec)	0
Linked Pre-Crash Page	0
Time to Deployment Command, Front Airbag, Driver (msec)	Not Commanded
Time to Deployment Command, Front Airbag, Passenger (msec)	Not Commanded
Event Severity Status, Driver	N/A
Event Severity Status, Passenger	N/A
Time to Deployment Command, Pretensioner (msec)	Not Commanded



**Longitudinal Crash Pulse (1st Prior Event, TRG 5 - table 1 of 2)**

Recording Status, Time Series Data	Complete
Max Longitudinal Delta-V (MPH [km/h])	-1.6 [-2.6]



**Longitudinal Crash Pulse (1st Prior Event, TRG 5 - table 2 of 2)**

Time (msec)	Longitudinal Delta-V (MPH [km/h])
10	-0.4 [-0.7]
20	-0.9 [-1.4]
30	-1.2 [-1.9]
40	-1.5 [-2.3]
50	-1.5 [-2.5]
60	-1.5 [-2.5]
70	-1.5 [-2.5]
80	-1.5 [-2.3]
90	-1.5 [-2.3]
100	-1.5 [-2.3]
110	-1.5 [-2.3]
120	-1.5 [-2.5]
130	-1.6 [-2.6]
140	-1.6 [-2.6]
150	-1.6 [-2.6]
160	-1.6 [-2.6]
170	-1.6 [-2.6]
180	-1.6 [-2.6]
190	-1.6 [-2.6]
200	-1.6 [-2.6]



### DTCs Present at Time of Event (1st Prior Event, TRG 5)

Recording Status, Diagnostic	Complete
Ignition Cycle Since DTC was Set (times)	0
Airbag Warning Lamp ON Time Since DTC was Set (min)	0
Diagnostic Trouble Codes	None

### Pre-Crash Data, 1 Sample (1st Prior Event, TRG 5)

Recording Status, Pre-Crash/Occupant	Complete
Time from Pre-Crash to TRG (msec)	100
Buckle Switch, Left Seat	Buckled
Buckle Switch, Right Seat	Unbuckled
Occupancy Status, Passenger	Not Occupied
RSCA Disable Switch	OFF
Shift Position	Drive

### Pre-Crash Data, -5 to 0 seconds (1st Prior Event, TRG 5)

Time (sec)	-4.1	-3.1	-2.1	-1.1	-0.1	0 (TRG)
Vehicle Speed (MPH [km/h])	0 [0]	0 [0]	0 [0]	3.7 [6]	7.5 [12]	7.5 [12]
Brake Switch	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON
Accelerator Rate (V)	0.78	0.78	1.05	1.05	1.29	0.78
Engine RPM (RPM)	400	400	800	1,200	1,200	1,200

