

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И.С.  
ТУРГЕНЕВА»

*На правах рукописи*



**МИХАЛЁВА ДАРЬЯ СЕРГЕЕВНА**

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ И СОПУТСТВУЮЩИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ПОПУТНОГО СТОЛКНОВЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ  
СРЕДСТВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ  
ЭКСПЕРТИЗ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

**ДИССЕРТАЦИЯ**  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Научный руководитель:**  
доктор технических наук, профессор  
Новиков Александр Николаевич

Орёл – 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БДД И ЭФФЕКТИВНОСТИ ДТЭ.....	13
1.1 Особенности возникновения ДТП на дорогах России и за рубежом.....	13
1.2 Анализ и особенности возникновения ДТП на дорогах Санкт-Петербурга.....	24
1.3 Анализ и особенности возникновения ДТП на дорогах Ленинградской области.....	28
1.4 Сравнительный анализ эффективности средств фиксации пространственно- следовой информации с места ДТП.....	33
1.5 Анализ категоричности выводов по ДТЭ.....	45
1.6 Выводы по Главе 1.....	48
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТС.....	50
2.1 Математическая модель заднего попутного столкновения двух транспортных средств.....	50
2.2 Методика оценки объема деформации кузова легковых автомобилей.....	59
2.3 Методика расчета скорости движения а/м до столкновения с учетом объемной деформации.....	61
2.4 Выводы по Главе 2.....	63
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА НАТУРНЫХ КРАШ-ТЕСТОВ И ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ.....	65
3.1 Оценка вероятности травмирования.....	65
3.2 Методические основы применения индексов травмирования в дорожно- транспортной экспертизе.....	66
3.3 Обработка данных и результаты численного симуляционного моделирования.....	74
3.4 Результаты определения зависимостей изменения индексов травмирования.....	79

3.5 Модель деформирования ТС в трехмерной постановке и анализ изменения доли рассеивания приведенной скорости к площади контактной зоны.....	83
3.6 Выводы по Главе 3.....	89
ГЛАВА 4. МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЗАТРАТ СКОРОСТИ НА ОБЪЕМНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИИ МОДЕЛЬНОЙ СЦЕНЫ.....	92
4.1 Методика пересчета коэффициентов жесткости с учетом угла и объема КСВ.....	92
4.2 Методика оптимизации траекторий перемещений объектов исследования в ДТП на основе генетических алгоритмов.....	100
4.3 Сравнение предложенных решений с действующими методами.....	115
4.4 Оценка экономических эффектов для производства ДТП и последствий для повышения эффективности.....	122
4.5 Выводы по Главе 4.....	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	128
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	130
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	131
ПРИЛОЖЕНИЕ А (примеры обработки данных из натурных краш-тестов по Главе 3).....	140
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (коды программ по Главам 3 и 4).....	169
ПРИЛОЖЕНИЕ В (Акты внедрения, свидетельство о регистрации ПО).....	194

## ВВЕДЕНИЕ

Причиной возникновения до 90% в общем ежегодном объеме дорожно-транспортных происшествий в РФ являются отклонения (нарушения) возникающие в подсистеме Водитель системы Водитель – Автомобиль – Дорога – Среда (ВАДС). При этом, наиболее распространенным отклонением (нарушением) в подсистеме Водитель системы ВАДС является выбор скорости движения одним или несколькими участниками ДТП. Следует отметить, что превышение максимально допустимой скорости ДТП существенно усугубляет последствия ДТП, что делает необходимым управление скоростью не только прямыми, но и косвенными мерами.

Среди эффективных косвенных способов управления скоростью и безопасностью на дорогах следует выделить повышение точности методов реконструкции аварийно-опасных ситуаций, которые предшествуют ДТП. Установление причинно-следственной связи между нарушением ПДД и дорожно-транспортным происшествием и последующее наказание - важный фактор, который удерживает водителей от нарушений. В этой связи разработке и совершенствованию методов производства дорожно-транспортной экспертизы и повышению эффективности, точности и достоверности ее результатов, традиционно отводится особое место в обеспечении безопасности на дорогах.

Государственные и коммерческие экспертные организации, занятые производством дорожно-транспортных экспертиз (ДТЭ) в РФ на настоящий момент часто используют методики расчета скорости движения ТС к моменту начала контактно-следового взаимодействия (КСВ), в большинстве своем разработанные и внедренные более чем 30-40 лет назад. Среди них нет современного научно-практического аппарата оценки рисков травмирования и более того, весь арсенал действующих (общепринятых) методик ДТЭ не имеет методического аппарата, учитывавшего бы специфические особенности исследования попутных задних столкновений и наездов.



Действующие методики расчета, основанные на законе сохранения движения в решении через моменты инерции или через работы сил, как правило, дают высокую погрешность особенно в случаях множественных попутных КСВ (попутное заднее столкновение трех и более ТС) и без учета затрат энергии на деформации задней части, приводят к занижению фактических значений расчетных скоростей ТС к моменту начала их КСВ или к моменту начала их торможения (перемещения со слеодообразованием).

В последние годы наметилось увеличение исследований посвященных совершенствованию метода унифицированной трехсторонней жесткости (МУТЖ), что связано с одной стороны ростом применения метода в ДТЭ, а с другой стороны с наибольшей доступностью данного метода для применения в ДТЭ, по сравнению, например, с методом конечных элементов (МКЭ). Однако, в данных исследованиях не содержится допустимый и достаточный объем данных для МУТЖ по жесткости задней части кузова ТС, пригодный для проведения расчетов с погрешностью не более 5%. При этом при применении МУТЖ, как при расчете по табличным данным, так и при расчете по данным натурных краш-тестов, возникает ряд не устраненных ранее проблем, а именно: имеющиеся сводные значения коэффициентов жесткости по таблицам не обновлялись с 2010 года, а имеющийся объем натурных тестов часто не покрывает объем и номенклатуру марок и моделей ТС, эксплуатируемых в РФ в настоящее время.

Таким образом, в сложившейся практике производства ДТЭ, на настоящий момент при реконструкции попутных контактно-следовых взаимодействий (КСВ) фактически нет научно-обоснованной методики учета затрат энергии на деформации задней части автомобилей категории М1, а также нет возможности обоснованно давать выводы по ДТП с попутным столкновением трех и более ТС, особенно в условиях скудного объема и никого качества фиксации пространственно-следовой информации (ПСИ) с места ДТП.

В свою очередь, использование индексов травмирования становится одним из наиболее современных инструментов при применении модельно-ориентированного подхода в реализации процедур ДТЭ направленных на оценку

причинно-следственных связей между действиями водителя (в частности по выбору скорости движения ТС до ДТП) и наступившими последствиями (объемом полученных травм водителями или пассажирами).

Совершенствование методов реконструкции ДТП при попутных задних контактах ТС лежит в актуальной проблемной области, так как оказывает влияние на повышение достоверности и категоричности экспертного исследования при реконструкции механизма таких ДТП, а также влияет на эффективность ДТЭ и мероприятий, выполняемых при экспертной профилактике ДТП и при повышении пассивной безопасности конструкции ТС категории М1.

**Степень разработанности проблемы.** Исследованиям связанным с расчетом скорости через затраты энергии на объемные деформации в РФ занимались такие ученые как: Боровский Б.Е., Суворов Ю.М., Евтюков С.А., Васильев Я.В., Голов Е.В., Никонов В.М., Кристи Н.М. Так же имеются обширные исследования, посвященные роли ДТЭ в ОБДД, среди которых следует выделить такие ученых как: Кравченко П.А., Евтюков С.С., Жанказиев С.В., Клявин В.Э., Лукошявичене О.В., Новиков А.Н., Новиков И.А., Сильянов В.В., Терентьев А.В. Среди зарубежных ученых исследования в области как МУТЖ, так и методологии расчета скорости движения ТС до ДТП занимались: Дж. Сирл, Д.Вуд, Д.Ванги, Н. Карпентер и др.

Однако, несмотря на значимые результаты практического внедрения результатов исследований вышеуказанных и многих других отечественных и зарубежных ученых, их исследования в большинстве своем были сконцентрированы на фронтальной и боковой жесткости ТС, а также на расчетах скорости движения и прогнозировании травмирования при фронтальных и боковых столкновениях. Таким образом, в настоящий момент требуется совершенствование и разработка новых решений в исследуемой области.

**Цель исследования:** совершенствование методов дорожно-транспортной экспертизы по анализу задних попутных объемно-проникающих контактно-следовых взаимодействий ТС путем выявления новых зависимостей изменения энергии деформации при различных условиях столкновения ТС.

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

1. Провести оценку качества и степени полноты исследований, выполненных в рамках (ДТЭ) по случаям задних попутных столкновений транспортных средств (ТС), с формированием интегрированного набора сценариев попутного сближения ТС и определением структуры факторного пространства, определяющего механику (КСВ) при задних столкновениях.

2. Установить зависимости между изменением осевых замедлений в центре масс ТС и вариациями индексов травмирования манекенов водителя и пассажира на основе комплексного анализа результатов натурных краш-тестов, моделирующих задние попутные объемно-проникающие контактно-следовые взаимодействия ТС.

3. Уточнить методику определения потерь скорости, связанных с объемными деформациями, в рамках модели трехсторонней унифицированной жесткости, выявив зависимости коэффициентов жесткости от степени перекрытия (площади зоны контакта) и угла столкновения.

4. Определить закономерности изменения величин работы сил деформации, энергии деформирования и скорости движения ТС до момента столкновения с учетом условий его возникновения.

5. Разработать усовершенствованную методику расчета скорости движения ТС при проведении ДТЭ задних попутных столкновений, а также оценить эффективность ее применения в процедурах модельно-ориентированной реконструкции механизма ДТП, с последующей разработкой решений по оптимизации траекторий перемещения исследуемых объектов в ДТЭ на основе генетического алгоритма.

**Объект исследования:** транспортные средства категории М1 в процессе задних попутных объемно-проникающих контактно-следовых взаимодействий.

**Предмет исследования:** причинно-следственные связи между механизмом задних попутных объемно-проникающих контактно-следовых взаимодействий

ТС, значениями индексов травмирования водителя и пассажиров, фактической скоростью движения ТС в момент начала контакта и энергий деформаций.

**Рабочая гипотеза:** выявление новых зависимостей изменения энергии деформации при различных условиях задних попутных объемно-проникающих контактно-следовых взаимодействий ТС позволит повысить качество, полноту и категоричность дорожно-транспортных экспертиз по таким видам столкновений ТС, что также окажет влияние на развитии аппарата оценки травмирования водителя и пассажиров при задних попутных ДТП.

**Научная новизна исследования:**

1. Впервые на основе ретроспективного анализа большого массива реальных ДТП (3385 исследований) систематизированы и количественно оценены ключевые проблемы экспертной практики при реконструкции задних попутных столкновений, а именно: широкое использование устаревших коэффициентов жесткости, приводящее к значительным погрешностям в расчетах скорости, и как следствие — высокая доля некатегоричных выводов;

2. Установлены новые количественные зависимости между осевыми замедлениями в центре масс ТС и индексами травмирования (HIC,  $N_{ij}$ , AIS) для водителя и пассажира, полученные путем комплексного анализа данных натурных краш-тестов и численного моделирования с кластеризацией ТС по массогабаритным характеристикам. Полученные регрессионные модели обладают высоким коэффициентом детерминации ( $R^2 \geq 0.93$ ) и позволяют напрямую оценивать тяжесть последствий ДТП;

3. Предложено уточнение методики МУТЖ для расчета затрат скорости на объемные деформации, заключающееся в учете влияния угла столкновения и площади контактной зоны на коэффициенты жесткости, а также во введении кластерного подхода к классификации ТС. Впервые определены и апробированы уточняющие коэффициенты ( $k_1$  и  $k_2$ ) для шести кластеров ТС, что позволило повысить точность расчета скорости перед ударом до 27% по сравнению с действующими методами;

4. Выявлены и формализованы новые закономерности изменения работы сил на деформации и энергии деформации от условий столкновения (угла, площади контакта, начальной скорости) для различных кластеров ТС. Разработан соответствующий математический аппарат и программная реализация в средах Matlab/Simulink и Python, позволяющие строить профили жесткости и поверхности отклика для конкретных условий ДТП.

5. Предложена новый комплексный методический подход к реконструкции ДТП, который интегрирует усовершенствованную модель расчета деформаций с процедурой оптимизации траекторий движения ТС на основе генетического алгоритма. Доказана практическая эффективность подхода, обеспечивающего повышение категоричности выводов ДТЭ до 63% за счет минимизации неопределенности при определении места столкновения и параметров движения.

**Теоретическая значимость работы** заключается выявлении комплекса зависимостей изменения энергии деформаций, индексов травмирования от условий наступления столкновения при реконструкции механизма задних попутных объемно-проникающих контактно-следовых взаимодействий ТС, путем реализации новых расчетно-аналитических методов, программного и информационного их обеспечения.

**Практическая значимость работы** заключается в прикладном характере результатов исследования, которые могут быть использованы экспертным сообществом в интересах повышения категоричности и объективности результатов выполнения ДТЭ, органами региональной исполнительной власти и федеральными государственными структурами в интересах повышения БДД на автомобильных дорогах общего пользования при реализации мероприятий по профилактике ДТП.

**Методология и методы исследования** базируется на анализе статистических данных по ДТП с задними попутными объемно-проникающими контактно-следовыми взаимодействиями ТС, методах и результатах ДТЭ использованных при анализе таких ДТП в РФ и за рубежом, рассмотрении и

критической оценке научных трудов и публикаций по ним отечественных и иностранных специалистов, посвященных ДТЭ, использовании общепризнанных научных методов исследования: анализа и обработки данных методами математической статистики и методов системного анализа, теории моделирования, регрессионного анализа, методов оптимизации, прогнозирования и экспериментальных исследований.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Результаты оценки исследований по ДТЭ задних попутных столкновений, включающие набор типовых сценариев сближения транспортных средств и описание системы факторов, влияющих на механизм контактно-следового взаимодействия.

2. Установленные на основе анализа натурных краш-тестов связи между динамикой осевых замедлений автомобиля и уровнями травмоопасности для водителя и пассажира при задних объемно-проникающих столкновениях.

3. Усовершенствованный метод определения потерь скорости на деформации, основанный на трехсторонней жесткости и учитывающий влияние площади контакта и угла столкновения на коэффициенты жесткости.

4. Выявленные закономерности изменения работы сил деформации, энергии деформации и скорости ТС до момента удара в зависимости от условий, при которых произошло столкновение.

5. Разработанный и апробированный метод расчета скорости ТС для ДТЭ при задних столкновениях, интегрированный в процедуру модельно-ориентированного восстановления механизма ДТП, а также алгоритм оптимизации траекторий движения объектов в испытаниях с использованием генетического алгоритма.

**Достоверность и обоснованность** результатов диссертационного исследования обеспечена: аналитическим обоснованием цели и связанных с ней задач исследования, в результате оценки ДТЭ, выполненных в СЗФО; применением апробированных и общеизвестных методов их решения; полученными результатами оценки эффективности предложенных методик в

составе модельно-ориентированной реконструкции ДТП; публикациями и обсуждением на Российских и международным конференциях; Актами внедрения.

**Информационная база исследования.** Нормативно-техническая документация, законодательные и правовые акты, базы данных по натурным краш-тестам, банки данных по EDR/CDR 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, в которых имели место попутные объемно-проникающие контактно-следовые взаимодействия.

**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, использующий модельно-ориентированный подход к расчету скорости движения ТС при их попутных объемно-проникающих контактно-следовых взаимодействиях.

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности 2.9.5 «Эксплуатация автомобильного транспорта»: п.6 Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; совершенствование методов автодорожной и экологической экспертизы, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков; п.9 Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей, качеств водителей; проведение дорожно-транспортной экспертизы, разработка мероприятий по снижению аварийности.

**Публикации.** Основные положения диссертации изложены в 10 работах общим объемом – 11,81 п.л. (авторских – 3,49 п.л.), в том числе 6 - в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ, издана 1 монография, получено 1 свидетельство на программное обеспечение ЭВМ.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения. Содержит 198 страниц, 58 иллюстраций, 35 таблиц, 3 приложения на 60 страниц, список литературы из 74 наименований.



# **ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БДД В РФ И ЗА РУБЕЖОМ**

## **1.1 Особенности возникновения ДТП на дорогах России и за рубежом**

Одной из ведущих отраслей общественного производства, которая влияет на развитие общества и на все сферы деятельности человека является автомобильный транспорт. С каждым годом происходит рост автомобилизации.

Автомобильный транспорт является важнейшим фактором, который определяет эффективное развитие производительных сил, с его помощью решаются вопросы потребностей населения в социально-экономическом развитии, обеспечивает территориальные связи общества. Добыча и переработка природных ресурсов, организация торговли, работа предприятий сельскохозяйственного и промышленного назначения, медицинского и бытового обслуживания населения все это невозможно без применения автомобильного транспорта.

В 2003 году после того, как Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций (ООН) приняла резолюцию 57/309, где были выражены обеспокоенности по поводу увеличения роста числа людей, гибнувших или получающих травмы в результате ДТП, проблемам БДД в мировых масштабах уделяется особое внимание. В 2010 году Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций (ООН) провозгласила 2011-2020 гг. первым десятилетием действий по обеспечению безопасности дорожного движения. Основной целью 3.6 является снизить уровень смертности и травматизма на 50% к 2020 году. Также, были разработаны пять основных элементов деятельности, такие как:

1. Управление БДД, в которых предусмотрено, - взаимодействие с основными соглашениями ООН в части БДД; - разработка стратегических проектов; - разработка системы данных; - необходимое финансирование.

2. Наиболее безопасное поведение всех участников дорожного движения на дорогах: - разработка и проведение различных рекламных мероприятий в части

БДД; - соблюдение ПДД в части соблюдения ограничения скорости и управление ТС в нетрезвом состоянии, для управления мотоциклами обязательное использование шлемов, ремни безопасности и кресла для безопасной перевозки детей; - сокращение травматизма на дорогах.

3. Безопасная мобильность и дороги: - увеличивать ответственность руководящих организаций для наиболее БДД при планировании дорог общего пользования; - улучшение и поддержание дорожной инфраструктуры; - поддерживать научные исследования при разработке безопасных дорог.

4. Безопасность транспортных средств: - поддерживать применение правил по безопасности ТС; - внедрение и поощрение новых технологий, связанных с развитием ТС; - использование ТС в автопарках, которые отвечают высоким стандартам безопасности.

5. Повышение быстрого реагирования на ДТП: - оперативность на экстренные ситуации; - улучшение качества неотложной медицинской помощи для пострадавших в ДТП.

В 2015 году была принята на второй Всемирной конференции высокого уровня по безопасности дорожного движения Бразилианская декларация, а также ВОЗ представил доклад о состоянии безопасности дорожного движения в мире за 2015 год. Доклад завершается рядом рекомендаций в адрес Ассамблеи относительно достижения целей Десятилетия действий и цели 3.6 целей в области устойчивого развития.

По данным статистики Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) каждый год в дорожно-транспортных происшествиях гибнут около 1,46 млн человек, то есть в среднем 4017 человек в день, а травмы получают 30-50 млн человек по всей планете на 2020 год, по сравнению с 2013 годом, где количество погибших составляло 1,25 млн человек, и в среднем 3397 человек в день. То есть, предпринимаемые меры и принятые действия каждый год не дают того результата, которые необходимы для современного общества, чтобы обеспечить должный уровень безопасности дорожного движения.

Следовательно, проблема безопасности дорожного движения по-прежнему

остается актуальной во всем мире. По статистическим данным, предоставленных международными центрами, занимающимися исследованиями проблем дорожно-транспортных происшествий в мире, главной причиной смерти среди молодых людей в возрасте 15-29 лет остается ДТП, которое занимает 10 место среди основных причин смерти во всем мире. На рисунке 1.1 и в таблице 1.1 отражены показатели смертности от травматизма, полученных при ДТП в некоторых странах на 2016-2024 гг.

Таблица 1.1 – Соотношение показателей смертности от ДТП в различных странах мира за период 2016-2024 гг.

Страна	2016	2020	2024
Венесуэла	33,7	25,2	13.2
Индия	22,6	30,8	14.6
Бразилия	19,7	16,6	15.08
Китай	18,2	17,6	15.09
Россия	18	17,1	11.23
Казахстан	17,6	12,8	12.85
Украина	13,7	17,7	9.34
США	12,4	14,5	11.10
Турция	12,3	17	6.52
Египет	9,7	7,4	11.77
Корея	9,8	8	5.76
Новая Зеландия	7,8	10,1	8.83
Канада	5,8	5,6	4.58
Австралия	5,6	5,8	4.46
Япония	4,1	3,6	2.51
Ирландия	4,1	4,1	2.83
Израиль	2,7	1,9	3.93

Из предоставленных данных можно сделать вывод, что рост смертности на дорогах увеличился у многих стран, несмотря на то, что эти государства имеют высокий уровень развития экономики и социальной защищенности граждан, проблема ДТП остается из главных задач современности.

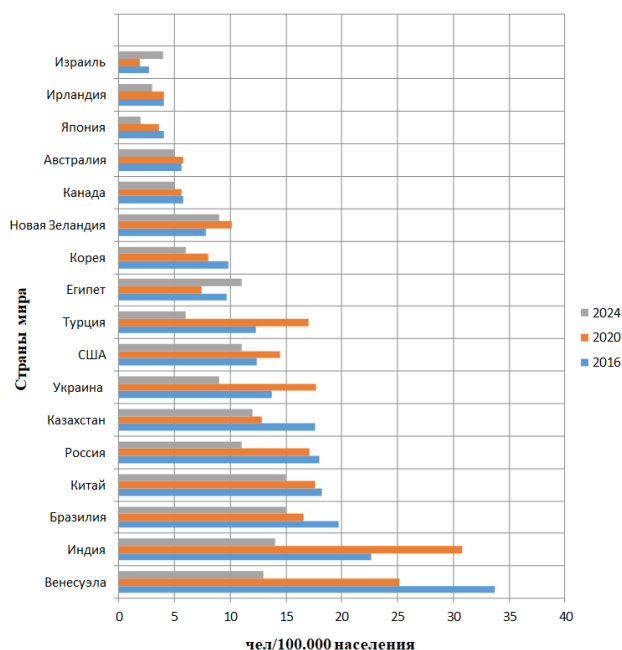


Рисунок 1.1 – Показатели смертности от ДТП в различных странах мира за период 2016-2024 гг.

Также, одной из целей безопасности дорожного движения, вынесенная на Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций (ООН) в сентябре 2015 года в Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года, задача 11.2, которая состоит в том, что необходимо предоставить всем доступные, безопасные и устойчивые транспортные системы к 2030 году, особенно для лиц с ограниченными возможностями, детям, женщинам и пожилым людям.

Также, Всемирная дорожная ассоциация создали онлайн руководство по БДД, в котором описывается системный и комплексный подход, в котором участвуют инфраструктура, водитель, образование и транспортные средства.

В 2016 году был издан доклад Международным транспортным форумом «Нулевой показатель смертности и серьезных травм на дорогах: изменение парадигмы в направлении безопасной системы» (оригинальный текст: «Zero Road Deaths and Serious Injuries: Leading a Paradigm Shift to a Safe System»), где было описано, что ДТП может быть сокращено, а главное уменьшение смертности на дорогах. Так же, в данном докладе были представлены исследования ведущих стран мира, связанных с тематикой.

В 2017 году ВОЗ выпускает технический пакет по БДД «Спасти Жизни», в котором перечислены мероприятия, связанные с регулированием скоростного режима, проектирование и улучшение инфраструктуры, стандарты по безопасности ТС, своевременный контроль выполнения законодательств о дорожном движении и уменьшения смертности после ДТП. Данный технический пакет служит способом для достижения целей 3.6 и 11.2 целей в области устойчивого развития.

На рисунке 1.2 представлен безопасный системный подход, который является прототипом стратегии разработанной Швецией «VisionZero» еще в 1997 году («Нулевой уровень смертности на дорогах»).

Целью данного подхода является создание безопасной дорожной системы, благодаря большому количеству современной информации, с помощью чего будут предотвращены аварии. Силы воздействия удара с последующим получением серьезных травм или смертельного исхода при дорожных авариях должны свестись к минимуму, тогда у пострадавших будет шанс спастись и им будет оказана своевременная правильная квалифицированная травматологическая помощь.



Рисунок 1.2 – Безопасный системный подход

Ниже представлен список в виде таблицы 1.2 - 10 самых опасных стран по количеству летальных исходов в ДТП в 2020 году (количество погибших на 100.000 населения).

Как видно из таблицы 1.2, 90% ДТП с летальным исходом случаются в

странах, которые имеют низкий уровень дохода, это относится к африканскому континенту. Еще в резолюции 57/309 от 2003 года Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций (ООН) было отмечено, что большое количество человеческих жертв не в соотносительной мере относится к развивающимся странам и людской травматизм, полученный при ДТП, наносит большой ущерб экономике, как этим странам, так и странам во всем мире.

Таблица 1.2 – Самые опасные страны по смерти ДТП на 2024 год

Страна	Количество, на 100.000 жителей
Доминиканская Республика	117.88
Бурунди	77.76
Либерия	81.10
Сирия	24.86
Центральноафриканская Республика	68.61
ДР Конго	55.25
Камерун	10.6
Чад	26.4
Буркина-Фасо	27.8
Индия	14.6

Далее представлены данные в таблице 1.3 - самые безопасные страны по смерти ДТП на 2024 год, а также ниже рисунок 1.3 в виде карты с подробными коэффициентами смертности от ДТП во всем мире на 2020 год, представленная ВОЗ.

Таблица 1.3 – Самые безопасные страны по смерти ДТП на 2024 год

Страна	Количество, на 100.000 жителей
Мальдивы	2.39
Норвегия	2.71
Швейцария	2.62
Сингапур	2.60
Швеция	4.03
Великобритания	4.36
Япония	3.36
Германия	4.58
Ирландия	4.30
Нидерланды	4.27

Исходя из таблицы 1.3 и рисунка 1.3, смертность от ДТП на 100.000 населения в наименьших коэффициентах приходится на европейские страны.

В качестве успешного примера по снижению смертности является концепция безопасности «VisionZero», которая разработана в Швеции. Это подтверждается статистическими данными, в 1997 году погибших составило 541 человек, а уже к 2020 году это сократилось более чем в два раза и составило 204 погибших. Шведская коалиция, которая реализует «VisionZero» считает, что в ДТП вина всегда коллективная, а не только одного из водителей, участвовавших в аварии, как принято считать. По их мнению, здесь могла быть ошибка в расчетах дорожных строителей при строительстве центрального разделительного барьера, недостаток контроля и управления транспортным потоком на дорогах, а также безопасность конструкции ТС.

Программа «VisionZero» состоит из четырех блоков: технология ТС; - инфраструктура; безопасность и услуги; контроль и управление;

Каждый блок имеет свое практическое решение, который обеспечивает БДД. Расследование причин каждой аварии является одним из основных пунктов «VisionZero».