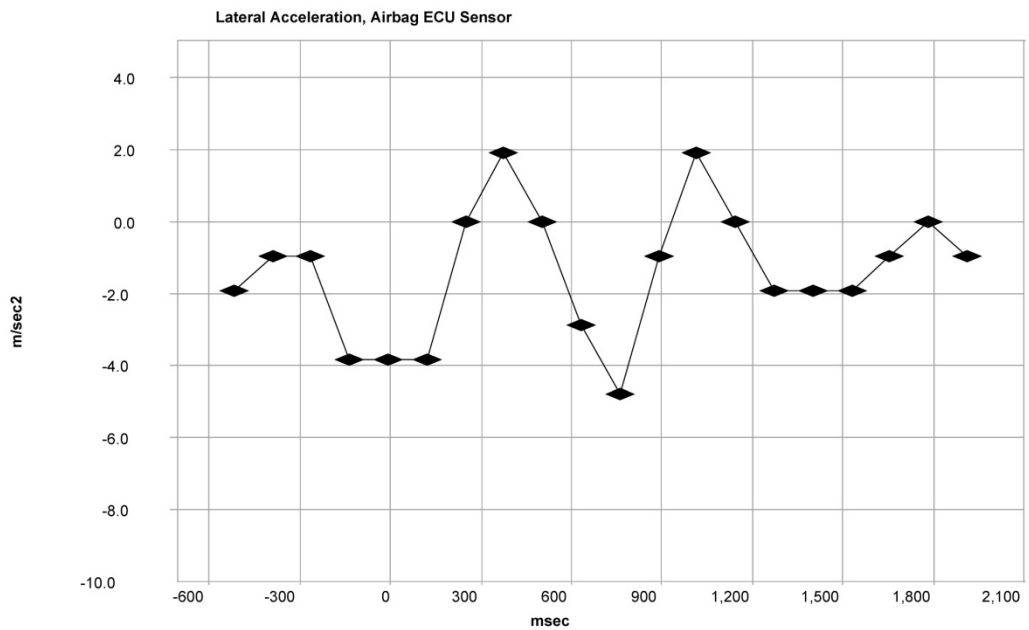
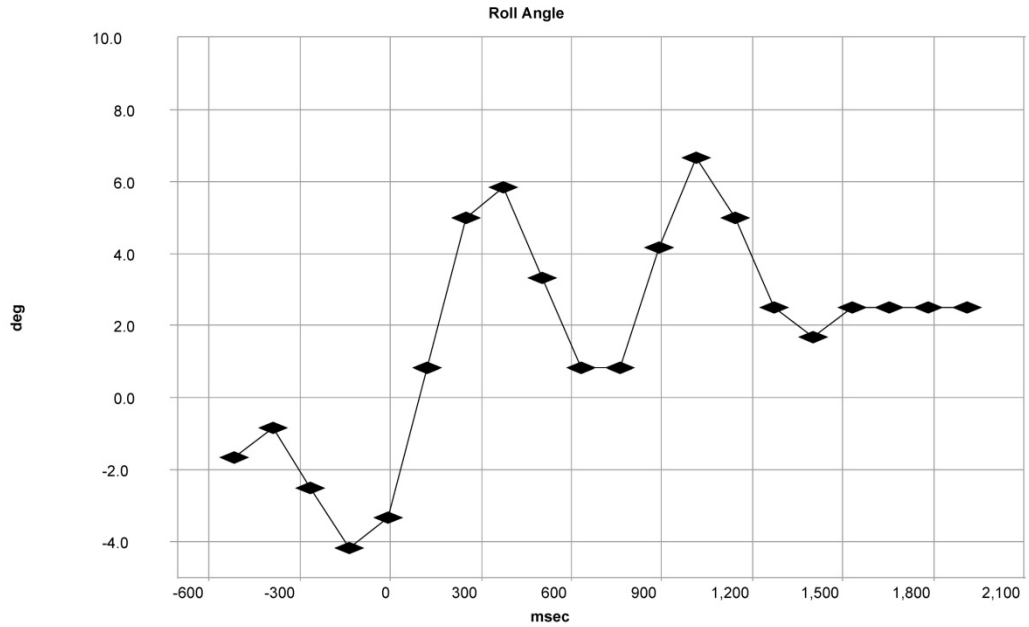
### System Status at Event (2nd Prior Event, TRG 4)

Recording Status, Rollover Crash Info.	Complete
Crash Type	Rollover
TRG Count (times)	4
Previous Crash Type	No Event
Time from Pre-Crash TRG (msec)	0
Linked Pre-Crash Page	1
Time to Deployment Command, Rollover Airbag (msec)	Not Commanded



**Rollover Crash Pulse (2nd Prior Event, TRG 4 - table 1 of 2)**

Recording Status, Time Series Data	Complete
Time from TRG to Next Sample (msec)	120
Roll Angle Peak (degrees)	7.1




**Rollover Crash Pulse (2nd Prior Event, TRG 4 - table 2 of 2)**

Time (msec)	Roll Angle (degrees)	Lateral Acceleration, Airbag ECU Sensor (m/sec <sup>2</sup> )
-520	-1.7	-1.9
-392	-0.8	-1.0
-264	-2.5	-1.0
-136	-4.2	-3.8
-8	-3.3	-3.8
120	0.8	-3.8
248	5.0	0.0
376	5.8	1.9
504	3.3	0.0
632	0.8	-2.9
760	0.8	-4.8
888	4.2	-1.0
1016	6.7	1.9
1144	5.0	0.0
1272	2.5	-1.9
1400	1.7	-1.9
1528	2.5	-1.9
1656	2.5	-1.0
1784	2.5	0.0
1912	2.5	-1.0