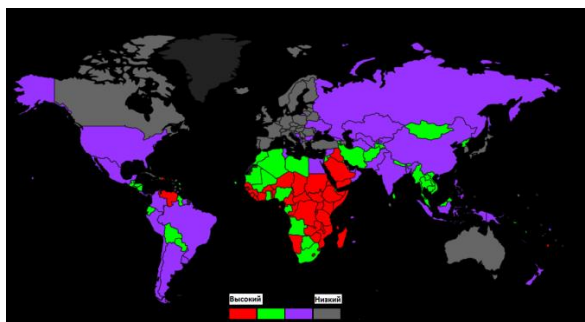


Рисунок 1.3 – Коэффициенты смертности от ДТП, карта мира (ВОЗ, 2024 г.)

31 августа 2020 года Генеральная Ассамблея ООН приняла резолюцию A/RES/74/299 «Повышение безопасности дорожного движения во всем мире». В резолюции выражено одобрение Стокгольмской декларации «Третья всемирная министерская конференция по безопасности дорожного движения: достижение

глобальных целей к 2030 году», которая проходила в Стокгольме, Швеция 19-20 февраля 2020 года. Участники данной конференции признали успехи, которые были достигнуты в мировой практике за первое Десятилетие действий 2011-2020 года по обеспечению БДД, совместная работа на глобальном уровне под руководством ВОЗ и комиссии по регионам ООН, а также в вопросе БДД активно стало участвовать гражданское население. Было отмечено, что необходимо более активно пропагандировать комплексные подходы к БДД, на примере, «VisionZero», дальнейшее сотрудничество по данному вопросу внутри стран с НПО, с коммерческими и промышленными организациями, что способствует социально-экономическому развитию стран. Члены конференции также признали, что необходимо для соблюдения законов в части поведенческих рисков, к которым относятся: вождение в нетрезвом виде; превышение лимита, установленной скорости; неприменение ремней безопасности; отсутствие детских кресел в ТС; отсутствие у мотоциклистов шлемов, обмениваться необходимым накопленным опытом для устранения данных нарушений и для сокращения таких рисков, способствующих спасению сотни тысяч человеческих жизней. На данный момент, во многих странах программы по устранению этих проблем не реализуются.

Учитывая то, что ДТП оказывают негативное влияние на уязвимую часть населения (дети, молодежь, пожилые люди и инвалиды), происходит обеспокоенность, связанная с прогнозируемым количеством смертей и травм до 500 миллионов во всем мире в следующее десятилетие, которое необходимо предотвратить с помощью консолидации политических лидерств на всех уровнях.

Важным моментом является то, что члены конференции приняли общую ответственность и обязательства по достижению глобальных целей до 2030 года. В период до 2030 года для наибольшего развития взаимодействия между различными направлениями работ по достижению ЦУР, а также применение комплексного подхода для получения взаимных выгод.

Одним из ключевых решений резолюции является провозглашение периода 2021–2030 годов вторым Десятилетием действий по обеспечению безопасности



дорожного движения с целью - снизить по крайней мере на 50 процентов смертность и травматизм в результате дорожно-транспортных происшествий к 2030 году.

В Российской Федерации утверждена Распоряжением Правительства РФ от 8 января 2018 года №1-р «Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018-2024 годы». Целями данной стратегии является повышение безопасности дорожного движения и необходимость достижения снижения нулевой смертности к 2030 году.

Основной целью в системе управления по обеспечению дорожного движения в РФ является предупреждение, предотвращение и устранение явлений и опасных ситуаций и их последствий, которые угрожают жизни здоровью и имуществу граждан их имуществу, а также имуществу, которое принадлежит организациям предприятиям и учреждениям.

По данным статистики Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) каждый год в дорожно-транспортных происшествиях гибнут около 1,2 млн человек, а травмы получают 20-50 млн человек по всей планете. По Российской Федерации статистика ДТП за 2016-2021 гг. приведена ниже в таблице 4, в которой представлено общее количество дорожных аварий, число погибших и раненых.

Таблица 1.4 – Статистика ДТП по Российской Федерации за период 2016-2024 гг.

Наименование	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2024
Общее кол-во ДТП	173694	169432	168099	164358	145073	123645	116190
Погибло, чел.	20308	20308	18214	16981	16152	13718	12748
Ранено, чел.	221140	215374	214853	210877	183040	155793	144311

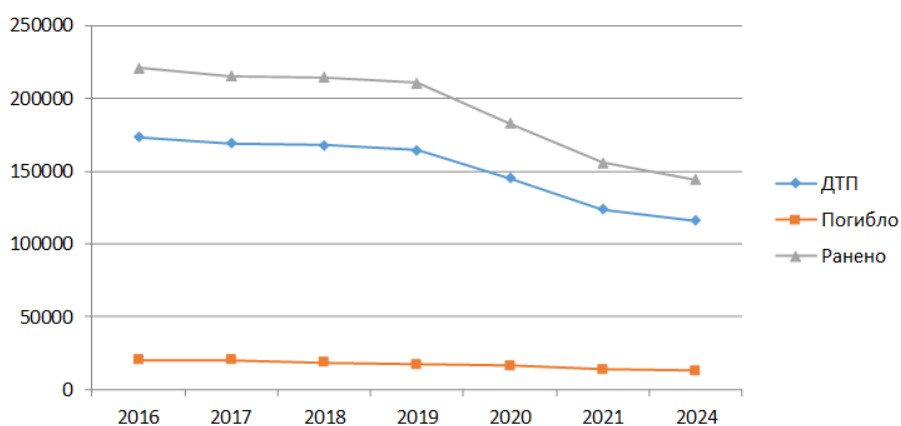


Рисунок 1.4 – Общее количество и тяжесть ДТП в РФ за период 2016-2024 гг.

Согласно статистическим данным из таблицы 1.4 и рисунка 1.4 можно сделать вывод, что общее количество ДТП, с ранеными и погибшими уменьшается, то есть происходит положительная динамика.

В России основными жертвами ДТП становятся люди молодого и трудоспособного возраста от 16 до 40 лет, что напрямую влияет на состояние демографии (рисунок 1.5). Помимо, демографической проблемы, дорожные аварии представляют собой одну из остро социально-экономических проблем в современном мире, наносящее значительный ущерб стране, и которое составляет 2,5% ВВП или 480 млрд рублей.

Основными причинами возникновения дорожно-транспортного происшествия являются: усталость и физическое недомогание водителя; неопытность водителя; факторы, отвлекающие водителя от дороги; алкогольное или наркотическое опьянение; превышение скорости движения; нарушение ПДД водителями (маневрирование, обгон, несоблюдение безопасной дистанции, невыполнение требований дорожных знаков, светофоров), нарушение ПДД пешеходами; не соответствующее нормам техническое состояние транспортного средства; - неблагоприятные погодные условия; некачественное дорожное покрытие; доступность и видимость дорожных знаков и разметки.

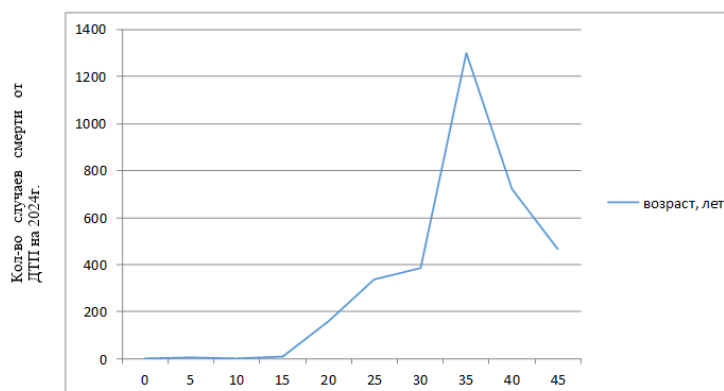


Рисунок 1.5 – Смертность в РФ от ДТП по возрастным группам на 2024 г.

Рассматривая динамику показателей аварийности, которая обусловлена недостатком эксплуатационного состояния, а также обустройства улично-дорожной сети в 2024 году большинство недостатков были выявлены после каждого третьего ДТП во время их оформления (рисунок 1.6).

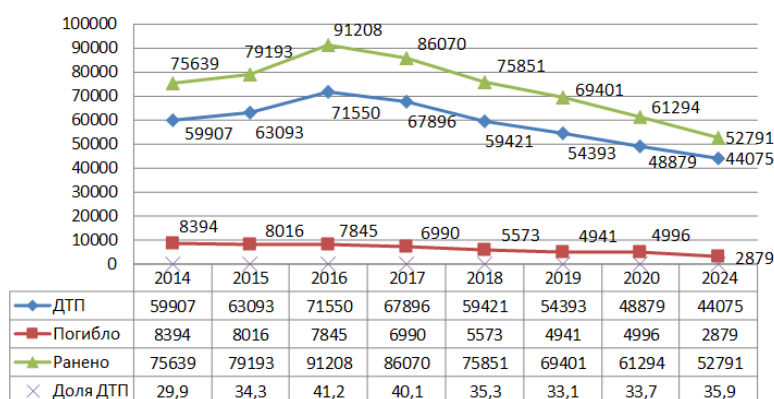


Рисунок 1.6 – Количество ДТП, связанных с дорожными условиями на период 2014-2024 гг.

К сожалению, тенденция роста увеличивается в ДТП совершаемых водителями, имеющих стаж более 15 лет (более 50%), согласно статистическим данным. К тому же, особое внимание нужно уделить факту увеличения ДТП с тяжкими последствиями возрастных групп водителей, которые имеют разный стаж управления ТС. Чем выше стаж водителей, тем выше значение тяжести последствия, которые они совершают. Так, для водителей со стажем свыше 15 лет

данный показатель составил 13,2, а для начинающих водителей, со стажем управления до двух лет – 9,5.

## **1.2 Анализ и особенности возникновения ДТП на дорогах Санкт-Петербурга**

Санкт-Петербург – является самым крупным транспортным узлом северо-запада России. Через него, всеми видами транспорта, осуществляются международные грузовые и пассажирские перевозки. В Санкт-Петербурге расположены крупные речные и морские порты. Также сходятся очень важные автомобильные и железнодорожные магистрали.

Поскольку городская инфраструктура развивается одновременно с ростом населения города и соответственно с ростом автомобильной загруженности, транспортная инфраструктура города характеризуется, как умеренно-загруженная.

Рассмотрев результаты статистического анализа информации, которая содержится в Автоматизированной информационно-управляющей системе (АИУС) ГИБДД РФ, видим, что за 2016-2024 гг. в Санкт-Петербурге зарегистрировано 55000 ДТП с пострадавшими, где пострадавших более 42 тысячи человек, а погибших 1500 человек. Общая статистка ДТП за период 2016-2024 гг. показана на рисунке 1.5.

Распределение ДТП по видам и их анализ, показывает, что основными видами ДТП, как на территории СПб так и РФ являются: столкновение транспортных средств – 40,5%, наезд на пешехода – 36,2% и падение пассажира – 6,6%, что касается напрямую с большим количеством общественного транспорта на территории города (таблица 5 рисунок 16). Еще одним динамично-нарастающим видом ДТП является наезд на велосипедиста - прирост в 2024 г. в сравнении с 2016 г. на 32,6%. Происходит это из-за того, что инфраструктура для велосипедистов находится в удовлетворительном состоянии в Санкт-Петербурге и конечно с низкой культурой вождения этого вида транспорта.

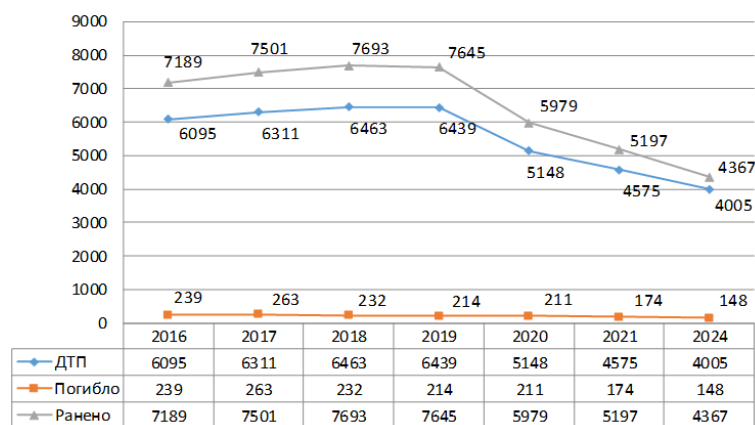


Рисунок 1.5 – Общая статистика ДТП по Санкт-Петербургу за период 2016-2024 гг.

Таблица 1.6 – Виды ДТП в г. Санкт-Петербург за период 2016-2024 гг.

№	Виды ДТП	2016г.	2020г.	2024г.
1	Столкновения	2455	2106	1335
2	Опрокидывание ТС	52	42	40
3	Наезд на стоящее ТС	226	213	162
4	Наезд на пешехода	2346	1866	1621
5	Наезд на препятствие	353	263	143
6	Наезд на велосипедиста	239	359	308
7	Наезд на гужевой транспорт	0	0	0
8	Падение пассажира	341	287	337
9	Наезд на животное	3	1	2
10	Иные виды	80	50	3
Итого		6095	5148	3951

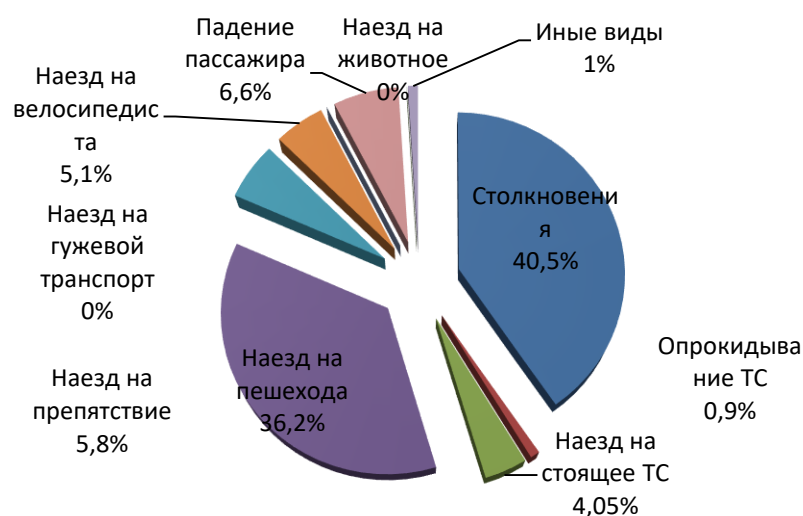


Рисунок 1.6 – Распределение количества ДТП по видам в г.Санкт-Петербург за период 2016-2024 гг.

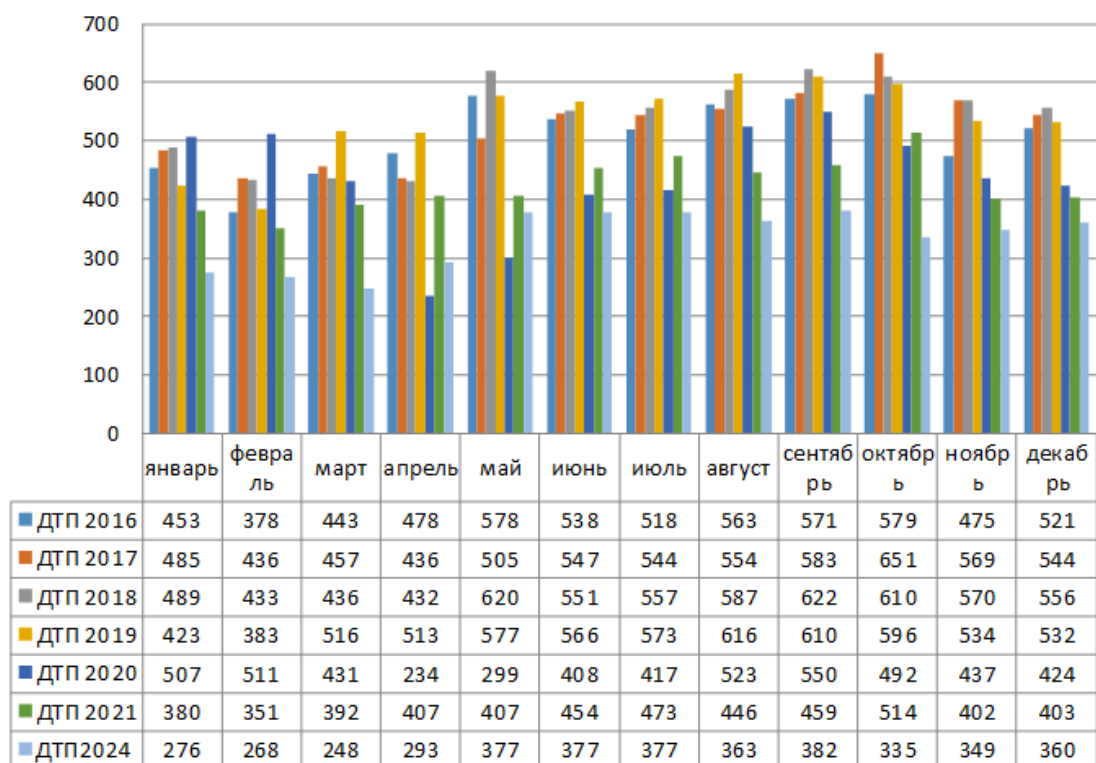


Рисунок 1.7 – Динамика распределения количества ДТП по месяцам в г. Санкт-Петербург за период 2016-2024 гг.

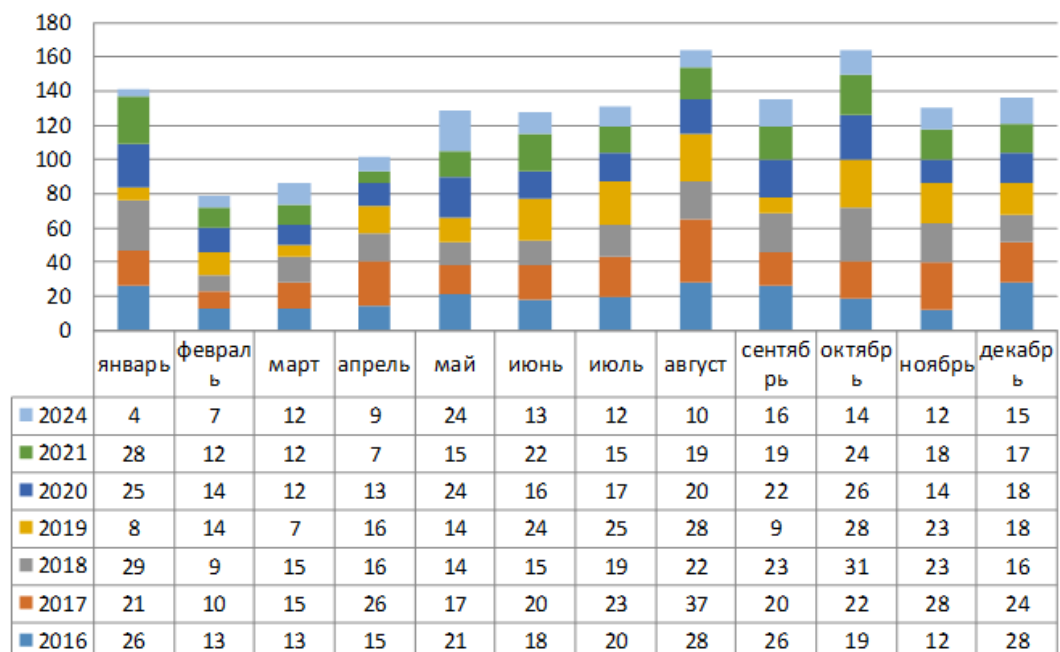


Рисунок 1.8 – Динамика изменения количества погибших в ДТП по месяцам в г. Санкт-Петербург за период 2016-2024 гг.

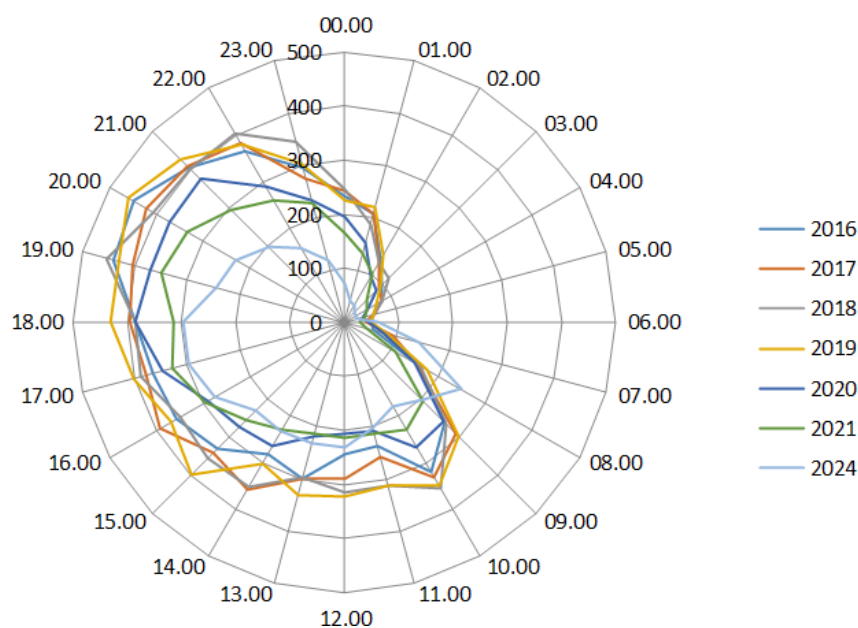


Рисунок 1.9 – Динамика распределения общего количества ДТП по времени суток в г. Санкт-Петербург за период 2016-2024 гг.

Основное количество произошедших ДТП в Санкт-Петербурге за последние 10 лет приходится на май, июнь, июль, сентябрь, с максимумом в сентябре (рисунок 1.7). При этом наибольшее количество погибших при ДТП в Санкт-Петербурге прослеживается в мае, июне и сентябре (рисунок 1.8), пиковое время для ДТП приходится в утреннее время с 08.00-10.00 и в вечерний час-пик с 16.00-20.00 (рисунок 1.9-1.10), а также по дням недели – большее количество возникает по понедельникам и средам (рисунок 1.15).

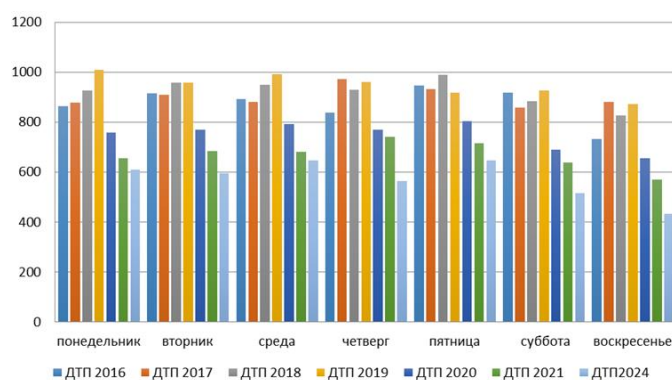


Рисунок 1.10 - Динамика распределения общего количества ДТП по дням недели в г. Санкт-Петербург за период 2016-2024 гг.

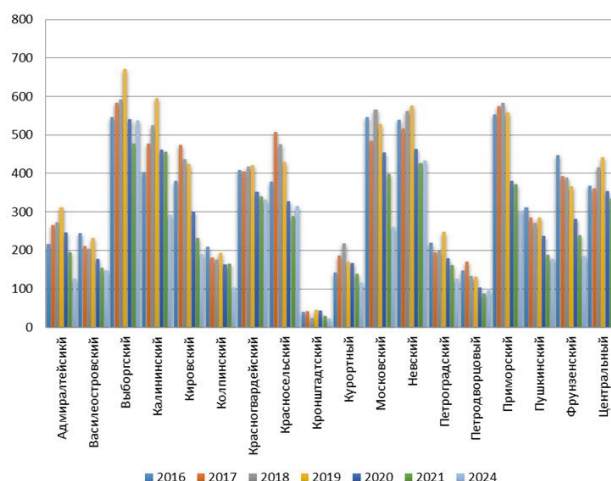


Рисунок 1.11 - Распределение количества ДТП по районам Санкт-Петербурга за период 2016-2024 гг.

На рисунке 1.11 представлено распределение количества ДТП в г. Санкт-Петербург по районам на период 2016-2024 гг., анализируя состояние БДД по данным районам, видно, что самыми небезопасными являются плотно населенные Выборгский, Московский, Невский и Приморский районы с значительной протяженностью автодорог.

### 1.3 Анализ и особенности возникновения ДТП на дорогах Ленинградской области

Протяженность современной развитой сети автомобильных дорог общего пользования Ленинградской области составляет 22742,5 км. В том числе на автомобильные дороги федерального значения приходится 1789,6 км. На автомобильные дороги межмуниципального и регионального значения приходится 9305,6 км. На автомобильные дороги местного значения - 11647,3 км.

В Северо-Западном федеральном округе Ленобласть занимает 2 место по показателям протяженности автомобильных дорог общего пользования, а 4-е место по плотности дорожной сети на 1000 кв.км.

По своему начертанию сеть автомобильных дорог Ленинградской области представляет собой радиально-кольцевую систему, центр ее в Санкт-Петербурге.



В целом по территории области проходят 9 дорог федерального значения, а также 931 автодорога регионального значения. Они образуют основу дорожной сети Ленинградской области.

Вокруг Санкт-Петербурга соединятся Кольцевой дорогой радиальные направления дорог и также хордовыми дорогами, которые расположены на разном удалении от СПб. Поэтому такое расположение сети автодорог показывает ее наиболее высокую плотность в пригородной зоне Санкт-Петербурга в сравнении с районами Ленинградской области находящихся на периферии.

Тот уровень развития автомобильных дорог общего пользования межмуниципального и регионального значения не отвечает в полном объеме потребностям населения и соответственно социально-экономическому развитию Ленинградской области. Это зависит от того, что:

1. 70% этих дорог имеют низкий технический уровень с низкими техническими категориями, а 36,2% имеют грунтовые покрытия или покрытия переходного типа.

2. Необходимо провести реконструкцию и капитальный ремонт более 170 мостовым сооружениям (это 40% от их общего количества), которые находятся на дорогах регионального и межмуниципального значения.

3. Только 45% автодорог соответствуют нормативным требованиям к транспортно-эксплуатационным показателям. На всех остальных дорогах необходимо провести ремонт либо реконструкции.

4. 70 км автодорог на подходе к Санкт-Петербургу утратили нормальную пропускную способность и функционируют в режиме перегрузки.

5. 200 железнодорожных переездов расположены на одном уровне с автодорогами, а это создает большой риск ДТП, теряется много времени, и становятся хуже условия движения пешеходов и автотранспорта.