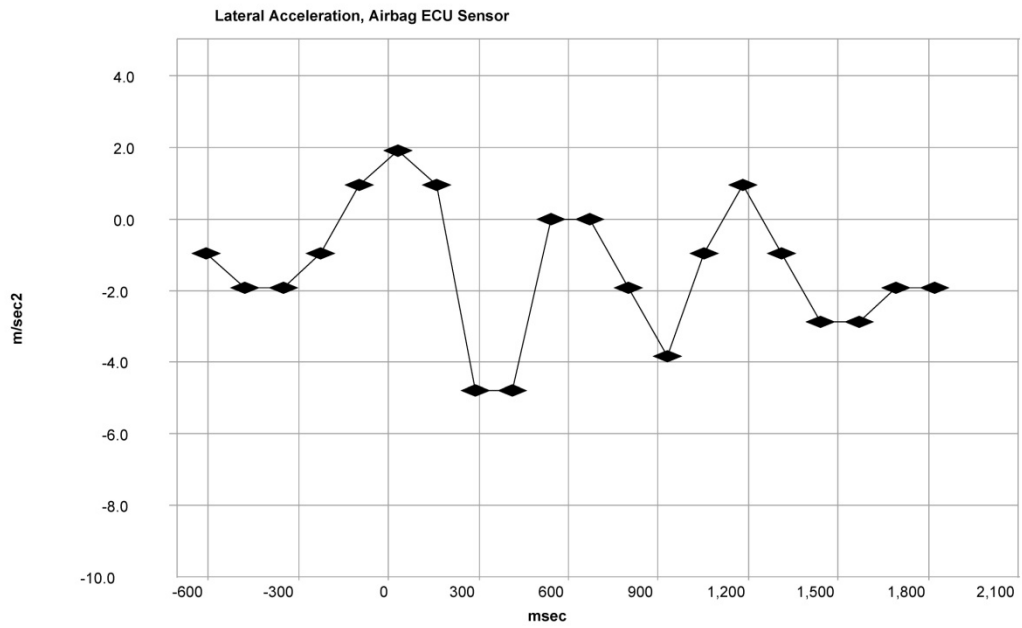
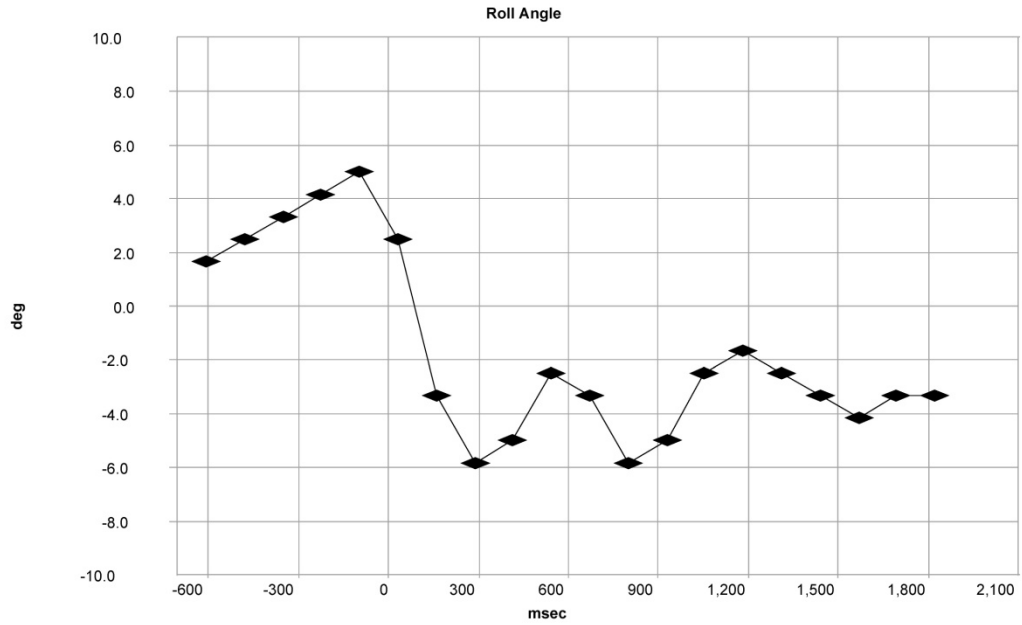
**System Status at Event (3rd Prior Event, TRG 3)**

Recording Status, Rollover Crash Info.	Complete
Crash Type	Rollover
TRG Count (times)	3
Previous Crash Type	Rollover
Time from Pre-Crash TRG (msec)	0
Linked Pre-Crash Page	0
Time to Deployment Command, Rollover Airbag (msec)	Not Commanded



**Rollover Crash Pulse (3rd Prior Event, TRG 3 - table 1 of 2)**

Recording Status, Time Series Data	Complete
Time from TRG to Next Sample (msec)	31
Roll Angle Peak (degrees)	-6.0