6. В наиболее крупных районах Ленинградской области - Всеволожск, Волосово, Волхов и др. нет обхода. Соответственно дороги проходят в черте этих

населенных пунктов, что влияет на безопасность дорожного движения и экологию.

7. Около 800 сельских населенных пунктов Ленинградской области (28% от общего количества) не имеют круглый год постоянной связи с автодорогами с твердым покрытием, а 13 из этих районов население составляет более 100 человек.

8. Поскольку 1894 км (20% от общей протяженности дорожной сети) проходит в границах населенных пунктов Ленинградской области, это способствует снижению скоростного режима транспортных потоков и росту числа тяжести ДТП.

9. Небольшой уровень обустройства автодорог пешеходными переходами, тротуарами, велосипедными дорожками, конечно, техническими средствами организации движения (дорожные знаки, барьерные ограждения, разметка), элементами системы освещения также отрицательно сказываются на условиях и безопасности дорожного движения.

Все это стало поводом к попаданию региона в десятку наиболее негативного рейтинга регионов РФ по аварийности.

На территории Ленинградской области динамика изменения дорожно-транспортных происшествий за период 2016-2024 гг. была стабильной. Изменялась каждый год то в лучшую, то в худшую сторону (рисунок 1.12).

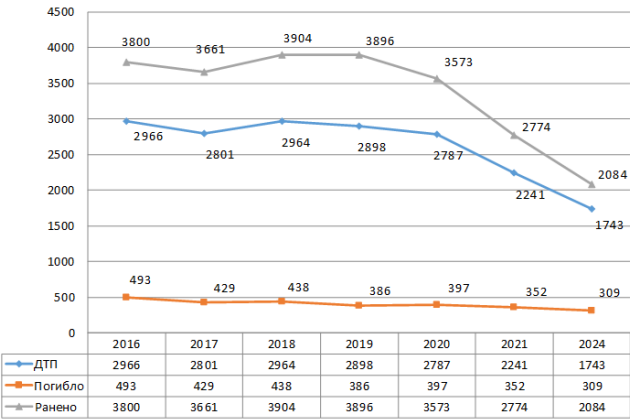


Рисунок 1.12 – Общая статистика ДТП и ее изменения по Ленинградской области за период 2016-2024 гг.

На территории Ленинградской области за последние 8 лет основной массив ДТП локализован с мая по сентябрь (рисунок 1.13-1.15), с максимумом в июле. Происходит это в летний «дачный» период. В этот период из г. Санкт-Петербурга транспортный поток движется в Ленинградскую область и обратно. Также в этот период ежемесячно на дорогах погибают свыше 45 человек, и самым пиковым временем ДТП является утренний час-пик с 09.00-10.00 и вечерний час-пик с 19.00-21.00 (рисунок 1.13-1.14), а также по дням недели – большее количество ДТП возникает по субботам и воскресеньям (рисунок 1.15).

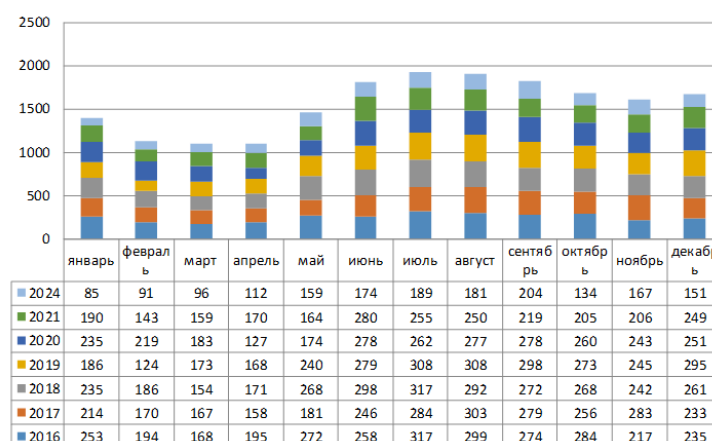


Рисунок 1.13 – Динамика распределения количества ДТП по месяцам в Ленинградской области за период 2016-2024 гг.

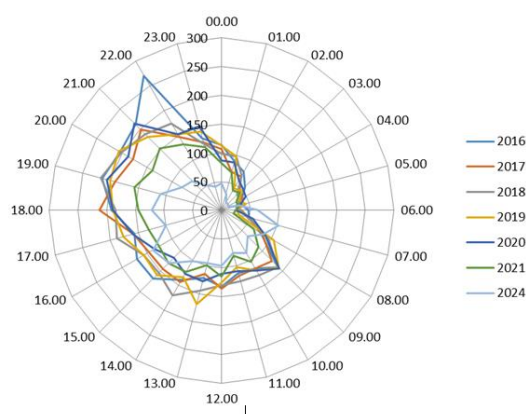


Рисунок 1.14 – Динамика изменения количества погибших в ДТП по месяцам в Ленинградской области за период 2016-2024 гг.

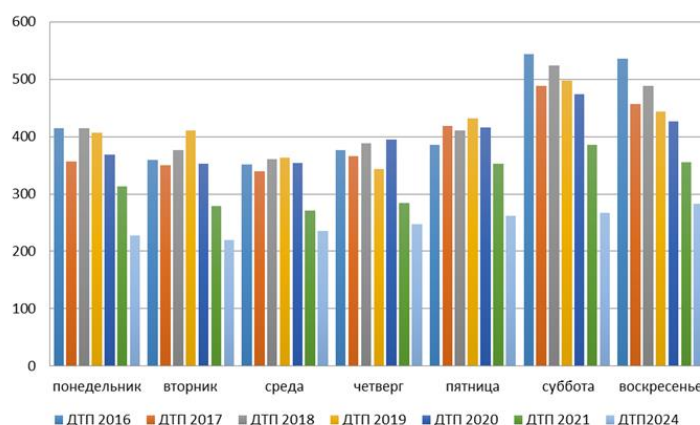


Рисунок 1.15 – Динамика распределения общего количества ДТП по дням недели в Ленинградской области за период 2016-2024 гг.

Таблица 1.7 – Виды ДТП в Ленинградской области за период 2016-2024 гг.

№	Виды ДТП	2016г.	2020г.	2024г.
1	Столкновения	1296	1097	723
2	Опрокидывание ТС	216	109	36
3	Наезд на стоящее ТС	107	113	68
4	Наезд на пешехода	716	664	440
5	Наезд на препятствие	233	215	82
6	Наезд на велосипедиста	84	93	81
7	Наезд на гужевой транспорт	0	0	0
8	Падение пассажира	21	27	19
9	Наезд на животное	21	31	27
10	Иные виды	21	4	2
Итого		2715	2353	1478

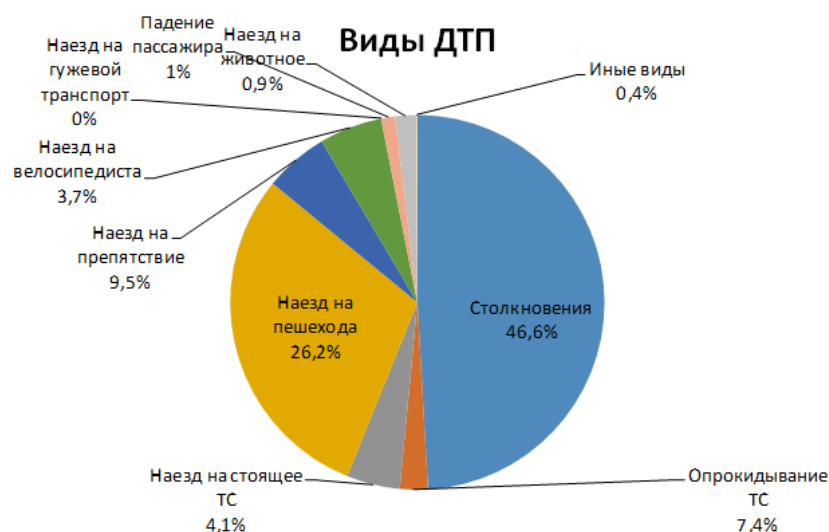


Рисунок 1.16 – Распределение количества ДТП по видам в Ленинградской области за период 2016-2024 гг.

Проведенный анализ распределения дорожно-транспортных происшествий на областных (региональных) дорогах Ленинградской области (таблица 1.7 и рис.1.16) показывает то, что самыми распространенными видами являются столкновения транспортных средств (48,9%), наезд на пешехода (29,7%), наезд на стоящее ТС (4,6%). Скачкообразным видом ДТП (то увеличивается, то уменьшается) является наезд на велосипедиста и составляет 5,4%. Наезд на препятствие уменьшился по сравнению с 2018 годом, это связано с улучшенной ситуацией правильной остановки транспортных средств на дорогах регионального и межмуниципального значения.

#### **1.4 Сравнительный анализ эффективности средств фиксации пространственно-следовой информации с места ДТП**

В общем ракурсе на процессы сопряженные с исследованием ДТП, при расследовании дорожно-транспортных происшествий обычно проводят следующие неотложные следственные действия: осмотр места происшествия, допрос водителей (при возможности), допрос свидетелей-очевидцев, допрос потерпевших (при возможности), назначение судебно-медицинской экспертизы (при наличии пострадавших), назначение автотехнической экспертизы (при необходимости). Общим вопросам реконструкции, моделирования и анализа ДТП посвящены работы [1-14].

Учитывая вышеизложенное, в целом по РФ, уровень полноты, качества и точности исходных данных и в частности ПСИ, предоставляемых экспертам для анализа и реконструкции ДТП (при проведении автотехнических, комплексных трасолого-автотехнических исследований, совместно с техническими, дорожными экспертизами и судебно-медицинскими исследованиями, при их необходимости в конкретном случае) можно в целом охарактеризовать как крайне низкий, создающий возможность внесения в процесс исследования субъективных искажений и не всегда обладающий допустимой точностью измерений. При этом инструментальный (цифровой) сбор первичной пространственно-следовой

информации в РФ не применяются. В связи с тем, что при осмотре места ДТП сотрудниками полиции на настоящий момент все измерения производятся, как правило, в ручную, цифровые данные с места ДТП и с объектов исследования не снимаются и в большинстве случаев к моменту начала исследования, эксперту приходится оперировать с недостаточным объемом первичной информации, что связано, в первую очередь, с низким техническим оснащением процесса сбора (осмотра) информации с места ДТП и объектов исследования. Здесь отметим, что в США и многих других западных странах полицейскими и экспертами при осмотре места ДТП используются лазерное сканирование с получением облаков точек данных, которые потом легко интегрируются в среды моделирования (программы PC-Crash, VirtualCrash, MapScenes и др.).

Как отмечалось ранее, а также в работах [18,19] 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 [23], 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 [19,21,22].

Низкое качество сбора ПСИ в целом, характерное для использования ручного сбора ПСИ, например, приводит к вынужденному положению, в котором при производстве ДТЭ отсутствие возможности определить место контакта вносит ограничения в исследование и в некоторых случаях делает невозможным определение скорости движения ТС. Следовательно, при отсутствии решений в вышеуказанных подобластях, решение в части определения причинной связи между скоростью ТС и ДТП, наличием у водителя технической возможности избежать ДТП и т.д., также становятся невозможным. Выводы ДТЭ в этом случае чаще всего бывают неконкретными (не категоричными), основанными на субъективных исходных данных, которые не могут быть проверены.

Вышесказанное, при рассмотрении проблемы максимизации точности и полноты фиксации ПСИ с места ДТП и с объектов исследования (ОИ), сильно сдерживает процессы цифровизации процедур модельно-ориентированной реконструкции ДТП (МОР) и в целом перехода к цифровой трансформации экспертного анализа и профилактики ДТП.

С целью поиска взаимосвязи между категоричностью полученных выводов по результатам дорожно-транспортной экспертизы (ДТЭ), объемом (качеством) исходной пространственно-следовой информации (ПСИ) с места ДТП и методами решения, использованными экспертами при производстве ДТЭ, а также для определения эффективности методов анализа и оптимизации решений, наиболее часто используемых в ДТЭ, были исследованы более 8500 ДТЭ (за период с 2010 по 2021 годы), выполнявшихся в рамках гражданского, административного и уголовного производства в государственных экспертных организациях Северо-западного федерального округа РФ (СЗФО РФ).

При этом под категоричностью результатов (выводов изложенных в ДТЭ) экспертного исследования 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 1.8.



Таблица 1.8 - Основные результаты анализа выборки ДТЭ

Анализируемые показатели по выполненным ДТЭ в СЗФО		Период исследования		
		с 2010 по 2013 годы	с 2014 по 2017 годы	с 2018 по 2021 годы
В рамках ДТЭ по ДТП со столкновением ТС, в % от общего их числа:	Дан отказ от установления фактической скорости движения ТС	56%	48%	45%
	Дан отказ от установления фактического места столкновения	52%	47%	43%
	Механизм столкновения реконструирован частично, преимущественно в описательной форме	62%	54%	51%
	Механизм столкновения не реконструировался, исследование полностью опирается на исходные данные, определенные по субъективным данным	59%	51%	47%
	Механизм столкновения реконструирован полностью и определены все его ПВХ стадий	10%	16%	18%
	Исследование опирается на данные полученные из анализа видеозаписи	3%	12%	17%
	Исследование опирается на данные следственного эксперимента	5%	12%	14%
	В исследовании использованы данные EDR, БУРС по ГОСТ Р 58840	0%	0,4%	0,6%
	Использованы индексы травмирования для оценки риска и установления причинной связи между фактической скоростью ТС и полученными травмами (водителем и/или пассажирами)	0%	0%	0,2%
В рамках ДТЭ по ДТП с наездом на пешехода, в % от общего их числа:	Дан отказ от установления фактической скорости движения ТС (пешехода)	62%	59%	55%
	Дан отказ от установления фактического места наезда на пешехода	51%	50%	48%
	Механизм наезда реконструирован частично, преимущественно в описательной форме	53%	56%	53%
	Механизм наезда не реконструировался, исследование полностью опирается на исходные данные, определенные по субъективным данным	45%	39%	39%
	Механизм наезда реконструирован полностью и определены все его ПВХ стадий	2%	5%	8%

Продолжение таблицы 1.8

	Исследование опирается на данные полученные из анализа видеозаписи	0%	1%	2%
	Исследование опирается на данные следственного эксперимента	4%	10%	14%
	В исследовании использованы данные EDR, БУРС по ГОСТ Р 58840	0%	0,1%	0,1%
	Использованы индексы травмирования для оценки риска и установления причинной связи между фактической скоростью ТС в момент наезда и полученными травмами	0%	0%	0%
Причины, использованные экспертами в мотивации отказа от определения МН и скорости движения	отсутствие научно-обоснованной и апробированной методики	51%	50%	51%
	отсутствие необходимых исходных данных	7%	10%	12%
	вышеперечисленное одновременно	42%	40%	37%

Во многих случаях по уголовным делам по ДТП широко встречается практика отказа эксперта от категоричных выводов (в частности по задачам: установления скорости движения ТС в момент столкновения или в момент наезда на пешехода, установления места начала контактно-следового взаимодействия). При этом в обоснование такого отказа в подавляющем большинстве случаев отсутствие вывода (или вероятностный вывод) эксперт мотивирует и аргументирует отсутствием научно-обоснованной и апробированной методики для решения предмета экспертного исследования (см. таблицу 1.8).

Кроме представленного, по данной выборке ДТЭ, выполненных в СЗФО, в указанный период, была проанализирована частота использования различных методов получения первичной и вторичной ПСИ, с учетом основных процедур, используемых в модельно-ориентированной реконструкции ДТП по [20]. Результаты данного анализа методов получения ПСИ показаны в таблице 1.9.

Таблица 1.9 - Частота применения различных методов фиксации ПСИ

процедура в МОР	вид получения ПСИ	Период исследования		
		с 2010 по 2013	с 2014 по 2017	с 2018 по 2021
при первичном осмотре ТС на месте ДТП	использован LIDAR	0%	0%	1%
	применена фотограмметрия	0%	1%	2%
	определено только высотное положение	39%	42%	44%
	измерений не проводилось	61%	57%	53%
при дополнительном осмотре ТС	использован LIDAR	0%	0%	1%
	применена фотограмметрия	0%	0%	1%
	определено только высотное положение	42%	54%	67%
	измерений не проводилось	56%	46%	43%
при осмотре места ДТП	все измерения выполнены рулеткой и/или дорожным курвиметром	76%	69%	65%
	использован LIDAR	3%	5%	5%
	применена фотограмметрия	2%	6%	5%
	Конечное положение ТС (иных объектов) не определено (убраны с места ДТП)	19%	20%	25%
при дополнительном осмотре места ДТП	все измерения выполнены рулеткой и/или дорожным курвиметром	99%	98%	96%
	использован LIDAR	0%	0%	1%
	применена фотограмметрия	1%	2%	3%
при реконструкции перемещений ОИ в стадиях механизма ДТП	использованы измерения первичного осмотра	94%	72%	69%
	использованы измерения дополнительного осмотра (совместно с первичным)	6%	28%	31%
	использованы цифровые данные	0%	0%	0%
при сопоставлении повреждений ТС	использованы данные о высотном положении очагов	96%	91%	84%
	применена фотограмметрия	4%	9%	15%
	использованы цифровые данные	0%	0%	1%

В ракурсе на указанные методы следует также оценить влияние погрешности измерений на результаты ДТЭ. Оценке неопределенности в экспертизе ДТП ранее были посвящены весьма немногочисленные работы [21,22], среди которых следует выделить общую черту, а именно то, что в них не выполнялся анализ точности сбора ПСИ с места ДТП с использованием

современных технологий. В этом ключе, следует также выделить наиболее типовые виды ошибок фиксации ПСИ, при различных видах осмотра места ДТП и ТС (первичный, вторичный), результаты обработки полученных данных показаны в таблице 1.10.

Таблица 1.10 - Результаты обработки

вид действия по получению и обработке ПСИ	типовая ошибка или типовая оценка качества фиксации ПСИ	период исследования		
		с 2010 по 2013	с 2014 по 2017	с 2018 по 2021
при осмотре ТС с использованием ручного измерительного инструмента	при оценке глубины внедрения, профиль недеформированного состояния нанесен условно	87%	74%	62%
	измерения выполнены на неподготовленной поверхности (уклоны, неровности, грязь, снег)	68%	64%	57%
	при осмотре процесс измерений зафиксирован на фото или видеозаписи	0,5%	1,2%	3,4%
	при определении высоты линейка установлена под углом	59%	52%	49%
при осмотре места ДТП измерения выполнены	с использованием рулетки и/или дорожного курвиметра	96%	95%	94%
	с использованием фотограмметрии	3,1%	3,2%	4,4%
	лазерным сканированием	0,2%	0,7%	0,8%
	привязкой к координатам GPS/ГЛОНАСС	0%	0,6%	0,7%
при масштабном воспроизведении выполненных замеров:	размеры привязки объектов полностью сходятся	68%	73%	77%
	размеры привязки объектов не сходятся, среди них не сходится 1-2 измерения	20%	16%	15%
	размеры привязки объектов не сходятся, среди них не сходится более 3 измерений	12%	11%	8%
оценка доли неопределенности при воспроизведении схемы	часть необходимых привязок не выполнена	65%	58%	53%
	часть необходимых привязок установлена дополнительным осмотром	87%	77%	67%
	часть необходимых привязок установлена по спутниковым фото	12%	17%	23%

Соответственно в границах вышеуказанной выборки по ДТЭ, были определены: доли вноса в погрешность расчета скорости движения ТС (при расчете по следам торможения, а также через закон сохранения количества движения по [1-3,10,12,19] – с учетом вноса ошибки в построение линий

отброса), доли вноса в расчет наличия или отсутствия технической возможности избежать ДТП. Результаты данной оценки показаны в таблице 1.11.

Очевидно, что ошибка измерения, внесенная в процессе фиксации ПСИ, в дальнейшем, при производстве ДТП может накапливать ошибку расчета, за счет накопления ошибок определения глубин внедрения, фактической массы ТС, массы пешехода, углов взаиморасположения и столкновения, углов отброса (сброса) и т.д. Что в конечном случае может приводить к весьма большому разбросу итоговых значений расчетов, выполняемых в ДТЭ и появлению некатегоричных выводов с граничными условиями (например: при скорости движения 62,1 км/ч водитель не имел ТВ, а при 72,1 км/ч уже имел ТВ (при дельте в  $\pm 5$  км/ч, от расчетных 67,1 км/ч).

Таблица 1.11 - Результаты данной оценки

Ошибка измерения при фиксации ПСИ		Итоговая ошибка построения линий отброса	Доля вноса в погрешность			
			расчета скорости		при определении ТВ	
			по следам торможения	через закон сохранения количества движения	в значение остановочного пути	в значение удаления
одного размера	на 0,1 м	$\pm 0,35$ м	$\pm 0,2$ км/ч	$\pm 0,17 \div 1,23$ км/ч	$\pm 0,671 \div 1,912$ м	$\pm 0,07 \div 1,4$ м
	на 0,3 м	$\pm 0,89$ м	$\pm 0,6$ км/ч	$\pm 0,5 \div 3,45$ км/ч	$\pm 1,104 \div 4,97$ м	$\pm 0,15 \div 2,6$ м
	на 0,5 м	$\pm 1,48$ м	$\pm 1,0$ км/ч	$\pm 0,83 \div 7,47$ км/ч	$\pm 2,842 \div 9,243$ м	$\pm 0,26 \div 5,1$ м
двух размеров	на 0,1 м	$\pm 0,78$ м	-	$\pm 0,23 \div 3,71$ км/ч	$\pm 1,075 \div 3,815$ м	$\pm 0,15 \div 3,0$ м
	на 0,3 м	$\pm 1,81$ м	-	$\pm 0,69 \div 6,82$ км/ч	$\pm 1,783 \div 6,32$ м	$\pm 0,25 \div 5,0$ м
	на 0,5 м	$\pm 3,64$ м	-	$\pm 1,15 \div 9,74$ км/ч	$\pm 3,565 \div 12,646$ м	$\pm 0,5 \div 10,0$ м

Для обоснования необходимости рассматриваемого этапа цифровизации процедур предпроцессинга в МОР, был выполнен анализ эффективности технологий и средств фиксации ПСИ с места ДТП и ОИ по индексированным критериям, показанным в таблице 1.12. Результаты сравнительного анализа эффективности средств фиксации пространственно-следовой информации с места ДТП по базовым критериям оценки показаны в таблице 1.13.

Кроме того было выполнено сравнение ключевых технологий сбора и фиксации ПСИ и ОИ на месте ДТП по расширенным критериям оценки, результаты сравнения показаны в таблице 1.14.

Таблица 1.12 - Анализ эффективности технологий и средств фиксации ПСИ с места ДТП и ОИ по индексированным критериям

Критерии оценки	Индекс оценки		
	-	+/-	+
Безопасность лица, осуществляющего работы по фиксации ПСИ	низкая	средняя	высокая
Скорость оформления	длительное оформление	умеренное время оформления	быстрое оформление
Точность фиксации ПСИ	низкая	средняя	высокая

Таблица 1.13 - Анализа эффективности средств фиксации пространственно-следовой информации с места ДТП по базовым критериям оценки

Оборудование и/или технологии, используемые для сбора данных для дальнейшей реконструкции	Критерии оценки		
	Скорость оформления	Безопасность лица, осуществляющего работы по фиксации ПСИ	Точность фиксации ПСИ
Механические измерительные приборы	-	-	-
Фотограмметрия	+	+	+/-
Приборы, работающие по технологии LIDAR	+/-	+	+/-
Электронные тахеометры	-	+/-	+
Безотражательные электронные тахеометры	+	+	+/-
Приборы GPS	+	+/-	+/-
Моторизованные электронные тахеометры	+	+	+
Роботизированные электронные тахеометры	+	+	+
ImagingStation	+	+	+
3D-лазерное сканирование	+/-	+	+
БПЛА	+	+	+
Гибридные электронные тахеометры	+	+	+

Данные по бортовым устройствам регистрации событий (БУРС) используются преимущественно только в уголовных делах, при этом результаты сканирования приобщаются к материалам дела. По всей России, имеются не более 30-40 случаев, когда блоки изъятые с ТС, органы судов или следствия отправляли на дешифровку в страны Европейского Союза (в частности в Германию, Польшу,

Латвию). Во всех таких случаях результаты дешифровки данных остаются в материалах дела и недоступны для получения сторонними исследователями.

Таблица 1.14 - Сравнение ключевых технологий сбора и фиксации ПСИ и ОИ на месте ДТП по расширенным критериям оценки

Расширенные критерии оценки	Обычный (традиционный) метод с использованием ручных измерений	Триангуляция фотоизображений в 2D планы с использованием ПО типа PC-Rect	Анализ фотографий в 3D сцены с использованием ПО типа MapScenes	3D лазерное сканирование	Применение БПЛА с фотокамерами
Технические средства	Измерение расстояний ручными инструментами, использование чертежных инструментов	Фотокамера со специализированным ПО, стационарный компьютер	Фотокамера, точки привязки(опорные точки), специализированное ПО, стационарный компьютер	Лазерный сканер, специализированное ПО, ноутбук или планшет	БПЛА с фотокамерой, точки привязки (опорные точки), специализированное ПО, ноутбук планшет
Технологические процессы	Составление схемы вручную	Обработка данных в ПО	Обработка данных в ПО	Обработка данных в ПО	Обработка данных в ПО
	Иногда в CAD-системе	Работа в CAD-	Работа в CAD- системе	Работа в CAD-системе	Работа в CAD-системе
Вспомогательные средства	Не применяются	аэро и спутниковые снимки, топография, паспорта дорог, схемы ОДД	аэро и спутниковые снимки, топография, паспорта дорог, схемы ОДД	Не требуются	Не требуются
Подготовка на месте ДТП	Формирование ручной схемы ДТП на основании измеренных расстояний	Расстановка опорных точек (точек привязки)	Расстановка опорных точек (точек привязки)	Не требуется	Расстановка опорных точек (точек привязки)
Требуемое время на работу на месте ДТП	От 20 минут до 2 часов	От 10 до 20 минут	От 20 до 40 минут	От 15 до 45 минут	от 5 до 15 минут

Продолжение таблицы 1.14

Требуемое время для обработки данных	От 2 до 6 часов	От 1 до 3 часов	От 3 до 10 часов	От 30 минут до 2 часов	от 3 до 35 минут
Затраты на выполнение работ по фиксации ОИ на месте ДТП	от средних до значительных	низкие	от средних до значительных	от низких до средних	от низких до средних
Затраты на работу при подготовке к фиксации места ДТП	от средних до значительных	от средних до значительных	очень высокие	низкие	средние
Требования к обучению персонала	низкие (владение основами черчения, навыки работы в CAD), допускается приобретение необходимых навыков на рабочем месте	средние (владение ПО, основами фотограмметрии), возможно индивидуальное обучение	высокие, необходимо прохождение специализированных курсов повышения квалификации		

В реальной экспертной практике по ДТП фотограмметрические исследования используется весьма редко, наиболее распространены экспертизы с анализом видеозаписей (из-за все более возрастающего покрытия наружными камерами наблюдения сети автомобильных дорог, городских систем наблюдения и т.п., а также из-за все большей доступности конечным пользователям видеорегистраторов в салоне ТС).