**Rollover Crash Pulse (3rd Prior Event, TRG 3 - table 2 of 2)**

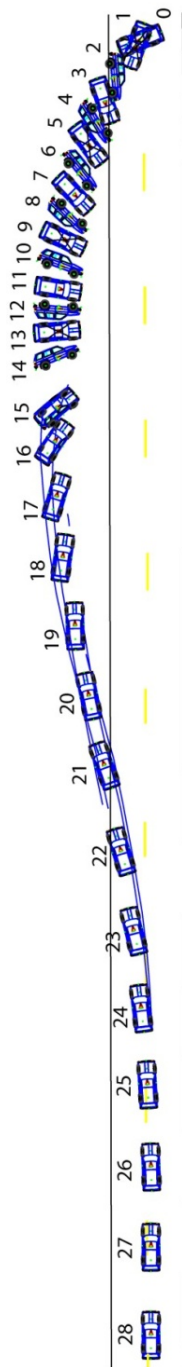
Time (msec)	Roll Angle (degrees)	Lateral Acceleration, Airbag ECU Sensor (m/sec <sup>2</sup> )
-609	1.7	-1.0
-481	2.5	-1.9
-353	3.3	-1.9
-225	4.2	-1.0
-97	5.0	1.0
31	2.5	1.9
159	-3.3	1.0
287	-5.8	-4.8
415	-5.0	-4.8
543	-2.5	0.0
671	-3.3	0.0
799	-5.8	-1.9
927	-5.0	-3.8
1055	-2.5	-1.0
1183	-1.7	1.0
1311	-2.5	-1.0
1439	-3.3	-2.9
1567	-4.2	-2.9
1695	-3.3	-1.9
1823	-3.3	-1.9

**Приложение В**

**(Типовой полигонный тест на опрокидывание ТС с выбросом манекена)**

## Типовой полигонный тест на опрокидывание ТС с выбросом манекена

Таблица В.1 – позиции и координаты теста



Положение на схеме	x (м)	y (м)	f (град)	Число оборотов
0 (КПОИ)	0,0	0,0	111,3	3,5
1	-0,6	0,2	159,7	3,5
2	-3,4	2,2	-175,2	3,25
3	-5,6	3,1	-161,2	3
4	-7,4	3,8	-147,9	2,75
5	-9,5	4,5	-143,7	2,5
6	-12,0	5,4	-140,4	2,25
7	-14,0	5,9	-135,8	2
8	-15,9	6,3	-133,2	1,75
9	-18,1	6,8	-115,4	1,5
10	-20,4	7,1	-109,4	1,25
11	-22,5	7,3	-99	1
12	-24,3	7,3	-93,9	0,75
13	-26,4	7,4	-85,5	0,5
14	-28,7	7,4	-68,5	0,25
15	-33,2	7,5	-50,9	0
16	-36,3	7,7	-35,4	0
17	-41,2	7,6	-16,7	0
18	-46,7	7,0	-7,8	0
19	-53,0	5,9	1,6	0
20	-59,3	4,6	11,7	0
21	-65,6	3,2	19,5	0
22	-73,5	1,6	17	0
23	-80,7	0,5	13,8	0
24	-87,7	-0,2	7	0
25	-94,7	-0,8	3,4	0
26	-102,1	-1,2	2,1	0
27	-109,4	-1,2	0,3	0
28 (старт)	-117,4	-1,2	0,3	0