В связи тем, что алгоритм Crash3 (метод унифицированной трехсторонней жесткости) так и не принят официально для органов ЛСЭ МЮ и ЭКЦ МВД, его применение на практике сильно ограничено. Соответственно необходимость сканирования ТС с целью получения высокоточных значений объема внедрения в локальной зоне деформаций ТС крайне низка. В единичных случаях лазерное сканирование применяется также для задач определения взаиморасположения,



определения факта контактно-следового взаимодействия с целью объемного совмещения локализаций деформаций, т.е. для задач транспортной трасологии. Требования к оборудованию и к данным при сканировании, требования к применению БПЛА для съемки ТС и/или места ДТП в РФ также нормативно не определены.

Сканирование деформаций при осмотре места ДТП и ОИ в РФ не производится, если таковое и имело место в отечественной практике, то данные о таком прецеденте найти и получить для исследования не представляется возможным, т.к. в любом случае это материалы дела (уголовного или гражданского).

### **1.5 Анализ категоричности выводов по ДТЭ**

С целью выявления взаимосвязи между категоричностью полученных выводов по результатам ДТЭ, объемом исходной ПСИ и методами решения, использованными в ДТЭ, а также для определения характера динамики сужения вариативности выводов при использовании 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 3385 ДТЭ (за период с 2013 по 2023 годы), выполнявшихся в рамках гражданского, административного и уголовного производства в государственных экспертных организациях Северо-Западного региона РФ (в анализ были включены только комплексные исследования).

Выполненный анализ ДТЭ по попутным задним КСВ (столкновениям движущихся попутно ТС и наездам на стоящее ТС или группу ТС) позволил вывить следующие проблемы:

– в 78% исследований эксперты указывали на невозможность установления скорости движения в момент начала КСВ по причине отсутствия научно-обоснованной методики расчета затрат энергии на деформацию;

– в 87% ДТЭ, где для расчета применялся метод трехсторонней унифицированной жесткости (алгоритм Crash3) использовались коэффициенты жесткости, полученные на ТС до 2009 года выпуска, при этом эксперты указывали на погрешность расчета скорости не менее чем в  $\pm 10$  км/ч, что в 45% таких ДТЭ приводило к отсутствию категоричного вывода о наличии/отсутствии у водителя ТВ избежать ДТП;

– в 53% ДТЭ эксперты также не дали категоричный вывод по месту начала КСВ, также обосновывая отказ от исследования отсутствием научно-обоснованной методики;

– среди рассмотренной выборки ДТЭ по попутным задним КСВ также следует отметить, что в 91% ДТЭ по таким ДТП экспертами не проводилась оценка влияния фактической скорости на травмирование водителя и/или пассажиров относительно случая движения ТС с максимально допустимой по ПДД скоростью движения до ДТП.

На рисунке 1.17 показано, как в течение рассматриваемого периода возрастал объем применения расчета скорости по затратам энергии и по видео. Однако всеобщего применения он так и не нашел, в силу указанных ранее причин. При этом в таблице 1.15 показано, что метод унифицированной трехсторонней жесткости все еще остается малоиспользуемым экспертами при ДТЭ.

Указанные явления свойственны не только рассмотренному региону, а в целом сложившейся практике производства ДТЭ в РФ. Это практика формирует прецедент изоляции ДТЭ от экспертной профилактики ДТП, существенно сдерживая развитие ее методов, так как не выявление истинных причин реальных событий исключает разработку мер по их предотвращению.

Применение устаревших значений коэффициентов жесткости вскрывает целый ряд проблемных областей в ДТЭ:

а) несоответствие расчетных значений, обусловленное существенным изменением конструкционных (эксплуатационных) требований ТС, приводит к тому, что имеющиеся табличные значения не могут быть применены для ТС, выпущенных после 2009 года;

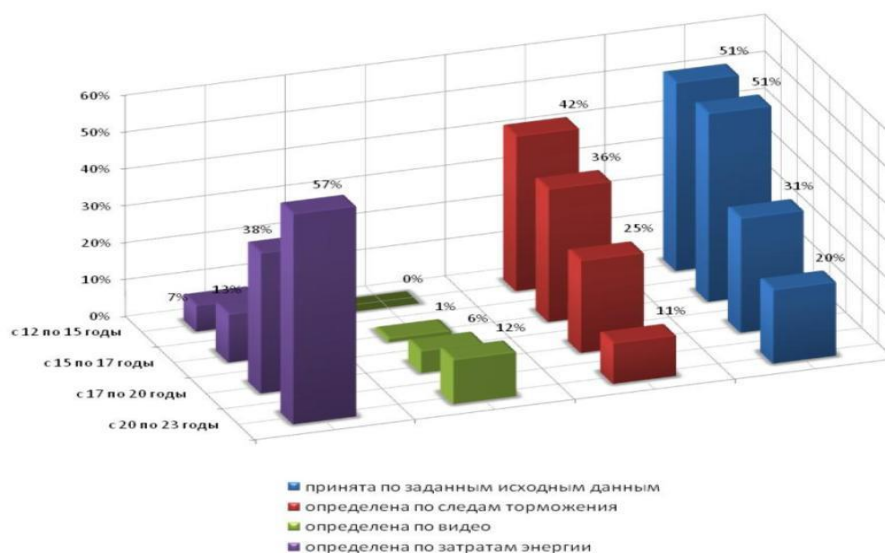


Рисунок 1.17 - Изменение применяемых методов ДТЭ при определении скорости ТС в исследовании по годам

б) существенная погрешность расчета, особенно в случаях КСВ с неполным перекрытием или под углом более 20°;

в) при расчете значений коэффициентов А и В, значения пороговой скорости для задних ударов избирается только по результатам краш-тестов, которые будучи индивидуальными для каждой марки и модели (модельного ряда) не могут быть применены на те, ТС которые (например есть тест на ТС в модельного ряда, но в кузове седан, а в ДТП участвовал кузов универсал) в тестах не исследовались.

Таблица 1.15 - Изменение применения метода унифицированной трехсторонней жесткости по годам

Период в годах	Расчет скорости без учета деформаций	Расчет скорости с учетом деформаций	
		из них по данным краш-теста	из них по унифицированным коэф. жесткости
С 12 по 15 год	98%	2%	
		1%	99%
с 15 по 17 год	78%	22%	
		40%	60%
с 17 по 20 год	72%	28%	
		41%	59%

с 20 по 23 год	68%	32%	
		43%	57%

## 1.6 Выводы по Главе 1

1. Основными причинами возникновения ДТП являются: усталость и физическое недомогание водителя; неопытность водителя; факторы, отвлекающие водителя от дороги; алкогольное или наркотическое опьянение; превышение скорости движения; нарушение ПДД водителями (маневрирование, обгон, несоблюдение безопасной дистанции, невыполнение требований дорожных знаков, светофоров), нарушение ПДД пешеходами; не соответствующее нормам техническое состояние ТС; неблагоприятные погодные условия; некачественное дорожное покрытие; доступность и видимость дорожных знаков и разметки.

2. Основное количество произошедших ДТП в Санкт-Петербурге за последние 10 лет приходится на май, июнь, июль, сентябрь, с максимумом в сентябре. При этом наибольшее количество погибших при ДТП в Санкт-Петербурге прослеживается в мае, июне и сентябре, пиковое время для ДТП приходится в утреннее время с 08.00-10.00 и в вечерний час-пик с 16.00-20.00, а также по дням недели – по понедельникам и средам .

3. Анализируя состояние БДД по районам СПб, отмечено, что самыми небезопасными являются плотно населенные Выборгский, Московский, Невский и Приморский районы с значительной протяженностью автодорог.

4. На территории Ленинградской области за последние 8 лет основной массив ДТП локализован локализован с мая по сентябрь. Происходит это в летний «дачный» период. В этот период из г.Санкт-Петербурга транспортный поток движется в Ленинградскую область и обратно. Также в этот период ежемесячно на дорогах погибают свыше 45 человек, и самым пиковым временем ДТП является утренний час-пик с 09.00-10.00 и вечерний час-пик с 19.00-21.00, а также по дням недели – большее количество ДТП возникает по субботам и

воскресеньям.

5. Проведенный анализ распределения дорожно-транспортных происшествий на областных (региональных) дорогах Ленинградской области показывает то, что самыми распространенными видами являются столкновения транспортных средств (48,9%), наезд на пешехода (29,7%), наезд на стоящее ТС (4,6%). Скачкообразным видом ДТП (то увеличивается, то уменьшается) является наезд на велосипедиста и составляет 5,4%.

6. Учитывая вышеизложенное, следует сделать следующие выводы и выделить некоторые особенности реальной практики производства экспертизы ДТП в РФ, свойственные сложившейся методологии в экспертизе ДТП: в связи тем, что алгоритм Crash3 (метод унифицированной трехсторонней жесткости) так и не принят официально для органов ЛСЭ МЮ и ЭКЦ МВД, его применение на практике сильно ограничено; низкое качество сбора ПСИ в целом, характерное для использования ручного сбора ПСИ, например, приводит к вынужденному положению, в котором при производстве ДТЭ отсутствие возможности определить место контакта вносит ограничения в исследование и в некоторых случаях делает невозможным определение скорости движения ТС. Следовательно, при отсутствии решений в вышеуказанных подобластях, решение в части определения причинной связи между скоростью ТС и ДТП, наличием у водителя технической возможности избежать ДТП и т.д., также становятся невозможным. Выводы ДТЭ в этом случае чаще всего бывают неконкретными (не категоричными), основанными на субъективных исходных данных, которые не могут быть проверены.

## ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТС

### 2.1 Математическая модель заднего попутного столкновения двух транспортных средств

Моделирование заднего попутного столкновения с помощью модели теории упругости предполагает использование математической модели, которая состоит из двух масс, связанных пружиной глобальной жесткости  $C$ . Контактная пружина представляет глобальную жесткость двух транспортных средств, входящих в столкновение спереди/сзади. Эта модель используется для теоретического определения функций времени скорости, ускорения и деформации автотранспортных средств при передне-заднем центрированном ударе.

Определение теоретических функций времени скорости, ускорения и деформаций автомобилей при центрированном ударе сзади. Упрощенная математическая модель состоит из двух масс, связанных пружиной глобальной жесткости  $C$ . [8]

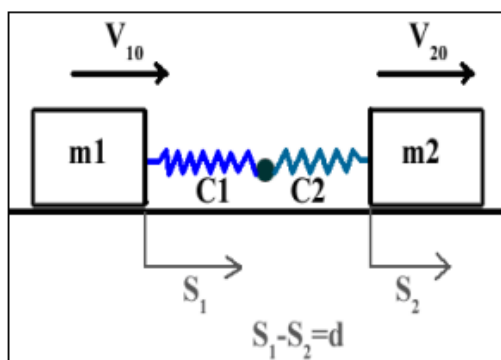


Рисунок 2.1 - Схема модели столкновения двух автомобилей, ассимилированная из теоретической модели колебаний

Отмечая с индексом 1 транспортное средство, движущееся сзади и с индексом 2 спереди, получаем глобальную жесткость:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}; \quad (2.1)$$

Учитывая, что при столкновении транспортных средств две массы сцеплены друг с другом в пружине жесткости  $C$ , уравнения движения имеют вид:

$$m_1 \times \frac{d^2 s_1}{dt^2} = -C \times (s_1 - s_2); \quad (2.2)$$

$$m_2 \times \frac{d^2 s_2}{dt^2} = C \times (s_1 - s_2); \quad (2.3)$$

Из первого отношения получается следующее:

$$\frac{m_1}{C} \times \ddot{s}_1 + s_1 = s_2; \quad (2.4)$$

После второго вывода заменяем в соотношении (3), получается дифференциальное однородное уравнение IV порядка:

$$\frac{m_1 \times m_2}{C} \times S^{(IV)} + (m_1 + m_2) \times S^{(II)} = 0; \quad (2.5)$$

Характеристическое уравнение:

$$\frac{m_1 \times m_2}{C} \times \lambda^4 + (m_1 + m_2) \times \lambda^2 = 0; \quad (2.6)$$

Где:

$$\lambda_1 = 0; \quad (2.7)$$

$$\lambda_2 = 0; \quad (2.8)$$

$$\frac{m_1 \times m_2}{C} \times \lambda^2 + (m_1 + m_2) = 0; \quad (2.9)$$

$$\lambda_{3/4} = \pm j \times \sqrt{\frac{(m_1 + m_2) \times C}{m_1 \times m_2}} = \pm j\omega; \quad (2.10)$$

**$\omega$**  - системная ритмическая вариация

Для первого автомобиля:

Общее решение для расчета пространства (пройденного расстояния при деформации) формируется следующим уравнением:

$$s_1 = A \times t + B \times t^2 + R \times \sin \omega + D \times \cos \omega; \quad (2.11)$$

Скорость автомобиля 1 в зависимости от времени:

$$v_1 = \dot{s}_1 = A + 2 \times B \times t + \omega \times R \times \cos \omega t - \omega \times D \times \sin \omega t \quad (2.12)$$

Отрицательное ускорение:

$$a_1 = \ddot{s}_1 = 2 \times B - \omega^2 \times R \times \sin \omega t - \omega^2 \times D \times \cos \omega t \quad (2.13)$$

Аналогично для второго автомобиля:

$$s_2 = \frac{m_1}{c} \times (2 \times B - \omega^2 \times R \times \sin \omega t - \omega^2 \times D \times \cos \omega t) + A \times t + B \times t^2 + R \times \sin \omega t + D \times \cos \omega t; \quad (2.14)$$

$$v_2 = \dot{s}_2 = \frac{m_1}{c} \times (-\omega^3 \times R \times \cos \omega t + \omega^3 \times D \times \sin \omega t) + A + 2 \times B \times t + \omega \times R \times \cos \omega t - \omega \times D \times \sin \omega t; \quad (2.15)$$

$$a_2 = \ddot{s}_2 = \frac{m_1}{c} \times (\omega^4 \times R \times \sin \omega t + \omega^4 \times D \times \cos \omega t) + 2 \times B - \omega^2 \times R \times \sin \omega t + D \times \cos \omega t; \quad (2.16)$$

$$\begin{cases} A = v_{10}(v_{10} - v_{20}) \times \frac{c}{\omega^2 \times m_1}; \\ B = 0; \\ D = 0; \\ R = (v_{10} - v_{20}) \times \frac{c}{\omega^3 \times m_1}; \end{cases} \quad (2.17)$$

Это отношение становится недействительным в конце фазы компрессии, когда:

$$\omega \times t = \frac{\pi}{2}; \quad (2.18)$$

и

$$\omega = \frac{\pi}{2 \times t}; \quad (2.19)$$

Заменяя константы интегрирования, получаем:

Для автомобиля 1

$$s_1 = \left[ v_{10} + (v_{10} - v_{20}) \times \frac{c}{\omega^2 \times m_1} \right] \times t + (v_{10} - v_{20}) \frac{c}{\omega^3 \times m_1} \times \sin \omega t; \quad (2.20)$$

$$v_1 = \dot{s}_1 = v_{10} + (v_{10} - v_{20}) \times \frac{c}{\omega^2 \times m_1} + \omega \times (v_{10} - v_{20}) \times \frac{c}{\omega^3 \times m_1} \times \cos \omega t; \quad (2.21)$$

$$a_1 = \ddot{s}_1 = -\omega^2 \times (v_{10} - v_{20}) \times \frac{c}{\omega^3 \times m_1} \times \sin \omega t; \quad (2.22)$$

Для автомобиля 2

$$s_2 = \frac{m_1}{c} \times \left( -\omega^2 \times (v_{10} - v_{20}) \times \frac{c}{\omega^3 \times m_1} \times \sin \omega t \right) + (v_{10} - v_{20}) \times \frac{c}{\omega^3 \times m_1} \times \sin \omega t + v_1 + (v_{10} - v_{20}) \times \frac{c}{\omega^2 \times m_1} \times t; \quad (2.23)$$

$$v_2 = \dot{s}_2 = \frac{m_1}{c} \times \left( -\omega^3 \times (v_{10} - v_{20}) \times \frac{c}{\omega^3 \times m_1} \times \cos \omega t \right) + v_{10} + (v_{10} - v_{20}) \times \frac{c}{\omega^2 \times m_1} + \omega \times (v_{10} - v_{20}) \times \frac{c}{\omega^3 \times m_1} \times \cos \omega t; \quad (2.24)$$



$$a_2 = \dot{s}_2 = \frac{m_1}{c} \times (\omega^4 \times (v_{10} - v_{20}) \times \frac{c}{\omega^3 \times m_1} \times \sin \omega t) - \omega^2 \times (v_{10} - v_{20}) \times \frac{c}{\omega^3 \times m_1} \times \sin \omega t; \quad (2.25)$$

Результаты уравнений движения для двух автомобилей выглядят следующим образом:

Для автомобиля 1:

$$\begin{cases} s_1 = \left[ v_{10} + (v_{20} - v_{10}) \times \frac{c}{m_1 \times \omega^2} \right] \times t - (v_{20} - v_{10}) \times \frac{c}{m_1 \times \omega^3} \times \sin \omega t; \\ v_1 = \dot{s}_1 = v_{10} + (v_{20} - v_{10}) \times \frac{c}{m_1 \times \omega^2} \times (1 - \cos \omega t); \\ a_1 = \ddot{s}_1 = (v_{20} - v_{10}) \times \frac{c}{m_1 \times \omega} \times \sin \omega t. \end{cases} \quad (2.26)$$

Для автомобиля 2:

$$\begin{cases} s_2 = \frac{(v_{20} - v_{10})}{\omega} \times \sin \omega t \times \left( 1 - \frac{c}{m_1 \times \omega^2} \right) + \left[ v_{10} + (v_{20} - v_{10}) \times \frac{c}{m_1 \times \omega^2} \right] \times t; \\ v_2 = \dot{s}_2 = (v_{20} - v_{10}) \times \cos \omega t + v_{10} + (v_{20} - v_{10}) \times \frac{c}{m_1 \times \omega^2} \times (1 - \cos \omega t); \\ a_2 = \ddot{s}_2 = (v_{20} - v_{10}) \times \left( \frac{c}{m_1 \times \omega} - \omega \right) \times \sin \omega t. \end{cases} \quad (2.27)$$

Максимальная амплитуда определяется временным сжатием  $t_c$ , когда:

$$\omega \times t_c = \frac{\pi}{2}; \quad (2.28)$$

$$\sin \omega t = 1; \quad (2.29)$$

Подставляем в уравнения, получаем результат:

Для автомобиля 1:

$$\begin{cases} s_1 = \left[ v_{10} - v_{10} \times \frac{c}{m_1 \times \omega^2} \right] \times t + v_{10} \times \frac{c}{m_1 \times \omega^3}; \\ \dot{s}_1 = v_{10} - v_{10} \times \frac{c}{m_1 \times \omega^2}; \\ \ddot{s}_1 = -v_{10} \times \frac{c}{m_1 \times \omega}; \end{cases} \quad (2.30)$$

$$\begin{cases} s_2 = -\frac{v_{10}}{\omega} \times \left( 1 - \frac{c}{m_1 \times \omega^2} \right) + \left[ v_{10} - v_{10} \times \frac{c}{m_1 \times \omega^2} \right] \times t; \\ \dot{s}_2 = v_{10} - v_{10} \times \frac{c}{m_1 \times \omega^2}; \\ \ddot{s}_2 = -v_{10} \times \left( \frac{c}{m_1 \times \omega} - \omega \right); \end{cases} \quad (2.31)$$

Из взаимосвязи с пульсацией (ритмичными колебаниями) во время сжатия вытекает результат глобальной жесткости  $C$ :

$$\omega = \frac{\pi}{2 \times t c}; \quad \omega = \sqrt{\frac{(m_1 + m_2) \times C}{m_1 \times m_2}}; \quad (2.32)$$

$$\Rightarrow C = \frac{\omega^2 \times m_1 \times m_2}{m_1 + m_2}; \quad (2.33)$$

$$\Rightarrow C_{1,2} = C \times \frac{d}{d_{1,2}}; \quad (2.34)$$

Поскольку :

$$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}; \quad (2.35)$$

$$\Rightarrow C_1 = C \times \frac{d}{d_1}; \quad (2.36)$$

и

$$\Rightarrow C_2 = C \times \frac{d}{d_2}; \quad (2.37)$$

Из определения эквивалентной энергии деформации следует:

$$C \times (d_{din} \times d_{st}) = EES^2 \times m_{tot}; \quad (2.38)$$

Где:

$$d_{din} = 1.1 \times d_{st}; \quad (2.39)$$

и

$$m_{tot} = m_1 + m_2; \quad (2.40)$$

$$\Rightarrow C \times d_{st}^2 \times 1.1 = EES^2 \times m_{tot}$$

$$EES = d_{st} \times \sqrt{\frac{1.1 \times C}{m_{tot}}}; \quad (2.41)$$

и

$$EES = \frac{d}{1.1} \times \sqrt{\frac{1.1 \times C}{m_{tot}}}; \quad (2.42)$$

С тех пор как:

$$\frac{m_1 \times EES_1^2}{2} + \frac{m_2 \times EES_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) \times EES^2}{2}; \quad (2.43)$$

$$\frac{m_1 \times EES_1^2}{2} + \frac{m_2 \times EES_2^2}{2} = \frac{C \times d_{st}^2 \times 1.1}{2}; \quad (2.44)$$

$$\frac{1}{2} \times m_1 \times EES_1^2 = \frac{1}{2} \times C_1 \times d_{st1} \times d_1;$$

$$\frac{1}{2} \times m_2 \times EES_2^2 = \frac{1}{2} \times C_2 \times d_{st2} \times d_2; \quad (2.45)$$

$$d_1 = d_{st1} + 0.1 \times d_{st1} = 1.1 \times d_{st1};$$

$$d_2 = 1.1 \times d_{st2}; \quad (2.46)$$

$d_1$  - динамическая деформация на 10% больше, чем измеренная статическая деформация после столкновения.

$$\frac{m_1 \times EES_1^2}{m_2 \times EES_2^2} = \frac{C_1}{C_2} \times \frac{d_1}{d_2}; \quad (2.47)$$

$$\text{и } EES = d_{st} \times \sqrt{\frac{1.1 \times C}{m_{tot}}}; \quad (2.48)$$

$$d_1 = d_{st1} + 0.1 \times d_{st1} = 1.1 \times d_{st1}; \quad (2.49)$$

$$d_2 = 1.1 \times d_{st2}; \quad (2.50)$$

где  $s_1$  и  $s_2$  - расстояние, пройденное транспортным средством 1 и 2 в фазе сжатия;

$C$  - коэффициент глобальной жесткости;

$C_{1,2}$  - коэффициент жесткости транспортных средств 1 и 2;

$d$  - глобальная деформация;

$d_{1,2}$  - деформация ( $d_{st} + d_{din}$ ) за время сжатия транспортных средств 1 и 2;

$d_{st}$  - статическая деформация;

$d_{din}$  - динамическая деформация;

$d$  - динамическая деформация выше, чем примерно 10-процентная статическая деформация, измеренная после удара.

EES - эквивалентная энергия скорости деформации.

При реконструкции механизма столкновения необходимо выяснить динамические явления, протекающие в процессе удара, определить параметры, характерные для данного явления, по состоянию и положению ТС после столкновения. Для этого нужно установить потери кинетической энергии, возникшей при ударе двух автомобилей. На основании закона сохранения количества движения:

$$m_1 V_{1n} + m_2 V_{2n} = m_1 V'_{1n} + m_2 V'_{2n} \quad (2.51)$$

где  $m_1, m_2$  - массы первого и второго автомобилей;

$V_{1n}, V_{2n}$  - проекции скоростей на линию удара первого и второго автомобилей перед столкновением;

$V'_{1n}, V'_{2n}$  - проекции скоростей на линию удара первого и второго автомобилей после столкновения.

Степень упругости удара принято оценивать коэффициентом восстановления:

$$\varepsilon = \frac{V'_{2n} - V'_{1n}}{V_{1n} - V_{2n}} \quad (2.52)$$

При упругом ударе тел происходит восстановление их первоначальной формы за счет накопившейся в них потенциальной энергии упругой деформации.

Упругопластические материалы, из которых состоят ТС, имеют ограниченную зону упругих деформаций, и при возникновении в месте удара напряжения величиной выше предела текучести материала вследствие удара возникают пластические деформации. Такой удар является неупругим. Предельное значение скорости при которой не возникают пластические деформации, как правило невелико, например, для кузова вагонного типа ее значение не превышает 7 км/ч.

В общем случае  $0 < \varepsilon < 1$  и, например, при лобовом, угловом или попутном столкновении двух автомобилей после фаз упругой и пластической деформаций происходит частичное совместное перемещение, а затем остановка одного из них и дальнейшее перемещение одного из них или перемещение обоих, но с различными скоростями. Их скорости можно определить по следующим зависимостям:

$$V'_{1n} = V_{1n} - (1 + \varepsilon) \frac{m_2}{m_1 + m_2} (V_{1n} - V_{2n}) \quad (2.53)$$

$$V'_{2n} = V_{2n} - (1 + \varepsilon) \frac{m_1}{m_1 + m_2} (V_{1n} - V_{2n}) \quad (2.54)$$

Направление и характер перемещений обоих автомобилей в этом случае зависит от направления удара, зон взаимного контактирования, количества движения контактируемых автомобилей и др.