Результаты обработки данных по каналам записи, выполненных в ходе теста

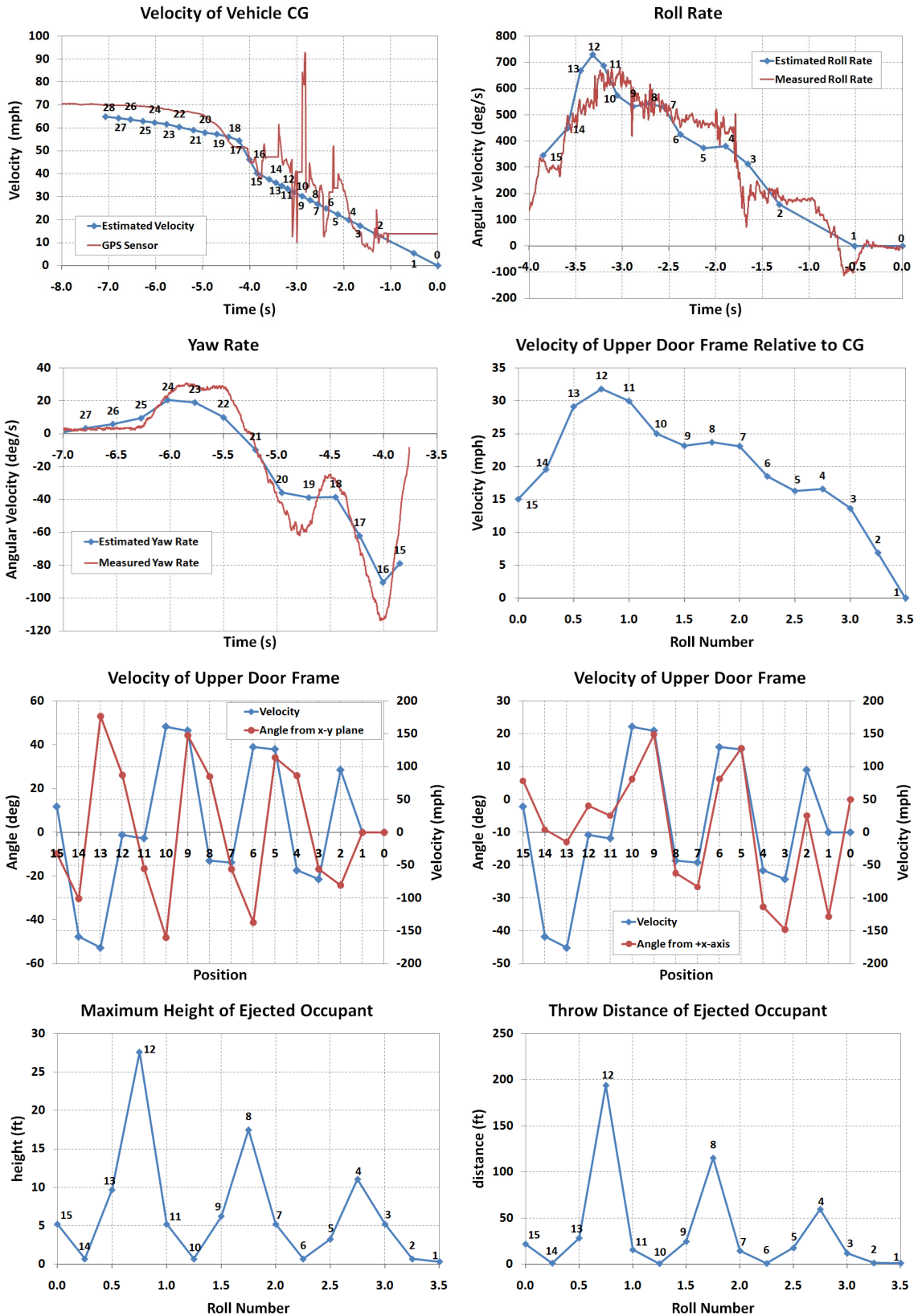


Рисунок В.1 – графики полученные по тесту, включая высоту и дальность выброса пассажира