Расчет скорости ТС при различных видах столкновения, на основании закона сохранения количества движения, с учетом коэффициента восстановления, представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Скорости ТС при различных видах столкновения

№ п/п	Качественная характеристика столкновения	Запись закона сохранения количества движения	Коэффициент восстановления	Скорость ТС в соответствующих фазах
-------	--	--	----------------------------	-------------------------------------

1	2	3	4	5
1	Попутное столкновение ТС, в результате которого они движутся в первоначальном направлении	$m_1 V'_{1n} + m_2 V'_{2n} = m_1 V_{1n} + m_2 V_{2n}$	$\varepsilon = \frac{-V'_{2n} - V'_{1n}}{V_{1n} - V_{2n}}$	$V_{2n} = \frac{-V_{2n} \left( m_2 - \frac{m_1}{\varepsilon} \right) + V_{1n} m_1 \left( 1 + \frac{1}{\varepsilon} \right)}{m_1 + m_2}$ $V_{1n} = V_{2n} - \frac{V'_{2n}}{\varepsilon} - \frac{V'_{1n}}{\varepsilon}$ $V'_{2n} = -V'_{1n} + \varepsilon V_{1n} - V_{2n} \varepsilon$ $V_{2n} = \frac{\left( 1 + \frac{m_1}{m_2} \right) V_{1n} + \left( \varepsilon - \frac{m_1}{m_2} \right) V_{1n}}{1 + \varepsilon}$
2	Попутное столкновение ТС, в результате которого одно из них разворачивается на 180 градусов и движется в обратном направлении	$-m_1 V'_{1n} + m_2 V'_{2n} = m_1 V_{1n} + m_2 V_{2n}$	$\varepsilon = \frac{V'_{2n} + V'_{1n}}{V_{1n} - V_{2n}}$	$V_{1n} = V_{2n} + \frac{V'_{2n}}{\varepsilon} + \frac{V'_{1n}}{\varepsilon}$ $V_{2n} = \frac{V'_{2n} \left( m_2 - \frac{m_1}{\varepsilon} \right) - V_{1n} m_1 \left( 1 + \frac{1}{\varepsilon} \right)}{m_1 + m_2}$ $V'_{2n} = \frac{-\left( 1 + \frac{m_1}{m_2} \right) V'_{1n} + \left( \varepsilon - \frac{m_1}{m_2} \right) V_{1n}}{1 + \varepsilon}$ $V'_{1n} = -V_{2n} + \varepsilon V_{1n} - V_{2n} \varepsilon$
3	Косое попутное столкновение ТС, в результате которого одно из них движется в обратном направлении	$m_1 V'_{1n} - m_2 V'_{2n} = m_1 V_{1n} + m_2 V_{2n}$	$\varepsilon = \frac{-V'_{2n} - V'_{1n}}{V_{1n} - V_{2n}}$	$V_{2n} = \frac{-V'_{2n} \left( m_2 - \frac{m_1}{\varepsilon} \right) + V_{1n} m_1 \left( 1 + \frac{1}{\varepsilon} \right)}{m_1 + m_2}$ $V_{1n} = V_{2n} - \frac{V'_{2n}}{\varepsilon} - \frac{V'_{1n}}{\varepsilon}$ $V_{2n} = \frac{\left( 1 + \frac{m_1}{m_2} \right) V'_{1n} + \left( \varepsilon - \frac{m_1}{m_2} \right) V_{1n}}{1 + \varepsilon}$ $V'_{2n} = -V_{1n} + \varepsilon V_{1n} - V'_{1n} \varepsilon$
	Косое попутное столкновение ТС,	$-m_1 V'_{1n} - m_2 V'_{2n} = m_1 V_{1n} + m_2 V_{2n}$	$\varepsilon = \frac{-V'_{2n} + V'_{1n}}{V_{1n} - V_{2n}}$	$V_{2n} = \frac{-V'_{2n} \left( m_2 - \frac{m_1}{\varepsilon} \right) - V_{1n} m_1 \left( 1 + \frac{1}{\varepsilon} \right)}{m_1 + m_2}$ $V_{1n} = V_{2n} - \frac{V'_{2n}}{\varepsilon} - \frac{V'_{1n}}{\varepsilon}$

4	в результате которого они движутся в обратном направлении			$V_{2n} = \frac{(1 + \frac{m_1}{m_2})V'_{1n} + (\varepsilon - \frac{m_1}{m_2})V_{1n}}{1 + \varepsilon}$ $V'_{2n} = -V_{1n} - \varepsilon V_{1n} + V_{2n}\varepsilon$ $V_{2n} = \frac{-V'_{2n}(m_2 - \frac{m_1}{\varepsilon}) - V_{1n}m_1(1 + \frac{1}{\varepsilon})}{m_1 + m_2}$
5	Встречное столкновение ТС, в результате которого они движутся в направлении движения ТС массой m1	$m_1V'_{1n} + m_2V'_{2n} = m_1V_{1n} - m_2V_{2n}$	$\varepsilon = \frac{V'_{2n} + V'_{1n}}{V_{1n} + V_{2n}}$	$V_{1n} = V_{2n} + \frac{V'_{2n}}{\varepsilon} - \frac{V'_{1n}}{\varepsilon}$ $V_{2n} = \frac{-(1 + \frac{m_1}{m_2})V'_{1n} + (\varepsilon - \frac{m_1}{m_2})V_{1n}}{1 + \varepsilon}$ $V'_{2n} = V'_{1n} + \varepsilon V_{1n} + V_{2n}\varepsilon$ $V_{2n} = \frac{-V'_{2n}(m_2 - \frac{m_1}{\varepsilon}) - V_{1n}m_1(1 + \frac{1}{\varepsilon})}{m_1 + m_2}$
6	Встречное столкновение ТС, в результате которого они движутся в противоположных направлениях	$-m_1V'_{1n} + m_2V'_{2n} = m_2V_{1n} - m_2V_{2n}$	$\varepsilon = \frac{V'_{2n} + V'_{1n}}{V_{1n} + V_{2n}}$	$V_{1n} = -V_{2n} + \frac{V'_{2n}}{\varepsilon} - \frac{V'_{1n}}{\varepsilon}$ $V_{2n} = \frac{-(1 - \frac{m_1}{m_2})V'_{1n} + (\varepsilon - \frac{m_1}{m_2})V_{1n}}{1 + \varepsilon}$ $V'_{2n} = -V'_{1n} + \varepsilon V_{1n} + V_{2n}\varepsilon$
7	Косое встречное столкновение ТС, в результате которого они движутся в первоначальном направлении	$m_1V'_{1n} - m_2V'_{2n} = m_1V_{1n} - m_2V_{2n}$	$\varepsilon = \frac{-V'_{2n} - V'_{1n}}{V_{1n} + V_{2n}}$	$V_{2n} = \frac{-V'_{2n}(m_2 - \frac{m_1}{\varepsilon}) + V_{1n}m_1(1 + \frac{1}{\varepsilon})}{m_1 + m_2}$ $V_{1n} = -V_{2n} - \frac{V'_{2n}}{\varepsilon} - \frac{V'_{1n}}{\varepsilon}$ $V_{2n} = \frac{-(1 + \frac{m_1}{m_2})V'_{1n} + (\varepsilon - \frac{m_1}{m_2})V_{1n}}{1 + \varepsilon}$ $V'_{2n} = -V'_{1n} - \varepsilon V_{1n} - V_{2n}\varepsilon$

8	Встречное столкновение ТС, в результате которого они продолжают двигаться в сторону движения автомобиля массой m2	$\frac{-m_1 V'_{1n} - m_2 V'_{2n}}{m_1 V_{1n} - m_2 V_{2n}} =$	$\varepsilon = \frac{-V'_{2n} + V'_{1n}}{V_{1n} + V_{2n}}$	$V_{2n} = \frac{-V'_{2n} \left( m_2 - \frac{m_1}{\varepsilon} \right) - V'_{1n} m_1 \left( 1 + \frac{1}{\varepsilon} \right)}{m_1 + m_2}$ $V_{1n} = -V_{2n} - \frac{V'_{2n}}{\varepsilon} - \frac{V'_{1n}}{\varepsilon}$ $V_{2n} = \frac{-\left( 1 - \frac{m_1}{m_2} \right) V_{1n} + \left( \varepsilon - \frac{m_1}{m_2} \right) V'_{1n}}{m_1 + m_2}$ $V'_{2n} = V'_{1n} - \varepsilon V_{1n} - V_{2n} \varepsilon$
---	---	--	--	---

## 2.2 Методика оценки объема деформации кузова легковых автомобилей

Настоящая методика, основана на алгоритме Crash 3 (МУТЖ) и предназначена для определения доли затрат кинетической энергии ( $\Delta E$ ) на развитие деформаций и эквивалентную данным затратам скорость при технической реконструкции удара в следующих специализированных программных продуктах: VistaCrash, PC Crash, Big Sums Pro, Damage, AR pro и других, использующих расчет аналогичный следующей зависимости для определения затраченной на развитие деформаций энергии (формула приводится на примере 2-х характерных точек зоны локализации деформаций):

$$\Delta E = (1 + tg \delta^2) \cdot L_D \cdot \left[ \frac{m_A \cdot k_0 \cdot k_1}{2 \cdot g \cdot L_D} \cdot (C_1 + C_2) + \frac{m_A \cdot k_1^2}{6 \cdot g \cdot L_D} \cdot (C_1 + C_1^2 + C_2 + C_2^2) + \frac{3 \cdot m_A \cdot k_0^2}{4 \cdot g \cdot L_D} \right] \quad (2.55),$$

где:  $\delta$  – угол столкновения транспортных средств, град;

$L_D$  – ширина зоны локализации деформаций, мм;

$m_A$  – масса транспортного средства, кг;

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

$k_0$  – коэффициент жесткости (квадратичная постоянная), определяется по результатам краш-тестов или по таблицам 4.5 - 4.8;

$k_1$  – коэффициент жесткости, определяется по результатам краш-тестов или по таблицам 4.5 - 4.8;

$C_1, C_2$  – величина деформации в характерной точке, мм, определяются линейной съемкой объемных деформаций транспортных средств, изложенной в данной главе.

Измерениям подлежат:  $L_{\text{Влев}}$  и  $L_{\text{Вправ}}$  – длина колесной базы ТС, соответственно по левым и правым колесам,  $L_C$  – ширина локальной зоны деформаций,  $C_1$ - $C_6$  – глубина деформации в точках равномерно распределенных по ширине  $L_C$ ,  $D$  – расстояние от продольной или поперечной оси, проходящей через центр масс ТС и до геометрической середины измеряемой локальной зоны -  $L_C$ .

При проведении исследований и измерений необходимо производить оценку объема обоих столкнувшихся транспортных средств, при этом рекомендуется на площадке осмотра экспериментально (вручную или с помощью подъемных кранов) измерять угол взаиморасположения продольных осей ТС.

При проведении измерений необходимо производить фотографирование. При этом точки измерений  $C_1$ - $C_6$  рекомендуется обозначать на обследуемом ТС временными вешками (например, метками на самоклеящейся пленке) для фиксации точек на фотографиях.

Особо следует отметить, что привязка всех измерений определяется местоположением центра масс исследуемого ТС, в связи с тем, что большинство из вышеперечисленных программных продуктов при моделировании траектории движения ТС на стадиях сближение – контакт – разлет – занятие конечного положения, используют математические модели описываемые именно движением центра масс. При определении геометрического местоположения центра масс ТС необходимо учитывать фактическую (к моменту контакта) загрузку ТС.



## 2.3 Методика расчета скорости движения а/м до столкновения с учетом объемной деформации

Методика расчета скорости движения а/м до столкновения с учетом объемной деформации основывается на следующих принципах: расчет работ сил на перемещение ТС на стадиях разлет – КСВ - сближение (при наличии следов торможения или юза), применение закона сохранения количества движения и учет объемной деформации по алгоритму CRash3.

В таблице 2.2 показаны формулы учета работ сил, позволяющие определить скорость движения ТС после выхода из контакта. В таблице 2.3 приведена последовательность расчета затраты энергии на деформации по алгоритму Crash 3.

Таблица 2.2 - Расчетные зависимости для определения скоростей ТС после выхода из контакта

№ п/п	Физический смысл	Расчетная формула	Обозначения
1	2	3	4
1	Работа сил на перемещение массы а/м на обособленном участке на стадии разлета	$A_s = m \cdot g \cdot \varphi' \cdot S_s$ , Дж	m – масса ТС с учетом загрузки, кг; g – ускорение свободного падения, $g \approx 9,81 \text{ м/с}^2$ ; $\varphi'$ – 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° - 0,8, от 45° до 90° - 0,7, от 90° до 180° - 0,6, более 180° - 0,5; в случаях длительного скольжения при опрокидывании и выбеге накатом, рекомендуется принимать как тах возможное значение коэффициента сопротивления перемещениям 0,1. $S_s$ – путь перемещений центра масс ТС от точки контакта до занятия зафиксированного конечного после ДТП положения, м.
2	Работа сил на разворот продольной оси а/м при перемещениях на стадии разлета	$A_R = m \cdot g \cdot W_B \cdot \frac{2\pi\alpha_R}{360} \cdot \varphi'$ , Дж	m, g, $\varphi'$ – см. п.1 настоящей таблицы; $W_B$ – длина колесной базы ТС, м; $\alpha_R$ – угол разворота продольной оси ТС на стадии разлета, град.

Продолжение таблицы 2.2

№ п/п	Физический смысл	Расчетная формула	Обозначения
3	Работа сил на опрокидывание а/м	$A_{TR} = m \cdot g \left( \sqrt{\left(\frac{B}{2}\right)^2 + h_{COG}^2} - h_{COG} \right)$ , Дж	m, g – см. п.1 настоящей таблицы; B – колея колес ТС, м; h <sub>COG</sub> – высота центра тяжести ТС от опорной поверхности, м.
4	Работа сил на преодоление препятствия (бордюрный камень, кювет и т.п.) на стадии разлета	$A_H = m \cdot g \cdot H_D$ , Дж	m, g – см. п.1 настоящей таблицы; H <sub>D</sub> – высота преодолеваемого препятствия, м. При расчетах учитывающих съезд в кювет, пользоваться формулой в п.1 настоящей таблицы, при преодолении высоких барьеров от 0,3 м, учитывать деформацию подвески поправочным коэффициентом 1,15.
5	Скорость движения ТС после выхода из контакта с другим	$V'_\Sigma = 3,6 \sqrt{\frac{2}{m} \sum_{i=1}^n A_i}$ , км/ч	m – см. п.1 настоящей таблицы; A <sub>i</sub> – i-ая работа сил учитываемая в расчете.

Таблица 2.3 - Расчет затрат энергии на деформации по результатам обмера а/м в 6-ти точках внедрения относительно жесткости рассчитываемой по данным краш-теста данного а/м

№ п/п	Физический смысл	Расчетная формула	Обозначения
1	2	3	4
1	Коэффициент жесткости А по результатам краш-теста	$A = \frac{m_t b_0 b_1}{L_t}$ H / м	m <sub>t</sub> – фактическая масса а/м марки, перед его использованием в краш-тесте, кг; L <sub>t</sub> – ширина измеряемой зоны объемной деформации тестового а/м, м;
2	Коэффициент жесткости В по результатам краш-теста	$B = \frac{m_t b_1^2}{L_t}$ H / м <sup>2</sup>	b <sub>0</sub> – минимальная скорость движения а/м при наезде на деформируемый барьер, при которой объемная деформация еще не наступает, км/ч; b <sub>1</sub> – доля рассеивания приведенной скорости к площади контактной зоны, км/ч/м (см. пп.3)
3	Доля рассеивания приведенной скорости к площади контактной зоны	$b_1 = \frac{v_t - b_0}{C_{AVERT}}$ км / ч / м	v <sub>t</sub> – скорость тестового а/м в момент удара о деформируемый барьер (по правилам теста NCAP на фронтальный удар в барьер) равная 35 миль/ч или 56,4 км/ч; C <sub>AVERT</sub> – среднестатистическое значение измерений глубины деформирования C <sub>i</sub> в системе 6-ти точек измерения (n=6), для тестового а/м (см. пп.4) b <sub>0</sub> – см. выше.
4	Среднестатистическое значение измерений	$C_{AVERT} = \frac{\frac{C_1}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} C_i + \frac{C_n}{2}}{n-1}$ м	C <sub>i</sub> - глубина зоны объемной деформации в i-ой точке (из n=6), согласно результатов измерения профиля деформации тестового а/м, м.

Продолжение таблицы 2.3

5	Производный коэффициент жесткости G	$G = \frac{A^2}{2 \cdot B} \quad H$	A, B – см. выше, пп.1 и 2.
6	Работа сил на деформацию, при получении усредненного объема деформации	$E_D = \sum_{i=1}^{n-1} w_i \cdot \left( \frac{B}{6} \cdot \frac{c_{i+1}^3 - c_i^3}{c_{i+1} - c_i} + \frac{A}{2} \cdot (c_{i+1} + c_i) + G \right) \cdot (1 + \tan^2 \Theta)$	A, B, G – см. выше, пп.1,2,5; Θ – угол направления приложения приведенной деформирующей силы (по направлению вектора импульса сил), с учетом результатов проведенного осмотра а/м участвовавшего в исследуемом ДТП град; w <sub>i</sub> – длина участка измерения, м; c <sub>i</sub> – глубина объемного внедрения, оценочно, для шести расчетных точек, по геометрии профиля смятия исследуемого а/м (участника ДТП), м.
7	Эквивалентная скорость а/м затраченная на объемную деформацию	$V_D = 3,6 \sqrt{\frac{2E_D}{m}}$	E <sub>D</sub> – см. выше, пп.6; m- масса а/м с учетом загрузки в момент столкновения, кг

## 2.4 Выводы по Главе 2

1. В главе 2 подробно изложена математическая модель заднего попутного столкновения двух транспортных средств, описан подход к расчету затрат скорости на объемные деформации по МУТЖ.

2. Показанный подход по МУТЖ и методики расчета, основанные на законе сохранения движения в решении через моменты инерции или через работы сил, как правило, дают высокую погрешность особенно в случаях множественных попутных КСВ (попутное заднее столкновении трех и более ТС) и без учета затрат энергии на деформации задней части, приводят к занижению фактических значений расчетных скоростей ТС к моменту начала их КСВ или к моменту начала их торможения (перемещения со слеодообразованием).

3. В отечественных и зарубежных публикациях не содержится допустимый и достаточный объем данных для МУТЖ по жесткости задней части кузова ТС, пригодный для проведения расчетов с погрешностью не более 5%. При этом при применении МУТЖ, как при расчете по табличным данным, так и при расчете по данным натурных краш-тестов, возникает ряд не устраненных ранее

проблем, а именно: имеющиеся сводные значения коэффициентов жесткости по таблицам не обновлялись с 2010 года, а имеющийся объем натурных тестов часто не покрывает объем и номенклатуру марок и моделей ТС, эксплуатируемых в РФ в настоящее время.

4. В сложившейся практике производства ДТЭ, на настоящий момент при реконструкции попутных контактно-следовых взаимодействий (КСВ) фактически нет научно-обоснованной методики учета затрат энергии на деформации задней части автомобилей категории М1, а также нет возможности обоснованно давать выводы по ДТП с попутным столкновением трех и более ТС, особенно в условиях скудного объема и никого качества фиксации пространственно-следовой информации (ПСИ) с места ДТП.

## **ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА НАТУРНЫХ КРАШ-ТЕСТОВ И ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

### **3.1 Оценка вероятности травмирования**

При оценки вероятности травмирования была проанализирована категоричность выводов, данных экспертами при решении частных задач по попутным задним КСВ (столкновениям движущихся попутно ТС и наездам на стоящее ТС или группу ТС), а именно случаи: наезда на стоящее ТС (Н), столкновения с попутным движущимся ТС (С) и наезда с последующим столкновением (Н+С) и столкновения с последующим наездом (С+Н). В частности, по уголовным делам, среди основных (типовых) задач реконструкции механизма ДТП, были выделены следующие формулировки типовых задач ДТЭ :

А. Определение тяжести травмирования в случае движения с максимально допустимой в данной ДТС по ПДД РФ скоростью движения ТС в ТС, которое произвело наезд или столкновение (случаи Н и С). Данная задача ставилась на исследование более чем в 223 ДТЭ по случаям Н и С;

Б. Определение тяжести травмирования в случае движения с максимально допустимой в данной ДТС по ПДД РФ скоростью движения ТС, с которым было произведено столкновение или на которое имел место наезд. Данная задача ставилась на исследование более чем в 177 ДТЭ по всем случаям;

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 433 ДТЭ по случаям Н, С, С+Н и Н+С.

Установлено, что в 67% ДТЭ, в которых решались вышеуказанные задачи индексированные как: А, Б и В экспертами был дан отказ от категоричного вывода.

Таблица 3.1 – Полученные зависимости изменения вероятности травмирования

№ п/п	Полученные зависимости	Коэффициент детерминации, $R^2$
1	$P = 0,0002V^3 - 0,0117V^2 + 0,1975V - 0,0038$	0,95
2	$P = -0,0002V^3 - 0,0023V^2 + 0,1455V - 0,1388$	0,97
3	$P = 0,0013V^3 - 0,0363V^2 + 0,343V - 0,0692$	0,96
4	$P = 0,0015V^3 - 0,0416V^2 + 0,3877V - 0,2011$	0,97
5	$P = 0,0024V^3 - 0,0658V^2 + 0,701V - 0,0994$	0,95
6	$P = 0,0027V^3 - 0,0789V^2 + 0,4222V - 0,2578$	0,96

В рамках данного анализа также получены следующие зависимости (см. таблицу 3.1):

- изменения вероятности  $P$  летального исхода от скорости  $V$  в момент начала КСВ для случаев Н (см. п.1 табл.3.1),
- изменения вероятности  $P$  летального исхода от скорости  $V$  в момент начала КСВ для случаев Н+С и С+Н (см. п.2 табл.3.1),
- изменения вероятности  $P$  тяжкого вреда от скорости  $V$  в момент начала КСВ для случаев Н (см. п.3 табл.3.1),
- изменения вероятности  $P$  тяжкого вреда от скорости  $V$  в момент начала КСВ для случаев Н+С и С+Н (см. п.4 табл.3.1),
- изменения вероятности  $P$  легкого вреда от скорости  $V$  в момент начала КСВ для случаев Н (см. п.5 табл.3.1),
- изменения вероятности  $P$  легкого вреда от скорости  $V$  в момент начала КСВ для случаев Н+С и С+Н (см. п.6 табл.3.1).

### 3.2 Методические основы применения индексов травмирования в дорожно-транспортной экспертизе

Применение индексов травмирования (ИТ) в отечественной практике производства дорожно-транспортных экспертиз (ДТЭ) на настоящий момент

весьма ограничено, что следует из анализа фактических ДТЭ по Северо-западному Федеральному округу, выполненных в государственных экспертных организациях (результаты данного анализа ежегодно обновляются в Институте безопасности дорожного движения (ИБДД) СПбГАСУ и ранее публиковались в [29-33]). В частности до 93% из общего числа ДТЭ, где ставились вопросы связанные с установлением причинной связи между фактической скоростью движения транспортного средства (ТС) в момент ДТП и тяжестью полученных травм (водителем, пешеходом или пассажиром), экспертами при анализе и реконструкции механизма ДТП оставались без исследования по причинам: отсутствия научно обоснованной методики (76%), недостаточности исходных данных (24%, среди которых 18% - это невозможность установить фактическую скорость движения ТС).

Основная сложность расчета ИТ в практике ДТЭ возникает не столько в ограниченности действующих методик расчета скорости движения ТС до ДТП, сколько в возможности определения величин осевых замедлений/ускорений в центрах масс тела человека (головы, туловища или конечностей). В этой связи, опираясь на модельно-ориентированный подход (МОР) к реконструкции механизма ДТП, изложенным в [34] и развиваемым в работах [35], решение по расчету ИТ может быть получено за счет использования антропоморфных манекенов, реализованных многотельными моделями типа MADYMO [36] или методом конечных элементов (модели типа THUMS и подобные [37]).

Таким образом, в настоящий момент имеется потребность в развитии методов ДТЭ в направлении внедрения практику оценки ИТ для решения частных экспертных задач, опираясь на принципы МОР, в связи и чем, формирование МО применения ИТ в дорожно-транспортной экспертизе является актуальной научной задачей. Вместе с тем, сохраняются актуальность вопроса связанности результатов ДТЭ с экспертной профилактикой (ЭП) ДТП и оценкой средств пассивной безопасности (не только самого ТС, но элементов дорожного обустройства), потому как на настоящий момент разработка мероприятий по ЭП ДТП сильно оторвана от фактических условий наступления событий (ДТП), в основном

опираясь только на общие и мало показательные статистические данные локальных участков дорог и состояний системы ВАДС (Водитель – Автомобиль – Дорога – Среда) в этих местах.

Наиболее широко классификация и виды индексов ранее были описаны в работе [6]. Имеются отдельные работы показывающие частные случаи применения ИТ в ДТЭ на примерах отдельных экспертных задач по реконструкции механизма ДТП, такие как [38]. При этом следует отметить, что такие индексы как ASI, NIC и TNiV включены в отечественную нормативную документацию и используются в оценке пассивной безопасности элементов дорожного обустройства (например ГОСТ 32949 [39] и других аналогичных или связанных с ним нормативах), а также в бортовых устройствах регистрации событий (БУРС) по ГОСТ 33464 [40].

Пространство, формируемое массивом зарубежных публикаций в области применения ИТ как ДТЭ так и в экспертной профилактике (ЭП) ДТП весьма обширно и охватывает как смежные области, так и само пространство производства ДТЭ, следует отметить что использование ИТ в практике как ДТЭ, так и ЭП ДТП, при оценке публикаций в выборке за прошедшей 3 года по ключевым словам: «реконструкция механизма ДТП», «пассивная безопасность», «моделированием ДТП» достигает до 89% статей в данной выборке. Наиболее заметными и популярными по частоте цитирования являются работы: [41-45].

Учитывая существенный дисбаланс публикаций и работ посвященных применению оценок по индексам трамивирования возникший между отечественными и зарубежными публикациями, следует отметить что имеется существенный методический пробел в методологии производства ДТЭ и его заполнение требует разработки универсальных методических основ (МО). При этом как отмечено выше между результатами ДТЭ и ЭП ДТП в отечественной практике имеется разрыв (не связанность результатов ДТЭ с мерами по ЭП), который в зарубежных странах не велик или отсутствует вовсе. Это явление возникает в отечественном пространстве производства ДТЭ в первую очередь из-за крайне низкого уровня внедрения МОР в процедуры проведения исследования



фактических ДТП. К причинам ставшими основанием этой проблемы следует отнести низкий уровень использования средств моделирования экспертами (включая отсутствие у экспертов квалификации, достаточной для работы с программными продуктами, реализующими МОР), а также низкое качество фиксации и обработки пространственно-следовой информации с места ДТП, о чем как о глобальной проблеме в области ДТЭ отмечалось ранее в [33,35].

Как отмечено в [34], МОР позволяет сформировать методологию производства ДТЭ, как комплексную систему, позволяющую учитывать все управляющие мотивы исследования, а именно систему, работа которой характеризуется полнотой (практической широтой), обоснованностью, проверяемостью, категоричностью и наглядностью результатов (выводов).

Для формирования алгоритмизированного представления МО использования ИТ в ДТЭ авторами была выполнена типизация задач ДТЭ с учетом дорожно-транспортной ситуации (ДТС), при решении которых ИТ позволяют выделить наиболее значимые. В частности при анализе фактических заключений по ДТЭ, результаты которые ранее показаны в [29-33,35], было установлено что наиболее часто на исследование ставились вопросы о связи между вываленным превышением скорости движения водителем ТС и тяжестью телесных повреждений полученных пешеходом или пассажиром. В таблице 3.2 показана типизация задач ДТЭ по видам ДТП, в которых требуется использование ИТ на примере наездов на пешехода и столкновений ТС (без выделения подвидов и условий наступления контакта).

Таблица 3.2 – Типизация задач ДТЭ по видам ДТП, в которых требуется использование ИТ

№ п/п	Индекс типизации задачи ДТЭ	Вид ДТП	Формулировка задачи	Рекомендуемый ИТ
1	НА	Наезд на пешехода	Определение тяжести травмирования (по видам первичное, вторичное, общее) пешехода в случае движения ТС	ASI (голова,

№ п/п	Индекс типизации задачи ДТЭ	Вид ДТП	Формулировка задачи	Рекомендуемый ИТ
1			в момент наезда с максимально допустимой в данной ДТС по ПДД РФ скоростью движения ТС.	туловище), НИС
2	НБ		Определение находятся ли в причинной связи с полученными травмами действия пешехода до момента наезда (подпрыгивание, приседание и т.п.) в случае движения ТС в момент наезда с максимально допустимой в данной ДТС по ПДД РФ скоростью движения ТС.	
3	СА1	Столкновение	Определение тяжести травмирования водителя или пассажира на конкретном месте в салоне в случае движения ТС в котором они находились в момент столкновения с максимально допустимой в данной ДТС по ПДД РФ скоростью движения ТС.	AIS, MAIS, ASI, НИС, Nij, PHD, THIV
4	СА2		Определение тяжести травмирования водителя или пассажира на конкретном месте в салоне в случае движения ТС в котором они не находились в момент столкновения с максимально допустимой в данной ДТС по ПДД РФ скоростью движения ТС.	

В ходе работ по типизации, было выявлено, что наиболее широкое и универсальное применение, как можно видеть и по таблице 3.2, получили индексы ASI и НИС.

Фундаментальной частью аппарата реализующего МО являются два принципа: первый - модель есть неотъемлемый и основой результат исследования; второй – пространственно-следовая информация с места ДТП и с объектов исследования в ДТЭ при условии реализации концепции МОР не может

быть субъективно изменена [5], опираясь при этом на арсенал средств цифровой фиксации измерений, фотограмметрии и анализа видеозаписей.

Блок-схема алгоритмизированного представления МО использования ИТ в ДТЭ показана на рис.3.1.

Применение показанного алгоритмизированного представления в практике ДТЭ полностью основано на модельно-ориентированном подходе к реконструкции (МОР) механизма ДТП, кроме того в качестве сравнительных данных по ИТ полученным при скоростях в момент начала контактно-следового взаимодействия можно получить по обширным данным натурных тестов NHTSA при дешифрации файлов записей лабораторного оборудования с ТС и манекенов (обработка файлов формата EV5 в программах Enetre или SignalBrowser пакета NHTSA NVS).

Применение изложенных МО было осуществлено при производстве ДТЭ в Институте безопасности дорожного движения (ИБДД) СПбГАСУ, при реализации процедур МОР в программах: PC-Crash и Virtual Crash, при этом в данной статье для примера были отобраны следующие типизированные задачи (по видам ДТП) А1-А5, Б1-Б5 (индексирование по Таблице 3.2). В показанной в таблице 3.3 выборке примеров, а также по полной группе оценки эффективности применения предложенных МО применения ИТ в практике производства ДТЭ (на принципах концепции МОР) было получено, что решение типизированных задач (см. выше) может быть получено во всех случаях применения МО, при этом на примере показанной выборки в 80% фактических ДТЭ превышение максимально допустимой скорости движения ТС находилось в причинной связи с полученными травмами (пешеходами и пассажирами).

Разработанная структура методики в дальнейшем может составлять часть расширенного методического аппарата связующего результаты ДТЭ между экспертной профилактикой ДТП и разработкой и совершенствованием систем обеспечения пассивной безопасности.

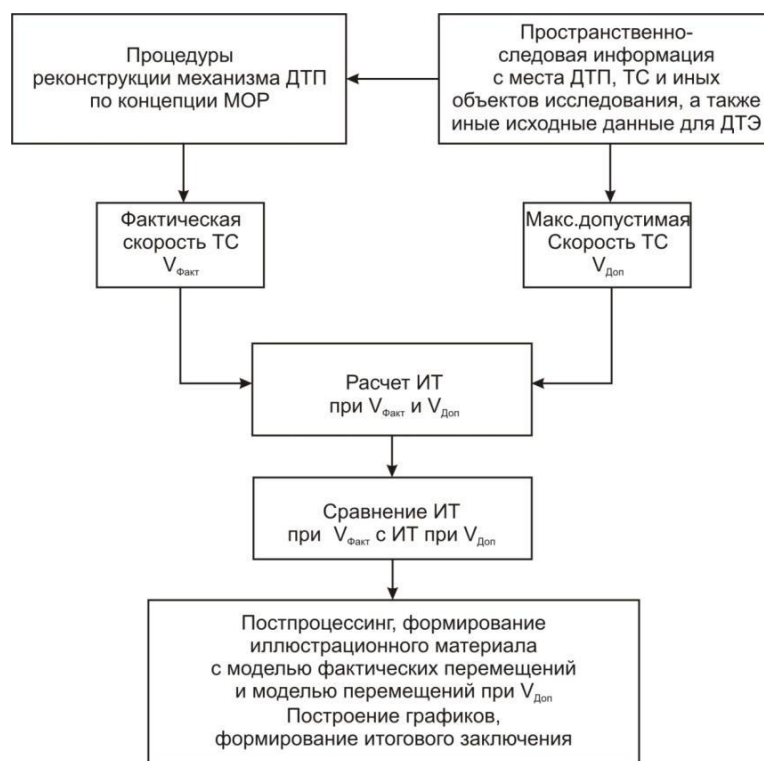


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритмизированного представления МО использования ИТ в ДТЭ

Таблица 3.3 – результативность применения МО при решении типизированных задач НА, НБ, СА1 и СА2

№ п/п	Индекс типизации задачи ДТЭ по таблице 1	Случай в выборке фактических ДТЭ	Использованный ИТ	Среда реализации МОР	Решение типизированной задачи	Превышение имело место	Выбор скорости водителем находится в причинной связи с тяжестью травм
1	НА1	НА1-1	ASI	Virtual Crash 5	получено	да	да
2		НА1-2	ASI	Virtual Crash 5	получено	да	да
3		НА1-3	HIC	PC-Crash 11	получено	да	да
4		НА1-4	HIC	Virtual Crash 5	получено	нет	нет
5		НА1-5	ASI	PC-Crash 11	получено	да	да
6	НА2	НА2-1	ASI	Virtual Crash 5	получено	нет	нет
7		НА2-2	HIC	PC-Crash 11	получено	да	да
8		НА2-3	HIC	Virtual Crash 5	получено	да	да

Продолжение таблицы 3.3

№ п/п	Индекс типизации задачи ДТЭ по таблице 1	Случай в выборке фактических ДТЭ	Использованный ИТ	Среда реализации МОР	Решение типизированной задачи	Превышение имело место	Выбор скорости водителем находится в причинной связи с тяжестью травм
9		НА2-4	ASI	PC-Crash 11	получено	да	да
10		НА2-5	HIC	PC-Crash 11	получено	нет	нет
11	СА	СА-1	HIC	Virtual Crash 5	получено	да	да
12		СА-2	ASI	Virtual Crash 5	получено	да	да
13		СА-3	ASI	PC-Crash 11	получено	да	да
14		СА-4	HIC	Virtual Crash 5	получено	нет	нет
15		СА-5	HIC	Virtual Crash 5	получено	да	да
16	СБ	СБ-1	ASI	PC-Crash 11	получено	да	да
17		СБ-2	ASI	Virtual Crash 5	получено	да	да
18		СБ-3	HIC	Virtual Crash 5	получено	да	да
19		СБ-4	HIC	Virtual Crash 5	получено	да	да
20		СБ-5	HIC	PC-Crash 11	получено	да	да

Показанная методика также применима в следующих исследованиях: оценка средств пассивной безопасности конструкций, как ТС, так и элементов дорожного обустройства, определение допустимых уровней обеспечения заданных ИТ в различных видах ДТП этими средствами, оценка эффективности внедрения мер по ЭП ДТП и внедрения средств пассивной безопасности, прогнозирование изменения защищенности человека при определении требований к высокоавтоматизированным ТС и в других смежных областях.

Предложенные методические основы имея универсальный характер описания процедуры их применения в практике ДТЭ позволили решить целый спектр частных экспертных задач, которые ранее в подавляющем большинстве

экспертами по анализу и реконструкции ДТП указывались как не имеющие средств для решения (см. выше причины этого явления). Кроме того, применение приведенных методических основ позволит по мере перехода к МОР существенно снизить проблемный разрыв, описанный выше, между фактическими результатами ДТЭ и ЭП ДТП.

### 3.3 Обработка данных и результаты численного симуляционного моделирования

На рисунке 3.2 показан пример полученных объемных деформаций задней части ТС различных классов при различной величине перекрытия (тесты №8676 и №8678). Для выполнения комплексного анализа использовалась схема обработки данных, показанная на рисунке 3.3.

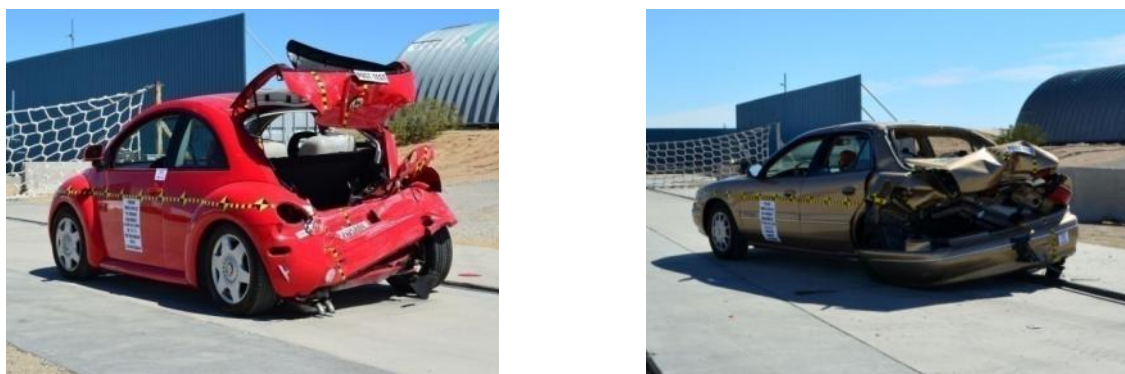


Рисунок 3.2 – Пример деформаций ТС после тестов, примеры из тестов №8676 и № 8678

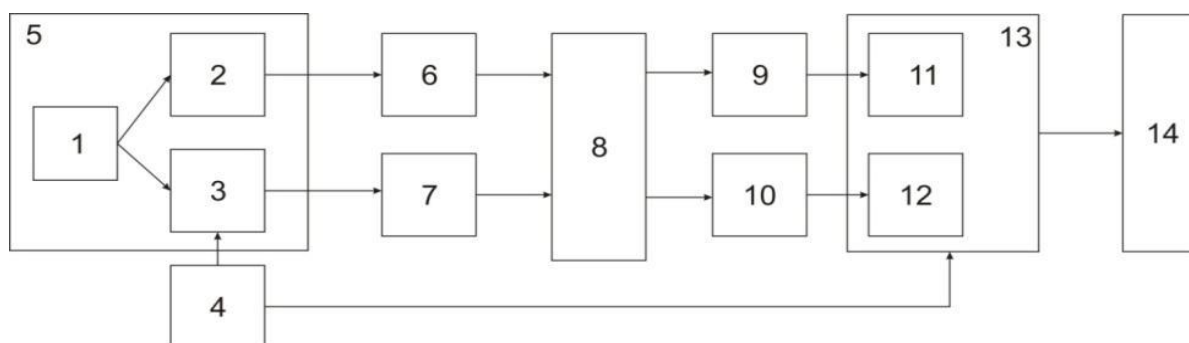


Рисунок 3.3 - Схема обработки данных по второму положению, выносимому на защиту

На схеме на рисунке 3.2 обозначены: 1 – общий объем тестовых данных; 2 – тесты на наезд ТС на ТС; 3 – тесты с наездом ТС на деформируемый барьер (тележка типа MDB); 4 – кластерный анализ данных по массово-габаритным характеристикам ТС; 5 – общий объем данных включая данные по EDR и CDR; 6 – обработка данных в программе EnetreV5; 7 – обработка отчетов средствами Exell; 8 – формирование банков данных чтения файлов записей; 9 – построение графиков по каждому тесту; 10 – построение деформационных профилей и вычисление коэффициентов жесткости; 11 и 12 – вычисление зависимостей изменения на каждый кластер; 13 – объем выделенных кластеров (всего 6); 14 – формирование обобщающих датасэтов для подключения их к моделям Matlab/Simulink.

Всего были проанализированы 253 теста из базы NHTSA, которые были обработаны в программе Entree V5, а также средствами MS Exell. Учитывалось время с момента начала КСВ до момента его завершения, строились графики изменения осевых замедлений для ударяющего и принимающего ТС, а также формировались графики изменения индексов травмирования головы и шеи ( $HIC$  и  $Nij$ ). Пример контроля времени КСВ по видеозаписи теста показан на рисунке 3.4. Примеры получения зависимостей изменения индексов травмирования ( $HIC$  и  $Nij$ ) по натурным данным (на примере теста №8547 по рисунку 3.2) показан на рисунках 3.5-3.10.

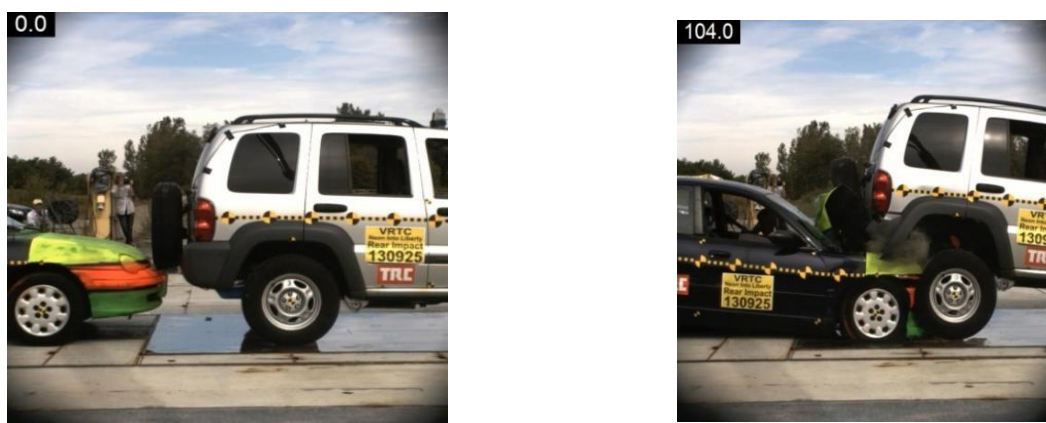


Рисунок 3.4 – Тест №8547, слева - момент начала КСВ (время 0,0 мс), справа – момент завершения КСВ (время 104,0 мс)

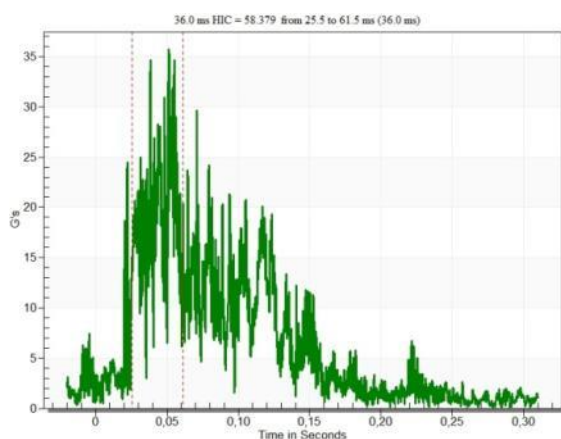


Рисунок 3.5 – график изменения НИС для ударяющего ТС для теста №8547

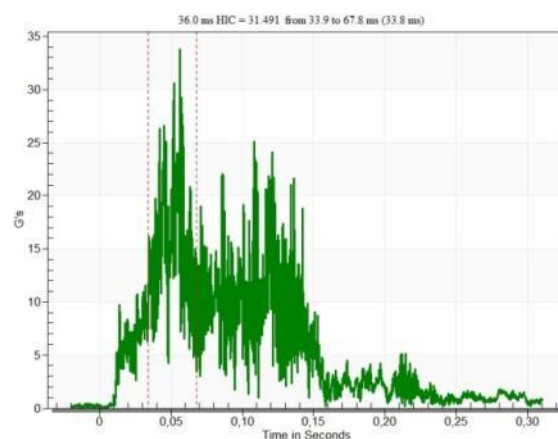


Рисунок 3.6 – график изменения НИС для принимающего ТС для теста №8547

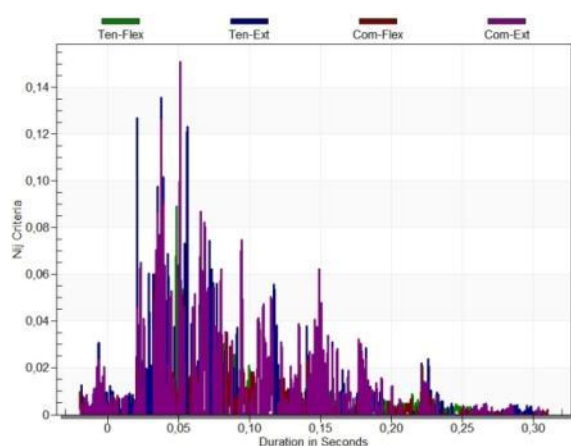


Рисунок 3.7 – график изменения Nij для ударяющего ТС для теста №8547

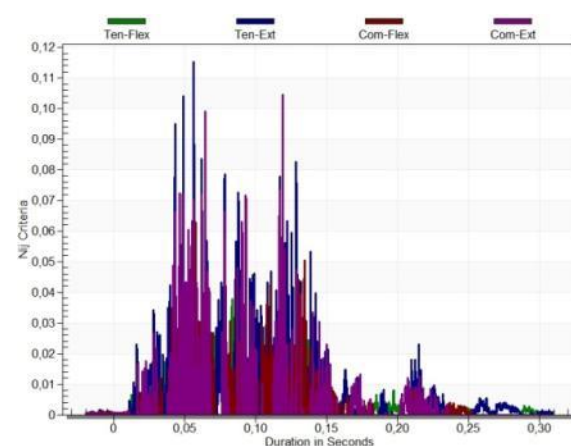


Рисунок 3.8 – график изменения Nij для принимающего ТС для теста №8547

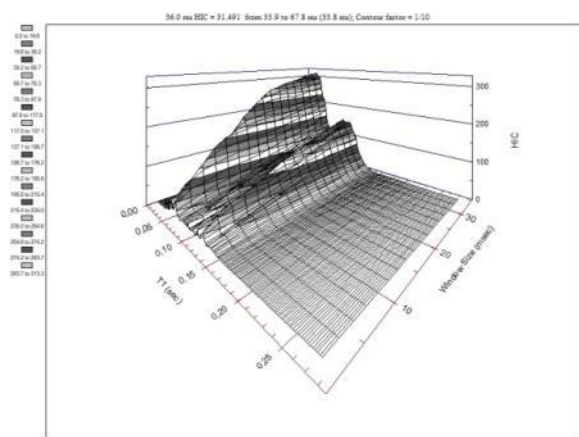


Рисунок 3.9 – Поверхность отклика НИС для ударяющего ТС, в зависимости от интервала расчета для теста №8547

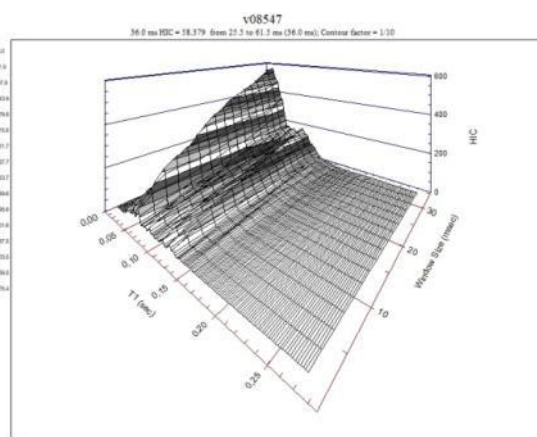


Рисунок 3.10 – Поверхность отклика НИС для принимающего ТС, в зависимости от интервала расчета для теста №8547



Соответственно 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) были выбраны 678 пакетов данных, которые были обработаны в программе Entree V5, а также средствами MS Excel.

С целью систематизации подхода к сортировке данных по натурным и численным экспериментам, была введена кластеризация по массогабаритным характеристикам, при этом основной принцип разделения транспортных средств на кластеры был основан на их массе и типе кузова:

Кластер 1: Малые легковые (до 1500 кг);

Кластер 2: Средние легковые (1500-1800 кг);

Кластер 3: Крупные легковые (1800-2200 кг);

Кластер 4: Кроссоверы (2200-2500 кг);

Кластер 5: Внедорожники (свыше 2500 кг);

Кластер 6: Тяжелые внедорожники и спецтранспорт.

Обоснование: масса и тип кузова напрямую влияют на жесткость конструкции и характер деформации при ударе. Данные кластеры соответствуют реальной классификации ТС и учитывают их физические различия. В качестве примера в Приложении А приведены результаты обработки данных из тестов (показаны примеры с полным набором сохраненных данных).

В ходе обработки получено распределение тестов по кластерам ТС, показанное на рисунке 3.11

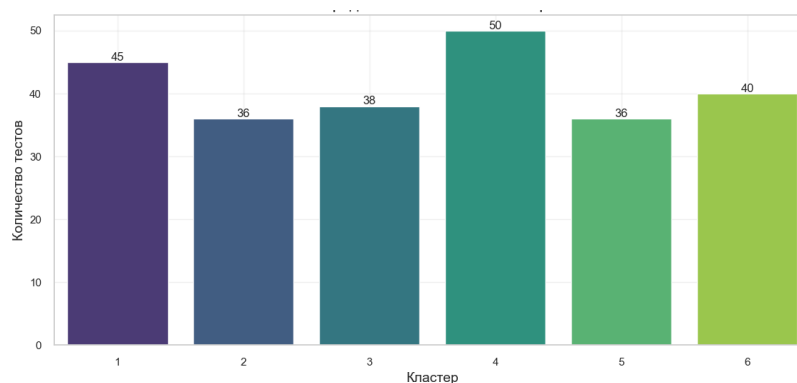


Рисунок 3.11 – Итоговое разделение на кластеры по натурным тестам (всего 6 выделенных кластеров)

Также были выполнены численные эксперименты на попутные задние объемно-проникающие контакты на основе многотельных моделей типа MADYMO, внедренных в программу VirtualCrash 5. По каждому численному эксперименту строились графические зависимости средствами инструментов анализа программы VirtualCrash 5. Пример графика показан на рисунке 3.12.



Рисунок 3.12 - Пример графика изменения скорости и замедлений/ускорений на ЦТ головы и шее манекена для случая Н, кластер 3, угол 25, площадь 0,8 м<sup>2</sup>, высота 0,7 м, скорость 70 км/ч

Исследовались случаи Н, Н+С и С+Н, с вариацией: угла взаиморасположения в момент начала КСВ, площади контактной зоны, высоты точки первичного контакта, массы ТС по кластерам, скорости в момент начала КСВ (с шагом в 10 км/ч). Использовался манекен взрослого человека: масса 75 кг, рост 180 см (модель типа MADYMO).

Результаты численных экспериментов были разделены на группы воспроизведения тестов и группы вариации входных данных (угол, площадь КСВ). Сходимость тестовой группы с данными натурных тестов составила не более 5% отклонения, что подтвердило возможность использования данного ПО для дальнейших исследований.

### 3.4 Результаты определения зависимостей изменения индексов травмирования

В результате, на базе обработанных данных по п.3.2-3.3 были получены: зависимости изменения индексов AIS, НИС и  $N_{ij}$ , обобщены данные по объемам деформаций задней части ТС.

Пример зависимостей для случаев Н:

- зависимость изменения значения индекса AIS от скорости в момент начала КСВ, полученная зависимость (3.1) имеет классический экспоненциальный вид (коэффициент детерминации  $R^2 = 0,921$ ):

$$AIS = 2,457e^{0,0161V} \quad (3.1)$$

- зависимость изменения значения индекса НИС от скорости в момент начала КСВ, полученная зависимость (2) имеет полиномиальный вид третьего порядка (коэффициент детерминации  $R^2 = 0,908$ ):

$$AIS = 0,000478V^3 - 0,0027V^2 + 0,2438V + 3,78 \quad (3.2)$$

Также были получены с разделением по кластерам (всего 6 кластеров): зависимости изменения осевых замедлений для ЦТ ТС и для ЦТ головы манекена; зависимости изменения скорости перемещения ЦТ головы манекена; зависимости изменения погашения скорости от угла КСВ, площади КЗ и высоты точки КСВ.

Графики изменения индекса AIS от скорости для выделенных кластеров показаны на рисунке 3.13. Графики изменения индекса НИС от скорости для выделенных кластеров показаны на рисунке 3.14.

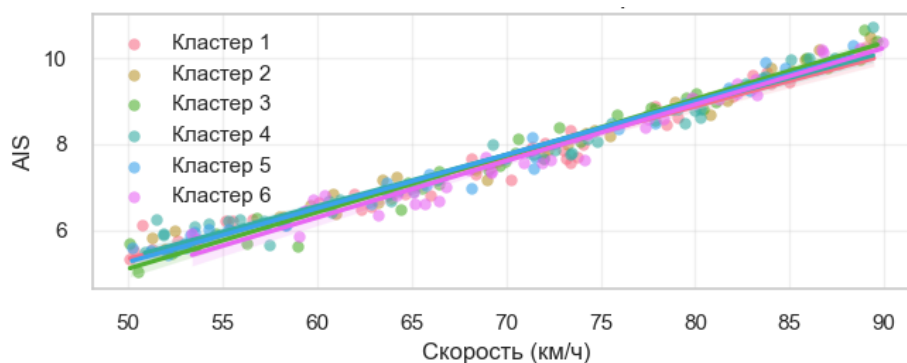


Рисунок 3.13 – Зависимость AIS от скорости по кластерам

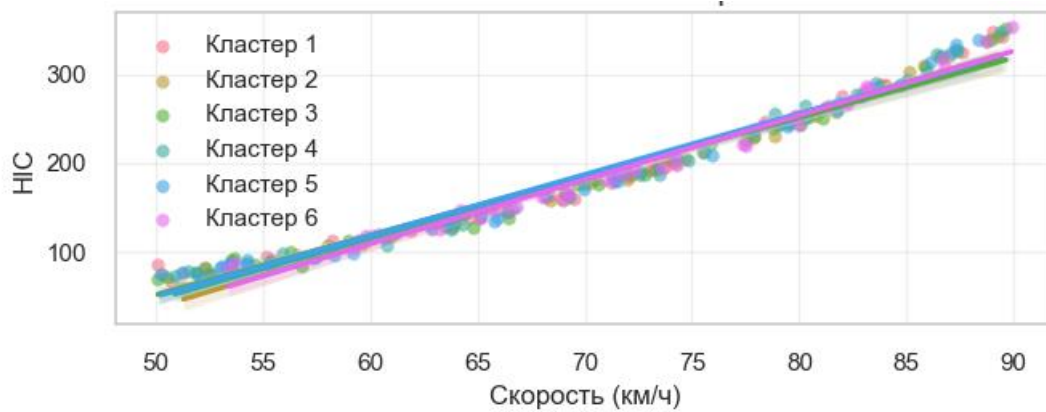


Рисунок 3.14 – Зависимость НИС от скорости по кластерам

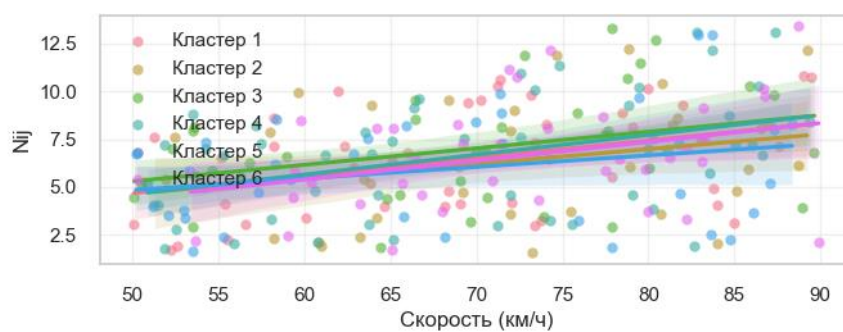


Рисунок 3.15 – Зависимость  $N_{ij}$  от скорости по кластерам

Графики изменения индекса  $N_{ij}$  от скорости для выделенных кластеров показаны на рисунке 3.15. На рисунке 3.16 показана матрица корреляции параметров по результатам обработки исследуемой выборки.