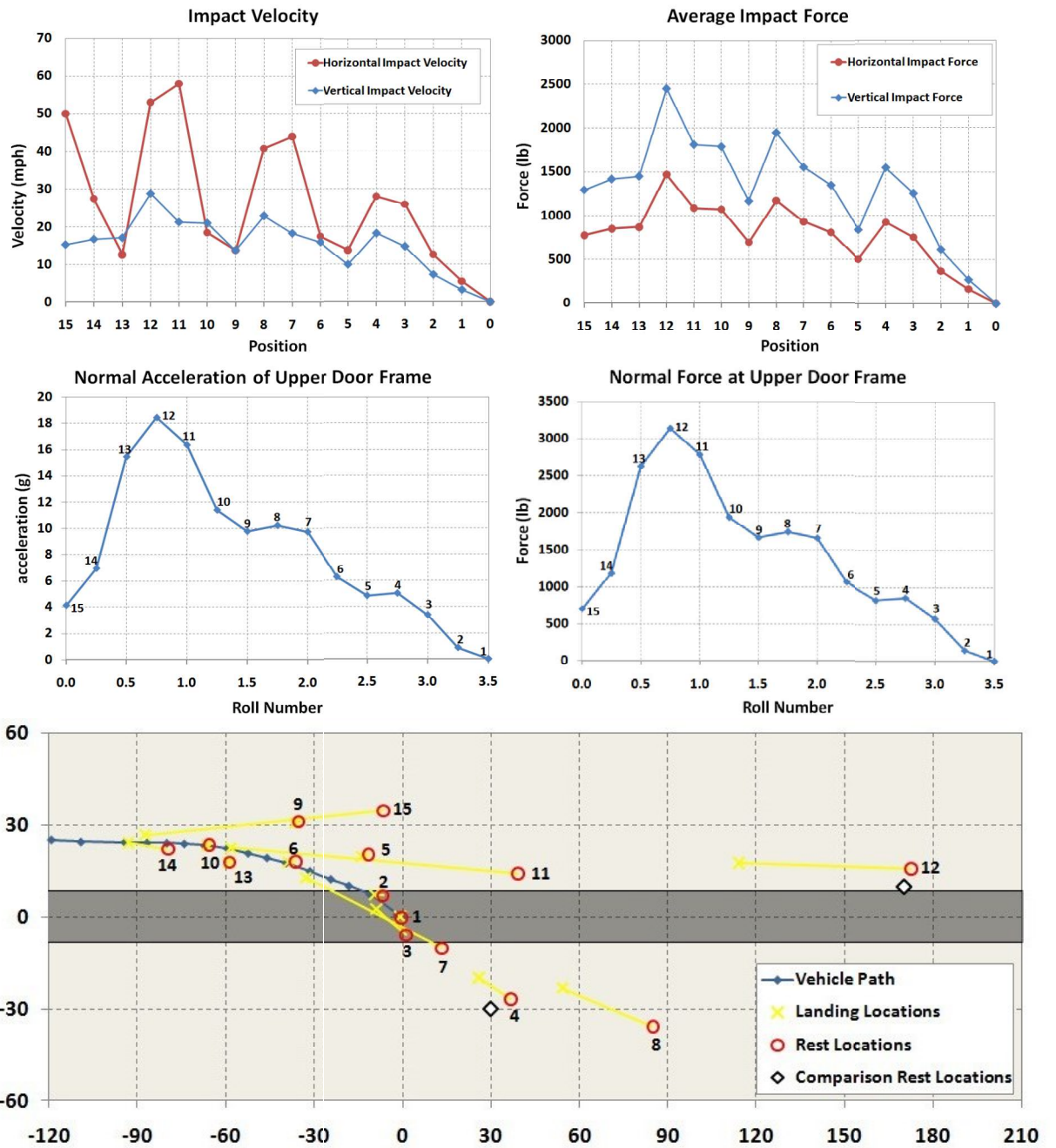


Рисунок В.1 (продолжение)

**Приложение Г**  
**(Акты внедрения)**



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное**  
**образовательное учреждение высшего образования**  
**«Санкт-Петербургский государственный**  
**архитектурно-строительный университет»**  
**(СПбГАСУ)**

ул. 2-я Красноармейская, д. 4, Санкт-Петербург, 190005

26.04.2022 № 18

[Внедрение материалов диссертации]

в учебный процесс



**АКТ**

внедрения материалов кандидатской диссертации  
 «Методика модельно-ориентированной реконструкции опрокидывания ТС  
 при производстве дорожно-транспортной экспертизы»  
 соискателя Воронина Всеслава Владимировича  
 в учебный процесс Санкт-Петербургского государственного архитектурно-  
 строительного университета

Комиссия в составе:

канд. техн. наук, доц. А.В. Зазыкина – декана АДФ;  
 д-р. техн. наук, проф. С.А. Евтюкова – зав. кафедры Наземных  
 транспортно-технологических машин; д-р. техн. наук, доц. С.С. Евтюкова –  
 зав. кафедрой Транспортных систем; канд. техн. наук, доц. И.О. Черняева –  
 зав. кафедрой Технической эксплуатации транспортных средств; канд. техн.  
 наук, доц. – Т.В. Виноградовой – секретаря комиссии.

Настоящим актом подтверждает внедрение материалов, содержащихся  
 в диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук  
 «Методика модельно-ориентированной реконструкции опрокидывания ТС  
 при производстве дорожно-транспортной экспертизы» Воронина Всеслава  
 Владимировича, выполненной на кафедре наземных транспортно-

технологических машин в учебный процесс выпускающих кафедр автомобильно-дорожного факультета для бакалавров и специалистов. Материалы размещены на портале <http://moodle.spbgasu.ru> В разделе «публикации по изучаемой дисциплине» в курсе: «Моделирование сложных процессов», «Основы научных исследований», «Организация и безопасность дорожного движения».

Изучаемые на таких направлениях подготовки как:

23.03.01 «Технология транспортных процессов»;

23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»;

23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»;

23.04.01 «Технология транспортных процессов»;

23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы».