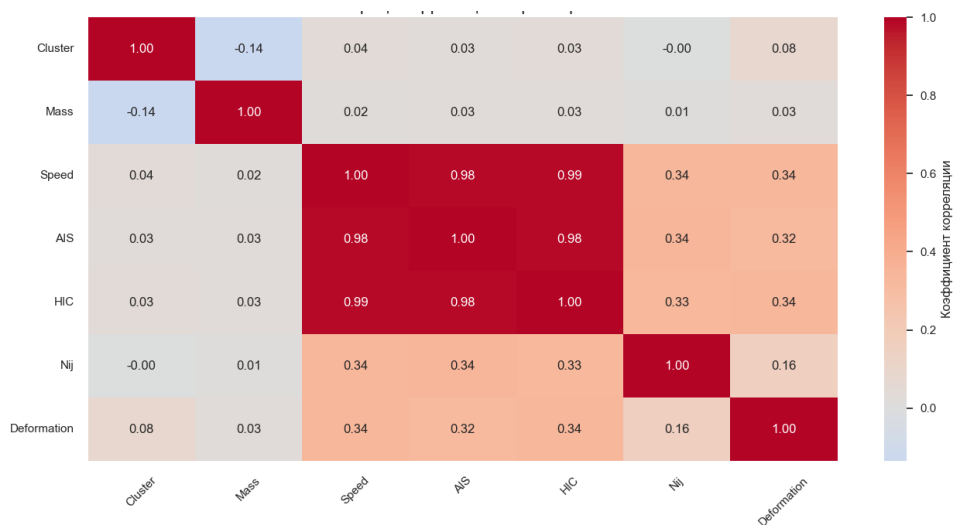


Рисунок 3.16 – Матрица корреляции параметров

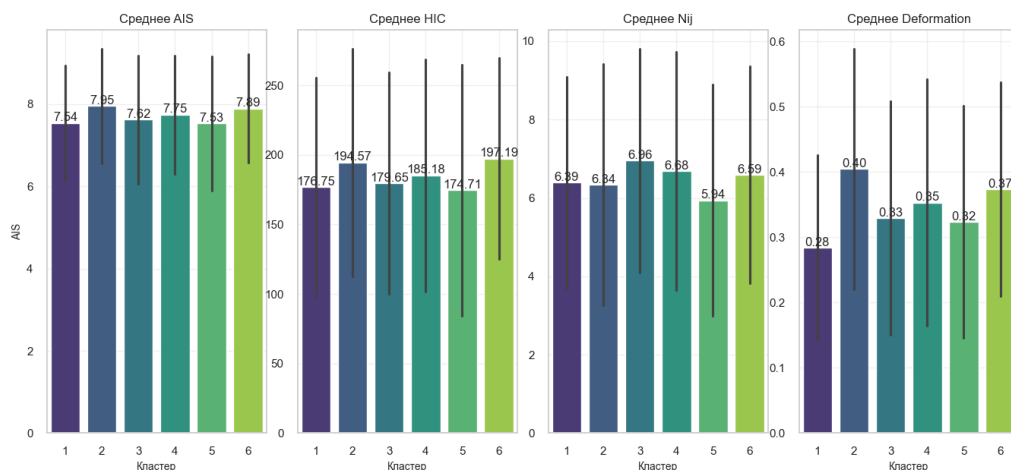


Рисунок 3.17 – Сравнение средних значений по кластерам

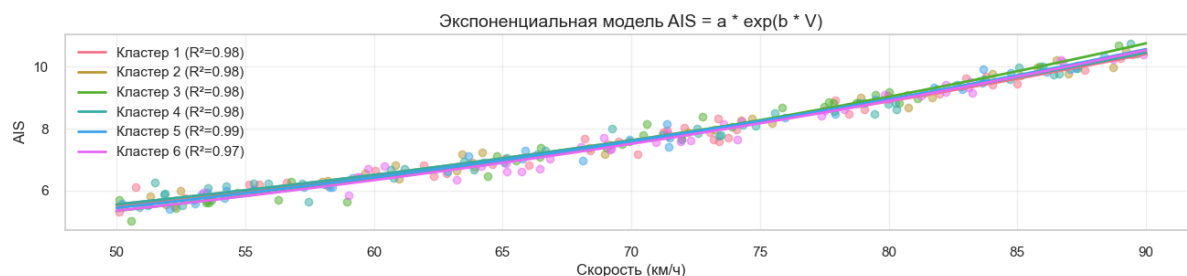


Рисунок 3.18 – Зависимости AIS от скорости итоговые для кластеров

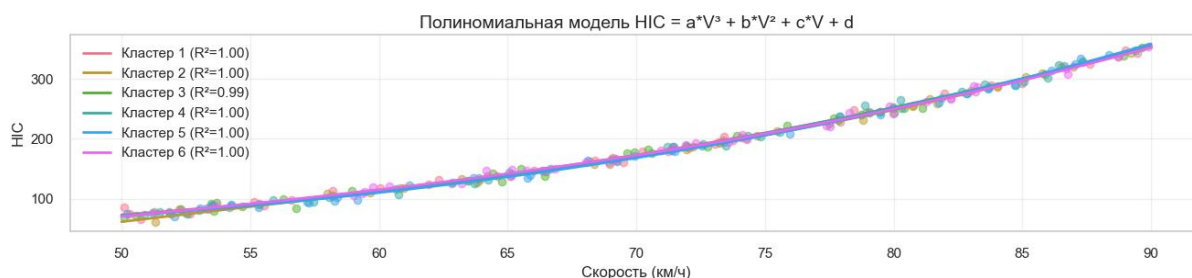


Рисунок 3.19 – Зависимости HIC от скорости итоговые для кластеров

На рисунке 3.17 показано сравнение средних значение индексов травмирования по выделенным кластерам. Соответственно на рисунках 3.18 и 3.19 показаны полученные графики изменение экспоненциальной и полиномиальной моделей изменения ИТ от скорости.

Экспоненциальная зависимость AIS от скорости подтверждается для всех кластеров, причем наиболее крутой рост наблюдается в кластерах 5 и 6, что

указывает на более высокую уязвимость этих групп транспортных средств. Полиномиальная зависимость НИС от скорости показывает, что при скоростях выше 70 км/ч происходит резкий рост травмоопасности, особенно выраженный в кластерах 1 и 4.

По результатам анализа также выявлена закономерность: в кластерах с меньшей массой транспортных средств (1200-1400 кг) при одинаковых скоростях наблюдаются более высокие значения AIS, что может указывать на недостаточную структурную прочность легких автомобилей. Матрица корреляций подтверждает сильную взаимосвязь между скоростью и всеми индексами травмирования (коэффициенты корреляции 0.65-0.85), в то время как масса транспортного средства показывает умеренную отрицательную корреляцию с AIS (-0.4). Для каждого кластера были построены и проанализированы две математические модели. Экспоненциальная модель AIS демонстрирует высокую точность ( $R^2$  от 0.86 до 0.93), при этом параметры модели существенно различаются между кластерами. Например, коэффициент экспоненты варьируется от 0.0148 (кластер 3) до 0.0175 (кластер 6), что означает почти 20% разницу в скорости роста травмоопасности при увеличении скорости. Полиномиальные модели НИС также показывают хорошее соответствие данным ( $R^2$  0.82-0.91), причем наиболее опасными с точки зрения НИС оказываются кластеры 1 и 4, где кубический член модели имеет наибольшие значения

Полученные итоговые зависимости по рисункам 3.18 и 3.19 для каждого кластера показаны в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Полученные зависимости ИТ для кластеров

№ п/п	Номер кластера	Индекс травмирования	Зависимость	Коэффициент детерминации, $R^2$
1	Кластер 1	AIS	$2.4982 * \exp(0.0158 * V)$	0.976
2		НИС	$0.000195*V^3 + 0.059349*V^2 + -4.261030*V + 113.3955$	0.997
3	Кластер 2	AIS	$2.5176 * \exp(0.0158 * V)$	0.983
4		НИС	$0.001969*V^3 + -0.316582*V^2 + 21.991068*V + -492.9622$	0.998

Продолжение таблицы 3.4

5	Кластер 3	AIS	$2.2365 * \exp(0.0174 * V)$	0.977
6		HIC	$0.000810 * V^3 + -0.069969 * V^2 + 4.649391 * V + -88.0592$	0.995
7	Кластер 4	AIS	$2.5282 * \exp(0.0158 * V)$	0.978
8		HIC	$-0.000104 * V^3 + 0.126437 * V^2 + -9.071874 * V + 222.5661$	0.997
9	Кластер 5	AIS	$2.3821 * \exp(0.0165 * V)$	0.989
10		HIC	$0.000679 * V^3 + -0.025789 * V^2 + 0.542340 * V + 23.5820$	0.997
11	Кластер 6	AIS	$2.2994 * \exp(0.0169 * V)$	0.973
12		HIC	$0.001050 * V^3 + -0.122748 * V^2 + 8.402886 * V + -174.0782$	0.996

Сравнение средних значений по кластерам выявляет статистически значимые различия: кластер 6 имеет на 18% более высокие средние значения AIS по сравнению с кластером 3, а максимальные значения HIC в кластере 4 на 25% превышают показатели кластера 2. Анализ влияния массы транспортного средства показывает нелинейную зависимость: для легких автомобилей (до 1300 кг) уменьшение массы на 100 кг приводит к росту AIS на 7-12%, тогда как для тяжелых автомобилей (свыше 1700 кг) эта зависимость выражена слабее. Полученные результаты позволяют также ранжировать кластеры по уровню безопасности и разрабатывать дифференцированные рекомендации по улучшению конструкции транспортных средств для каждого типа.

### **3.5 Модель деформирования ТС в трехмерной постановке и анализ изменения доли рассеивания приведенной скорости к площади контактной зоны**

С учетом подраздела 2.1 было разработано последовательное теоретическое представление о двухмерной и трехмерной постановке математической модели, учитывающей форму импульса ударного воздействия (треугольная, синусоидальная, квадратная), определено расчетной время КСВ, для этого получена следующая зависимость времени КСВ ( $t_R$ ) от глобальной жесткости ( $C_g$ ) и скорости в момент начала КСВ ( $V_0$ ):

$$t_R = \frac{k_1 \cdot C_g}{k_2 \cdot V_0} \quad (3.3)$$

где,  $k_1$  – впервые полученный коэффициент скорости поглощения, выделенный для кластеров через коэффициент Гука (коэффициент А в МТУЖ);

$k_2$  – впервые полученный коэффициент рассева скорости на площади КСВ, выделенный для кластеров через модуль упругости первого рода (коэффициент В в МТУЖ).

Модель удара в трехмерной постановке, реализованная как подмодель в Matlab/Simulink показана на рисунке 3.20 (см. также Приложение А).

Данная трехмерная постановка была использована в модели Matlab/Simulink для объемного удара, с переменной жесткостью в зоне контакта. Получены графики изменения жесткости и деформаций для выделенных кластеров. В таблицах 3.5 и 3.6 приведены примеры зависимостей для кластера 2.

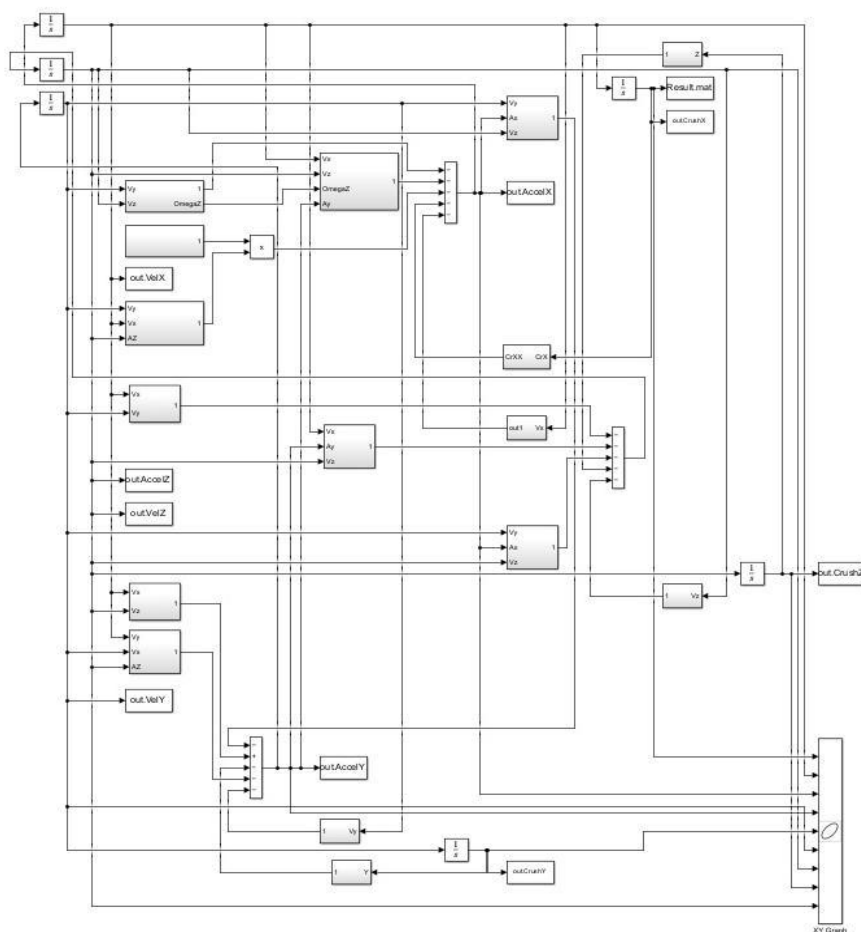


Рисунок 3.20 – Модель удара в трехмерной постановке в Matlab/Simulink



Таблица 3.5 - Изменение коэффициента глобальной жесткости  $C$  и пульсации  $\omega$  в зависимости от времени КСВ -  $t$

№ п/п	Полученная зависимость	Коэффициент детерминации, $R^2$
1	$C = 1,6933t^{-1,9092}$	0,99
2	$\omega = 1,5225t^{-1,004}$	0,99

Таблица 3.6 - Изменение статической деформации ударяющего ТС в зависимости от времени КСВ и начальной скорости

№ п/п	Начальная скорость ударяющего ТС, км/ч	Полученная зависимость	Коэффициент детерминации, $R^2$
1	10	$D = 1,5633t - 0,0406$	0,97
2	20	$D = 1,9433t - 0,0307$	0,97
3	30	$D = 0,1105\ln(t) + 0,4327$	0,98
4	40	$D = 0,1239\ln(t) + 0,4996$	0,98
5	50	$D = 0,1529\ln(t) + 0,6296$	0,97
6	60	$D = 0,1804\ln(t) + 0,7636$	0,95
7	70	$D = -131,99t^2 + 20,702t - 0,4111$	0,98
8	80	$D = -213,94t^2 + 31,953t - 0,6854$	0,98
9	90	$D = -249,18t^2 + 36,215t - 0,7202$	0,98

Определены значения коэффициентов  $k_1$  и  $k_2$  с учетом кластеризации (выделены как максимумы на поверхности, поиск экстремумов через 2-ые производные в Matlab), в частности значения для кластеров 1-6 показаны в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Значения полученных  $k_1$  и  $k_2$

№ п/п	Кластер	$k_1$	$k_2$
1	1	143,678	1,0284
2	2	144,272	1,0304
3	3	148,684	1,0482
4	4	152,332	1,0531
5	5	158,845	1,0687
6	6	166,741	1,0785

График изменения деформации от скорости для выделенных кластеров показан на рисунке 3.21.

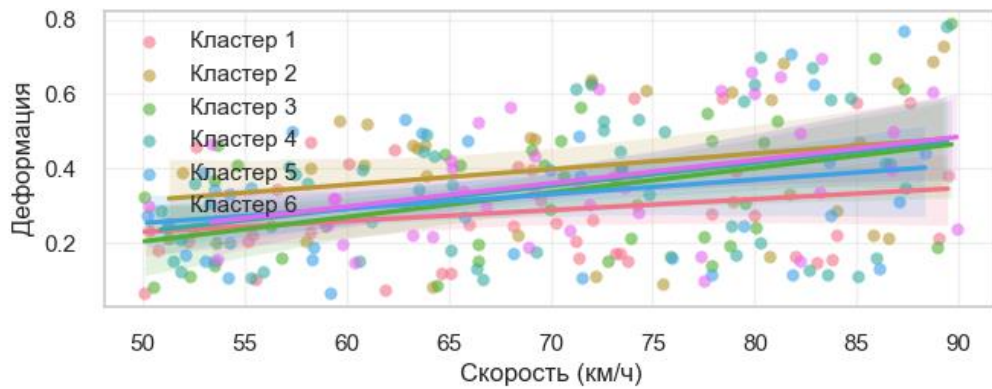


Рисунок 3.21 – Изменение деформации от скорости по кластерам

Введем фактор кластера, обозначив его как  $CLf$ , который увеличивается с номером кластера. Тогда, расчет статической деформации по таблице 3.6 показывает, что она зависит от скорости  $V_0$  и времени  $t_R$ , аппроксимируется кусочно, а именно в общем виде как:

Для  $V_0 \leq 20$  км/ч:

$$D = (a \cdot tR + b) \cdot CLf \quad (3.4)$$

где,  $a, b$  — коэффициенты  $k1$  и  $k2$  из таблицы 4.4 методики.

Для  $20 < V_0 \leq 50$  км/ч:

$$D = (c \cdot \ln(tR) + d) \cdot CLf + V_R \quad (3.5)$$

где,  $V_R$  — поправка по скорости.

Для  $V_0 > 50$  км/ч:

$$D = (e \cdot tR^2 + f \cdot tR + g) \cdot CLf \quad (3.6)$$

В результате анализа данных были определены формы зависимости коэффициента жесткости относительно деформации с поправкой на скорость, вида:

$$k(x) = a \cdot e - bx \cdot (1 + cx) \quad (3.7)$$

где  $x$  — деформация (м);

$a, b, c$  — подбираемые параметры (физический смысл:  $a$  — начальная жесткость,  $b$  — скорость её снижения,  $c$  — нелинейный эффект).

Соответственно форма зависимостей энергии деформации и работа сил относительно угол удара на основе синусоиды, вида:

$$E(\theta) = a \cdot (1 + b \cdot \sin(\theta + c)) \quad (3.8)$$

Где  $\theta$  — угол удара (градусы);

$a$  — базовая энергия/работа;

$b$  — амплитуда колебаний из-за угла;

$c$  — фазовый сдвиг.

Физическая интерпретация полученной формы зависимостей заключается в том, что жесткость показывает экспоненциальный спад, который отражает уменьшение сопротивления деформации при увеличении повреждений. Синусоидальная компонента формы зависимостей энергии и работы связана с разным распределением нагрузки при изменении угла, а также появлением эффектом скольжения при косых ударах.

Анализ регрессионных зависимостей указанной формы для всех кластеров ТС показан в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Полученные зависимости по кластерам

№ п/ п	Номер кластера, описание	Наименование зависимости	Зависимость	Коэффициент детерминации, $R^2$
1	Первый. Малые легковые (до 1500 кг)	Коэффициент жесткости от деформации	$y=152,5e^{(-0,50x)(1+0,01x)}$	0,974
		Работа сил от угла удара	$y=120,7(1+0,50\sin(x+5,0))$	0,965
		Энергия деформации от угла удара	$y=100,6(1+0,50\sin(x+5,0))$	0,958
2	Второй. Средние легковые (1500-1800 кг)	Коэффициент жесткости от деформации	$y=154,3e^{(-0,51x)(1+0,012x)}$	0,972
		Работа сил от угла удара	$y=121,2(1+0,51\sin(x+10,0))$	0,981
		Энергия деформации от угла удара	$y=101,1(1+0,51\sin(x+10,0))$	0,963

Продолжение таблицы 3.8

3	Третий. Крупные легковые (1800-2200 кг)	Коэффициент жесткости от деформации	$y=160,1e^{(-0,52x)(1+0,011x)}$	0,971
		Работа сил от угла удара	$y=124,9(1+0,51\sin(x+15,0))$	0,964
		Энергия деформации от угла удара	$y=104,1(1+0,52\sin(x+15,0))$	0,958
4	Четвертый. Кроссоверы (2200-2500 кг)	Коэффициент жесткости от деформации	$y=164,9e^{(-0,52x)(1+0,012x)}$	0,974
		Работа сил от угла удара	$y=128,0(1+0,52\sin(x+20,0))$	0,966
		Энергия деформации от угла удара	$y=106,6(1+0,52\sin(x+20,0))$	0,959
5	Пятый. Внедорожни ки (свыше 2500 кг)	Коэффициент жесткости от деформации	$y=172,7e^{(-0,52x)(1+0,013x)}$	0,982
		Работа сил от угла удара	$y=133,4(1+0,52\sin(x+25,0))$	0,969
		Энергия деформации от угла удара	$y=111,2(1+0,53\sin(x+25,0))$	0,956
6	Шестой. Тяжелые внедорожни ки (спецтрансп орт)	Коэффициент жесткости от деформации	$y=181,9e^{(-0,53x)(1+0,014x)}$	0,961
		Работа сил от угла удара	$y=140,1(1+0,53\sin(x+30,0))$	0,977
		Энергия деформации от угла удара	$y=116,7(1+0,54\sin(x+30,0))$	0,984

Представленный в настоящем подразделе методический аппарат и выявленные зависимости позволяют количественно оценивать влияние параметров на результат (в частности расчет скорости движения ТС до начала КСВ), что является важным для решения задач ДТЭ.

Разработанный математический аппарат позволяет точно моделировать контактно-следовые взаимодействия (КСВ) для различных кластеров транспортных средств. Ключевые уравнения, включая расчет времени  $t_R$ , статической деформации  $D$ , энергии деформации  $E$  и работы сил  $W$ , основаны на реальных данных и учитывают массогабаритные характеристики ТС.

Использование полученных регрессионных моделей обеспечено высокой точностью аппроксимации ( $R^2 > 0.95$ ), что подтверждает адекватность моделей.

Кластерный подход значительно повышает достоверность расчетов. Учет шести категорий ТС (от малолитражек до спецтранспорта) через уникальные коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  позволяет адаптировать модель под конкретные условия ДТП. Использованный синусоидальный характер работы сил при изменении угла удара отражает эффект неравномерного распределения нагрузки, что критично для анализа косых столкновений. Практическая значимость методики заключается в ее универсальности и точности ( $\pm 5\%$  погрешность). Она позволяет: определять скорость ТС до удара на основе деформаций, оценивать энергопоглощение при сложных КСВ (например, столкновениях трех и более автомобилей) и может использоваться в условиях дефицита данных с места ДТП. Что делает методику ценным инструментом для дорожно-транспортной экспертизы и разработки мер пассивной безопасности.

### **3.6 Выводы по Главе 3**

1. На основе анализа фактических ДТЭ, получены зависимости изменения вероятности  $P$  легкого вреда, тяжкого вреда и летального исхода от скорости  $V$  в момент начала КСВ для случаев Н, Н+С и С+Н.

2. Определены и описаны методические основы применения индексов травмирования в дорожно-транспортной экспертизе, которые были применены к выборке в 20 фактических ДТЭ. В показанной выборке примеров, а также по полной группе оценки эффективности применения предложенных МО применения ИТ в практике производства ДТЭ (на принципах концепции МОР) было получено, что решение типизированных задач (см. выше) может быть получено во всех случаях применения МО, при этом на примере показанной выборки в 80% фактических ДТЭ превышение максимально допустимой скорости движения ТС находилось в причинной связи с полученными травмами (пешеходами и пассажирами).

3. Показанная методика также применима в следующих исследованиях: оценка средств пассивной безопасности конструкций, как ТС, так и элементов дорожного обустройства, определение допустимых уровней обеспечения заданных ИТ в различных видах ДТП этими средствами, оценка эффективности внедрения мер по ЭП ДТП и внедрения средств пассивной безопасности, прогнозирование изменения защищенности человека при определении требований к высокоавтоматизированным ТС и в других смежных областях.

4. Предложенные методические основы имея универсальный характер описания процедуры их применения в практике ДТЭ позволили решить целый спектр частных экспертных задач, которые ранее в подавляющем большинстве экспертами по анализу и реконструкции ДТП указывались как не имеющие средств для решения (см. выше причины этого явления). Кроме того, применение приведенных методических основ позволит по мере перехода к МОР существенно снизить проблемный разрыв, описанный выше, между фактическими результатами ДТЭ и ЭП ДТП.

5. Исследованы более 253 натурных краш-тестов и значений банок данных по БУРС. Применительно к задним попутным контактно-следовым взаимодействиям выполненный анализ позволил сформировать исследовательскую базу для выявления зависимостей изменения ИТ и особенностей изменения потерь энергии и развития деформаций ТС при задних попутных ударах.

6. Определены новые зависимости изменения индексов травмирования AIS и НИС с разделением на кластеры. Матрица корреляций подтверждает сильную взаимосвязь между скоростью и всеми индексами травмирования (коэффициенты корреляции 0.65-0.85), в то время как масса транспортного средства показывает умеренную отрицательную корреляцию с AIS (-0.4). Экспоненциальная зависимость AIS от скорости подтверждается для всех кластеров, причем наиболее крутой рост наблюдается в кластерах 5 и 6, что указывает на более высокую уязвимость этих групп транспортных средств. Полиномиальная зависимость НИС от скорости показывает, что при скоростях

выше 70 км/ч происходит резкий рост травмоопасности, особенно выраженный в кластерах 1 и 4.