В учебный процесс внедрены также результаты диссертационной работы, изложенные в следующих изданиях:

1. Васильев Я. В., Воронин В. В. Методика расчета работы сил на непрерывное изменение угла разворота продольной оси ТС при производстве дорожно-транспортной экспертизы // Вестник гражданских инженеров. 2021. №3 (86). С. 134–138. (DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-3-134-138)
2. Васильев Я. В., Воронин В. В. Применение коэволюционных генетических алгоритмов в задачах установления места контакта объектов исследования в экспертизе ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2021. №4 (87). С. 113-121. (DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-113-121)
3. Васильев Я. В., Воронин В. В. Методика расчета работы сил на опрокидывание ТС при реконструкции ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2021. №6 (89). С.158-164. (DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-6-158-164)
4. Васильев Я.В., Воронин В.В., Евтюков С.А. Теоретические и практические основы формирования критериев оценки уровней

летнего содержания дорог при производстве дорожно-транспортной экспертизы. – СПб.: Издательский дом Петрополис, 2019.- 176 стр.

5. Васильев Я.В., Воронин В.В. Концепция риск-ориентированного подхода к производству дорожно-транспортной экспертизы в границах имитационной системы зимнего содержания дорог. – СПб: ИД «Петрополис», 2019.-124 с.

Использование результатов кандидатской диссертационной работы «Методика модельно-ориентированной реконструкции опрокидывания ТС при производстве дорожно-транспортной экспертизы» Воронина Всеслава Владимировича обсуждено на заседании учебно-методической комиссии автомобильно-дорожного факультета Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета «21» 04 2022, протокол № 5

Председатель комиссии:

Декан АДФ, к.т.н., доцент



А.В. Зазыкин

Секретарь комиссии:

Доцент кафедры НТТМ,

к.т.н., доцент



Т.В. Виноградова

Члены комиссии:

Зав. кафедрой НТТМ,

д.т.н., профессор



С. А. Евтюков

Зав. кафедрой ТС,

д.т.н., доцент



С.С. Евтюков

Зав. кафедрой ТЭТС

к.т.н., доцент



И.О. Черняев

УТВЕРЖДАЮ

Командир 2 полка ДПС (южный) ГИБДД  
ГУ МВД России по Московской области  
полковник полиции

К.И.Берендин

«23»

03

2022г.

## АКТ

об использовании результатов диссертационной  
работы соискателя ФГБОУ ВО «СПбГАСУ»  
Воронина Всеслава Владимировича

Настоящий акт подтверждает, что результаты диссертационной работы на тему «Методика модельно-ориентированной реконструкции опрокидывания ТС при производстве дорожно-транспортной экспертизы» внедрены в работу групп исполнения административного законодательства строевых подразделений 2 полка ДПС (южный) ГУ МВД России по Московской области.

Разработанные автором методики были приняты к внедрению, в частности практическое применение нашли: методика учета работ сил на совместное перемещение в контакте и непрерывное изменение угла разворота ТС при его перемещении на стадии отброса и математическая модель перемещений ТС при опрокидывании.

Использование разработанных автором методик в комплексном подходе к модельно-ориентированной реконструкции механизма ДТП, повышает уровень расследования дорожно-транспортных происшествий, позволяет более точно установить все обстоятельства происшествий. Назначенные автотехнические и трассологические экспертизы, с учетом разработанных методик, дают более объективный ответ на поставленные перед экспертом вопросы. Выводы экспертов содержат категоричные выводы при определении места столкновения ТС, а так же увеличивается точность расчета скорости движения ТС.

Начальник отделения  
по исполнению административного законодательства  
2 полка ДПС (южный) ГУ МВД России  
по Московской области  
майор полиции

М.Ю. Малюков

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель начальника

ФКУ Упрдор «Каспий»

А.В. Лукьяница

«19» 04 2022 г.



### АКТ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

на тему: «Методика модельно-ориентированной реконструкции опрокидывания транспортного средства при производстве дорожно-транспортной экспертизы» выполненного в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» на кафедре Наземных транспортно-технологических машин  
Автор: Воронин Всеслав Владимирович

Настоящий акт подтверждает, что полученные соискателем Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета Ворониным В.В. результаты представленного им диссертационного исследования применяются при выполнении анализа ДТП и производстве дорожно-транспортных экспертиз, а именно при использовании модельно-ориентированного подхода к реконструкции ДТП с опрокидыванием ТС были применены:

– методика учета работ сил на совместное перемещение транспортного средства в контакте и непрерывное изменение угла разворота транспортного средства при его перемещении на стадии отброса, использование которой в практике производства ДТЭ позволило увеличить точность расчета скорости движения участников ДТП к моменту их столкновения на 12-15% (по сравнению с действующей методикой, отдельно учитывающей перемещения и разворот);

– методика расчета работы сил совершаемой при опрокидывании ТС, в зависимости от фактического механизма опрокидывания, которая позволила повысить точность анализа перемещений ТС при его опрокидывании на всех

стадиях механизма ДТП и получить расчетные значения скорости движения транспортного средства перед началом их опрокидывания, которые по сравнению с действующей методикой повысили точность расчета до 29,5%.

В целом, предложенные Ворониным В.В. методы позволили повысить достоверность результатов проводимых дорожно-транспортных экспертиз по ДТП с опрокидыванием транспортных средств и оперативность их выполнения, за счет сокращения временных затрат на их производство.

Начальник отдела САД и БДД  С.Н. Шелепов



пр. Невско-Васильевский, 49А, С-Петербург, 196220  
 тел: (812) 346-85-21, факс: (812) 449-81-04  
 e-mail: natm@spb.pesco.ru www.pesco.ru

**Акт об использовании результатов диссертационной работы  
 на соискание ученой степени кандидата технических наук  
 «Методика модельно-ориентированной реконструкции опрокидывания  
 ТС при производстве дорожно-транспортной экспертизы»  
 соискателя ФГБОУ ВО «СПбГАСУ»  
 Воронина Всеслава Владимировича**

**25 февраля 2022 года**

Настоящим сообщаем, что результаты диссертационной работы соискателя ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Воронина Всеслава Владимировича приняты к внедрению страховым акционерным обществом «РЕСО-Гарантия» и используются экспертами в расчетно-исследовательских работах по выплатам делам, а также в практической деятельности при решении вопросов, связанных с реконструкцией механизма ДТП с опрокидыванием транспортных средств.

В частности, практическое применение в САО «Ресо-Гарантия» нашли следующие результаты вышеуказанной диссертационной работы: методика оптимизации расчетного местоположения точки контакта объектов исследования в ДТЭ на основе кооперативных генетических алгоритмов и методика расчета работы сил совершаемой при опрокидывании ТС, в зависимости от фактического механизма опрокидывания.

Применение результатов диссертационной работы Воронина В.В. в практической деятельности позволило при анализе ДТП с опрокидыванием, а также в задачах установления фактического места столкновения повысить точность выполняемых расчетов скорости движения объектов исследования, повысить категоричность выводов по положению места первичного контакта объектов исследования в случаях большой исходной области возможных решений, а также повысить качество экспертных заключений и снизить сроки их выполнения.

**Начальник**

**отдела правового обеспечения**

**ПУ РУ по СЗФО САО «РЕСО-Гарантия»**

**А. А. Карпушенко**



«УТВЕРЖДАЮ»

Зам.начальника ОГИБДД УВМД России  
по Центральному району Санкт-Петербурга  
майор полиции  Антошкин В.В.  
« 4 » 04 2022 г.

**АКТ**

о практической реализации результатов диссертационного исследования  
Воронина Всеслава Владимировича на тему «Методика модельно-  
ориентированной реконструкции опрокидывания ТС при производстве  
дорожно-транспортной экспертизы»

Данный акт подтверждает практическое применения в деятельности по исполнению административного законодательства ОГИБДД УВМД России по Центральному району Санкт-Петербурга результатов научных исследований, полученных соискателем СПбГАСУ Ворониным Всеславом Владимировичем и изложенных в его диссертационном исследовании: «Методика модельно-ориентированной реконструкции опрокидывания ТС при производстве дорожно-транспортной экспертизы». Разработанные автором методики расчета работы сил совершаемой при опрокидывании ТС, в зависимости от фактического механизма опрокидывания и учета работ сил на совместное перемещение ТС в контакте и непрерывное изменение угла разворота ТС при его перемещении на стадии отброса внедрены в практическую деятельность при назначении и производстве автотехнических и комплексных трасолого-автотехнических экспертиз.


Разработанная автором методика при реализации модельно-ориентированного подхода к реконструкции механизма ДТП с опрокидыванием ТС позволила повысить точность определения скорости движения ТС в среднем на 15% в сравнении с действующей практикой расчетов. Что также положительно сказалось на объективности результатов проведения экспертиз по административным делам с пострадавшими по

факту ДТП с опрокидыванием ТС. Кроме того, при практическом применении было отмечено сокращение времени на производство дорожно-транспортных (автотехнических и трасолого-автотехнических) экспертиз, что привело к ускорению сроков принятия решений по делам об административным правонарушениям.

Председатель комиссии:

  
\_\_\_\_\_ Костюков С.В.

Члены комиссии:

  
\_\_\_\_\_ Король М.С.

  
\_\_\_\_\_ Кольцова Н.Н.