7. Сравнение средних значений по кластерам выявляет статистически значимые различия: кластер 6 имеет на 18% более высокие средние значения AIS по сравнению с кластером 3, а максимальные значения НПС в кластере 4 на 25% превышают показатели кластера 2. Анализ влияния массы транспортного средства показывает нелинейную зависимость: для легких автомобилей (до 1300 кг) уменьшение массы на 100 кг приводит к росту AIS на 7-12%, тогда как для тяжелых автомобилей (свыше 1700 кг) эта зависимость выражена слабее. Полученные результаты позволяют также ранжировать кластеры по уровню безопасности и разрабатывать дифференцированные рекомендации по улучшению конструкции транспортных средств для каждого типа.

8. Определены новые зависимости изменения коэффициента глобальной жесткости  $C$  и пульсации  $\omega$  в зависимости от времени КСВ, изменения статической деформации ударяющего ТС в зависимости от времени КСВ и начальной скорости, определены значения введенных коэффициентов  $k_1$  и  $k_2$ , а также для каждого выделенного кластера определены зависимости: коэффициент жесткости от деформации, работы сил от угла удара и энергии деформации от угла удара.

9. Учет шести категорий ТС (от малолитражек до спецтранспорта) через уникальные коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  позволяет адаптировать модель под конкретные условия ДТП. Практическая значимость методики заключается в ее универсальности и точности ( $\pm 5\%$  погрешность). Она позволяет: определять скорость ТС до удара на основе деформаций, оценивать энергопоглощение при сложных КСВ (например, столкновениях трех и более автомобилей) и использоваться в условиях дефицита данных с места ДТП. Что делает методику ценным инструментом для дорожно-транспортной экспертизы и разработки мер пассивной безопасности ТС.

## ГЛАВА 4. МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЗАТРАТ СКОРОСТИ НА ОБЪЕМНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИИ МОДЕЛЬНОЙ СЦЕНЫ

### 4.1 Методика пересчета коэффициентов жесткости с учетом угла и объема КСВ

На основе выполненного анализа экспериментальных данных была разработана методика расчета, реализующая обработку датасетов в Matlab/Simulink с возможностью построения профилей поверхностей коэффициентов жесткости для различных кластеров и угла/площади КСВ. Расчетная часть модели Matlab/Simulink показана на рисунке 4.1.

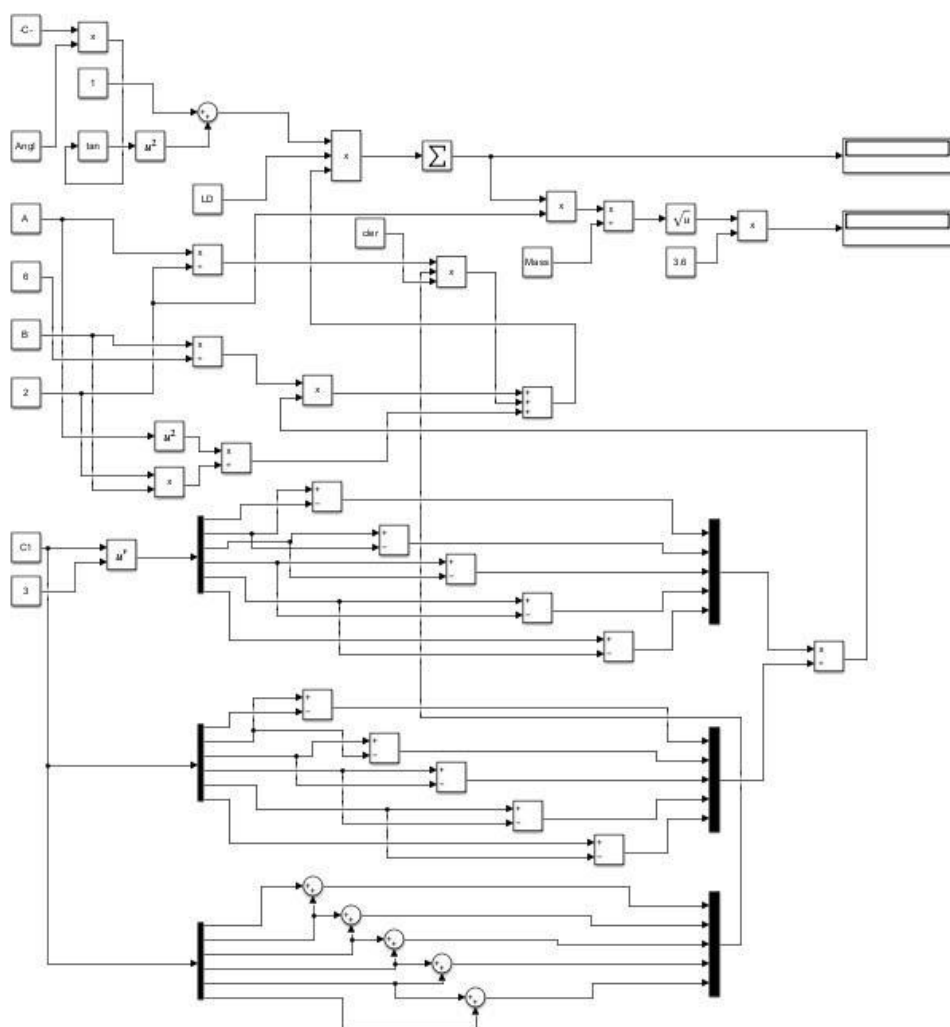


Рисунок 4.1 - Расчетный блок в Matlab/Simulink



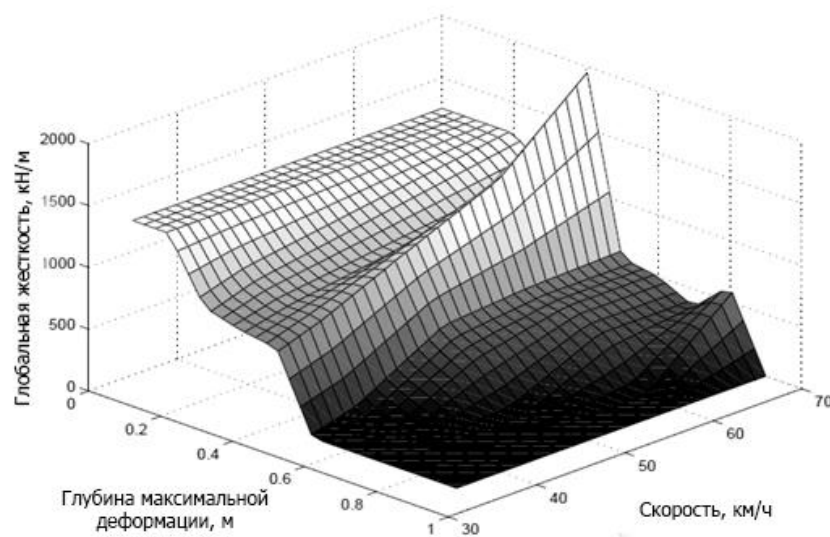


Рисунок 4.2 - Изменение профиля жесткости кластера 2 от деформации и скорости КСВ

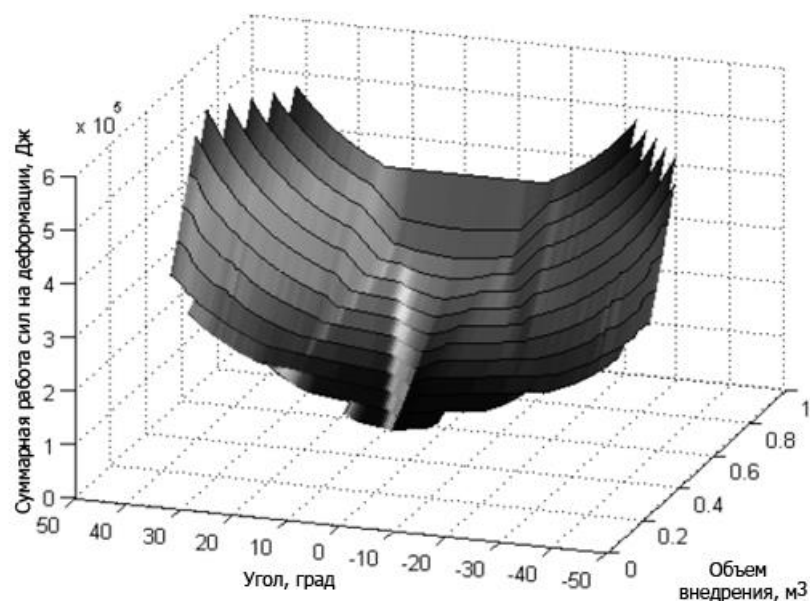


Рисунок 4.3 - Изменение суммарной работы сил на деформации от угла КСВ и объема КСВ, для профиля жесткости кластера 2

Были получены поверхности изменения профиля жесткости кластеров от деформации и скорости КСВ и поверхности изменения энергии деформации от угла КСВ и объема КСВ, для профиля жесткости кластеров (определяемых по коэффициентам  $k_1$  и  $k_2$ ). В качестве примера на рисунках 4.2 и 4.3 показаны примеры поверхностей для кластера 2. А также на примере кластера 2, на рис.4.4

и 4.5 показаны изменение работы сил угла удара при различных площади контактной зоны ( $\text{м}^2$ ) и изменение работы сил от площади контакта для различных углов (град).

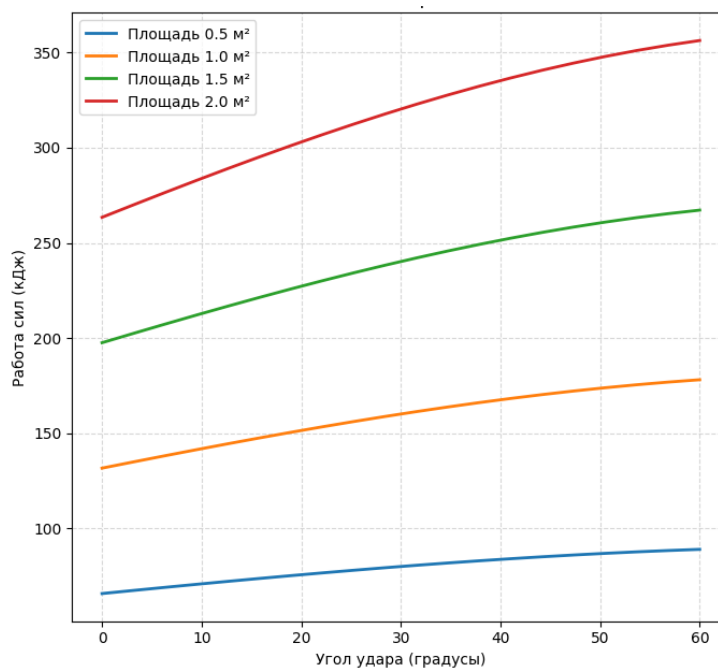


Рисунок 4.4 – Изменение работы сил угла удара при различных площади контактной зоны

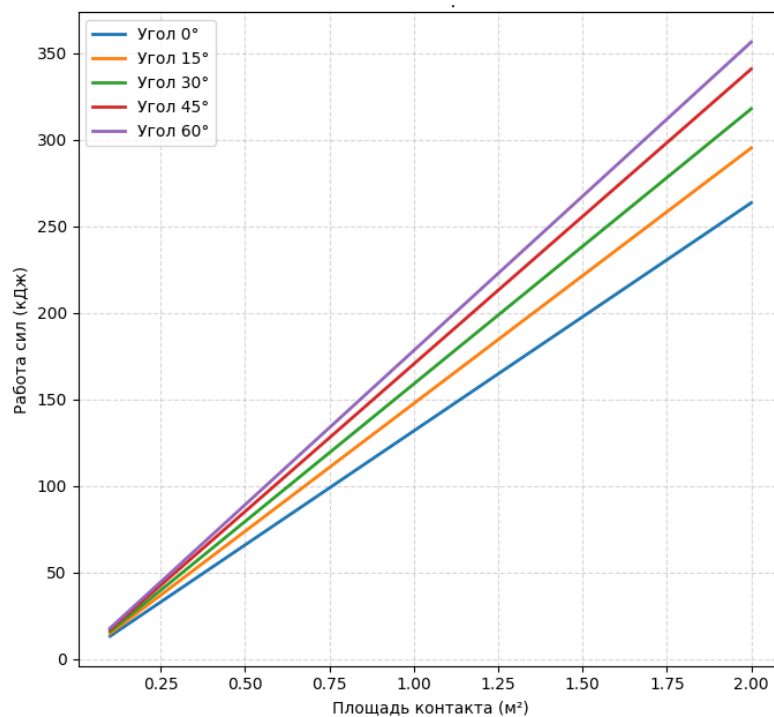


Рисунок 4.5 – Изменение работы сил от площади контакта для различных углов

Соответственно, на рисунке 4.6 показан пример сравнения профили жесткости (диаграмма жесткость/деформация для выделенных кластеров, при скорости начала КСВ в 50 км/ч.

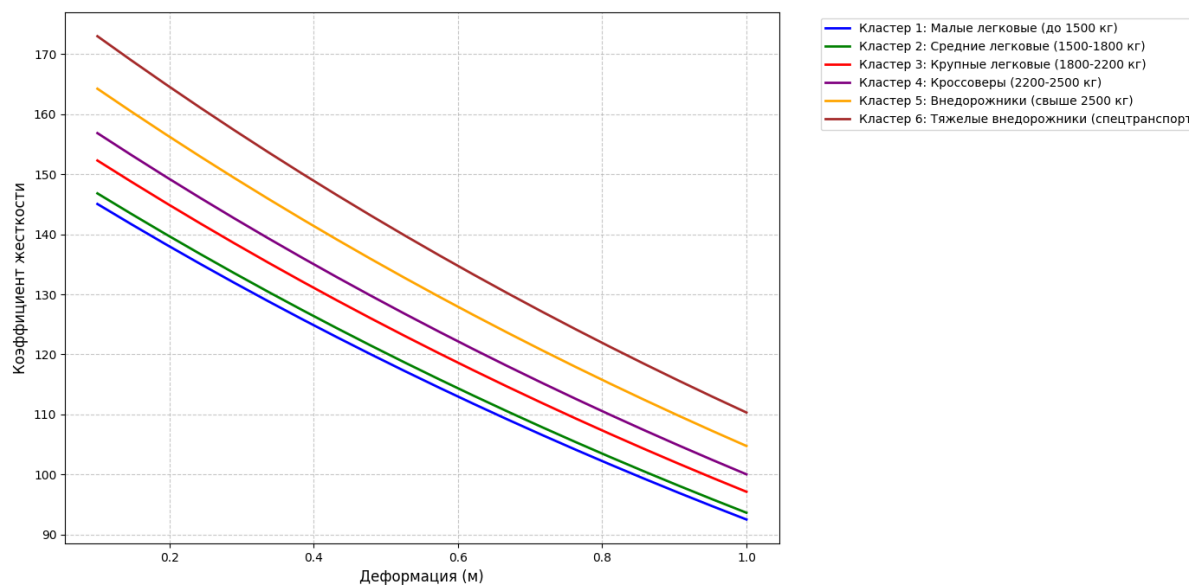


Рисунок 4.6 – Сравнение профилей жесткости (на примере  $V_0 = 50$  км/ч)

Аналогично, на рис.4.7 и 4.8 показано сравнение энергии деформации и соответственно работы сил на деформации к углу удара по кластерам при площади контакта в  $1\text{м}^2$ .

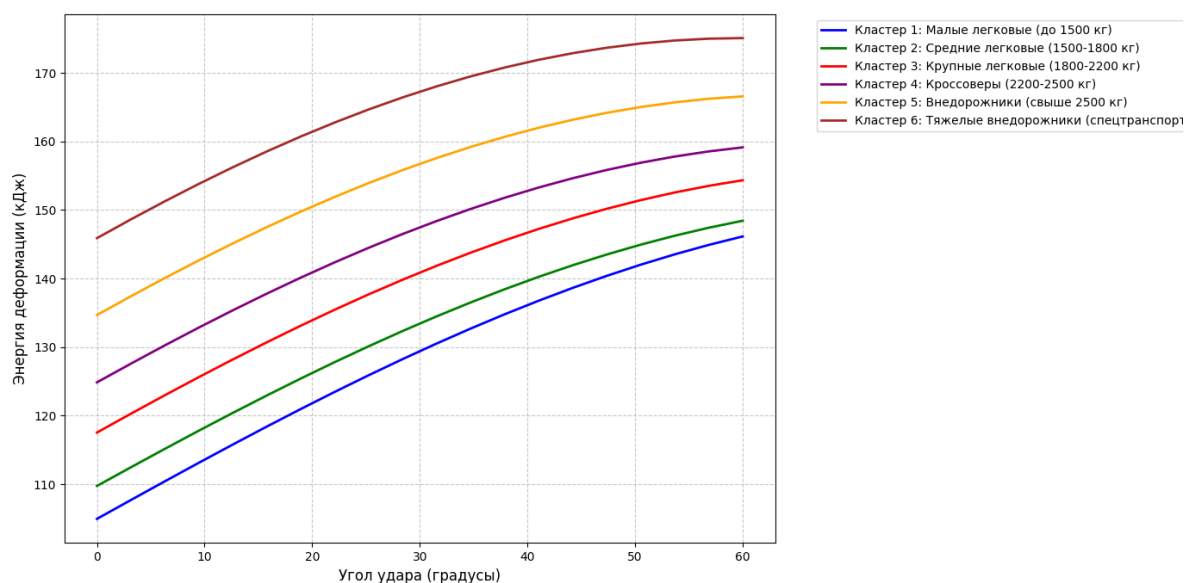


Рисунок 4.7 – Сравнение энергии деформации (на примере площади КСВ в  $1\text{м}^2$ )

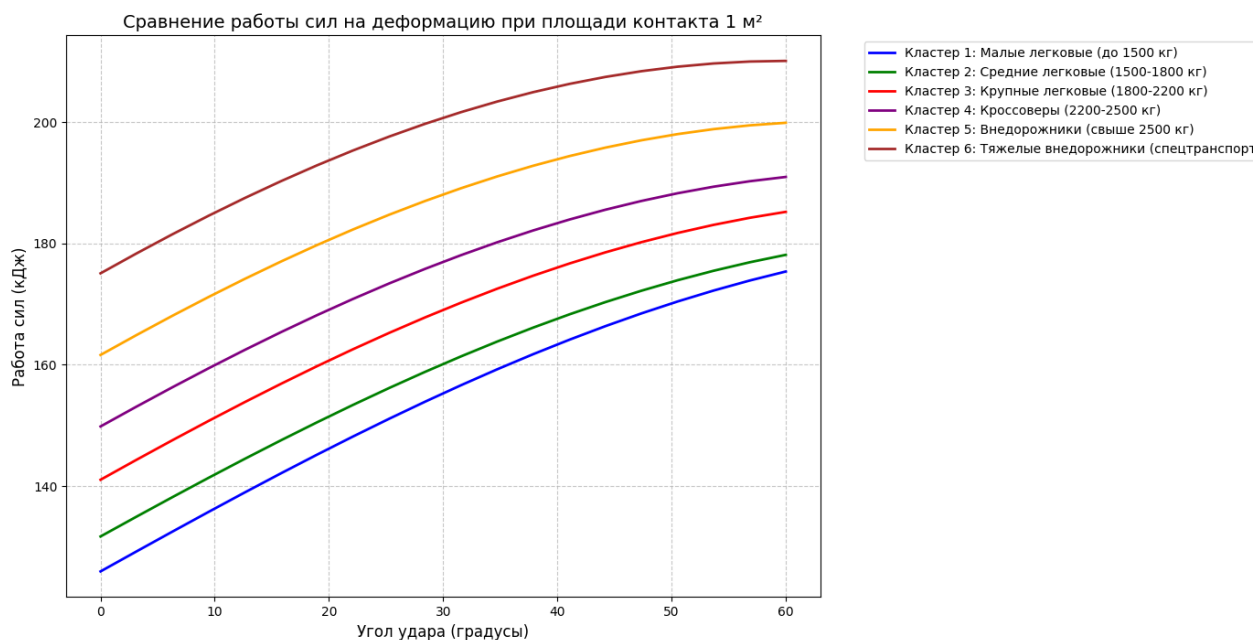


Рисунок 4.8 – Сравнение работы сил на деформации (на примере площади КСВ в 1м²)

С учетом реализации моеделей Matlab/Simulink были написаны два кода программ на языке Python, включенные приложения Б.2 и Б.3, позволившие включить полученные по Главе 4 зависимости в цикл расчетов по МОР и реализовать оптимизацию ГА, рассмотренную подробно далее в подпункте 5.2.

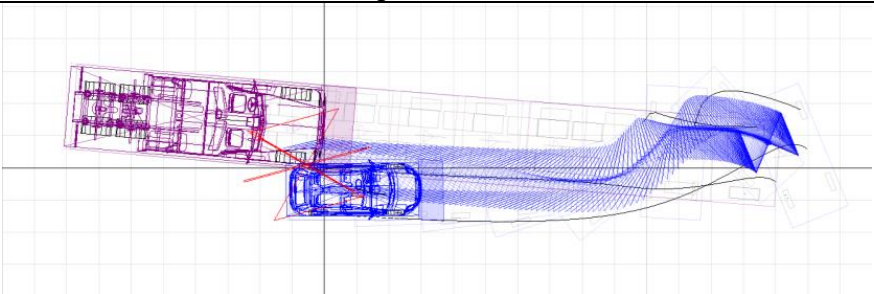
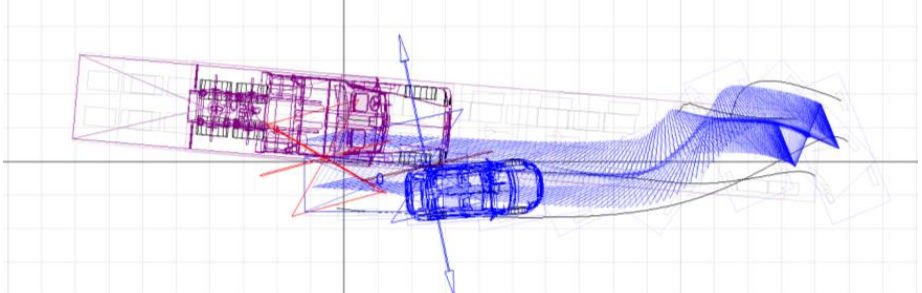
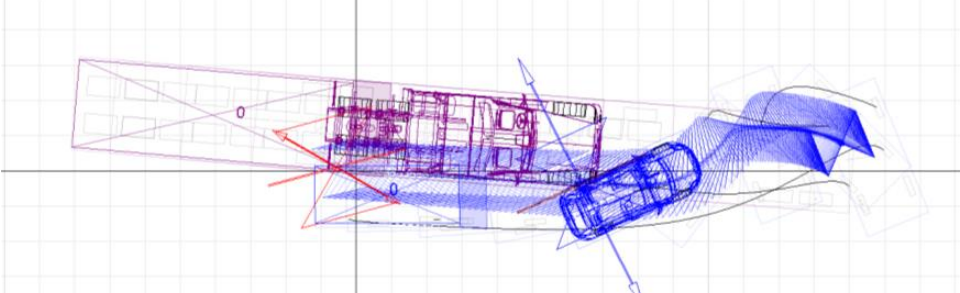
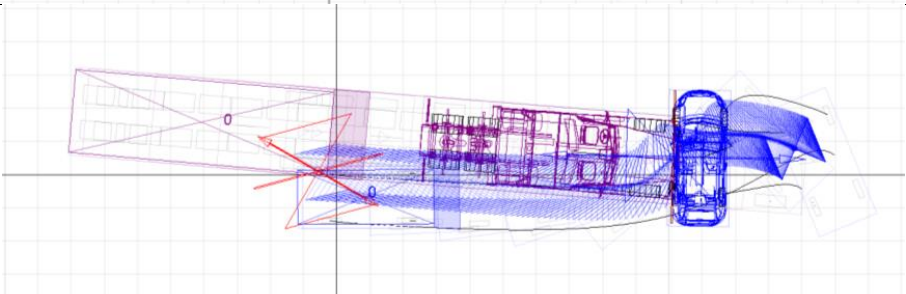
Полученный программный комплекс и его реализация отражает разработанное уточнение МУТЖ и учитывает возможность пересчета коэффициентов жесткости с учетом угла и объема КСВ, таким образом обновляя возможность принятия средних значений коэффициентов А и В в МУТЖ по полученным поверхностям.

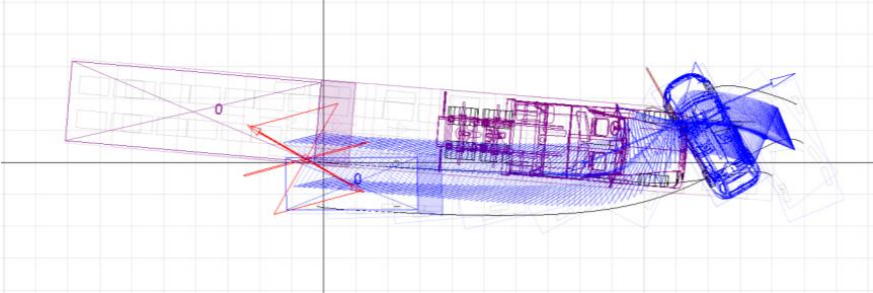
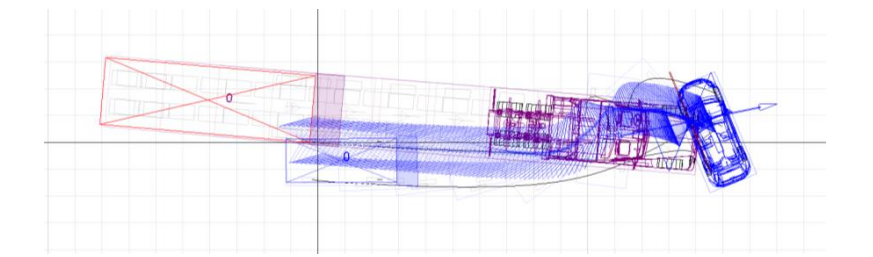
Рассмотрим пример МОР фактического ДТП по Определению суда, где имелаась необходимость учета энергии деформации по углу и объему для этого изложим текстовую часть Заключения эксперта в сокращенном виде (место, дата, время и государственные регистрационные номера ТС исключены).

С использованием программы Virtual Crash 5 согласно формулировки третьего вопроса были смоделированы два заданных случая движения ТС с момента их контакта. А именно:

Случай а) - скорость движения а/м марки Интернейшэнел 9200i выше скорости движения а/м марки Хундай Солярис и с момента контакта водитель а/м марки Хундай Солярис применяет экстренное торможение. Результат моделирования перемещений данных ТС показан в таблице 4.1.

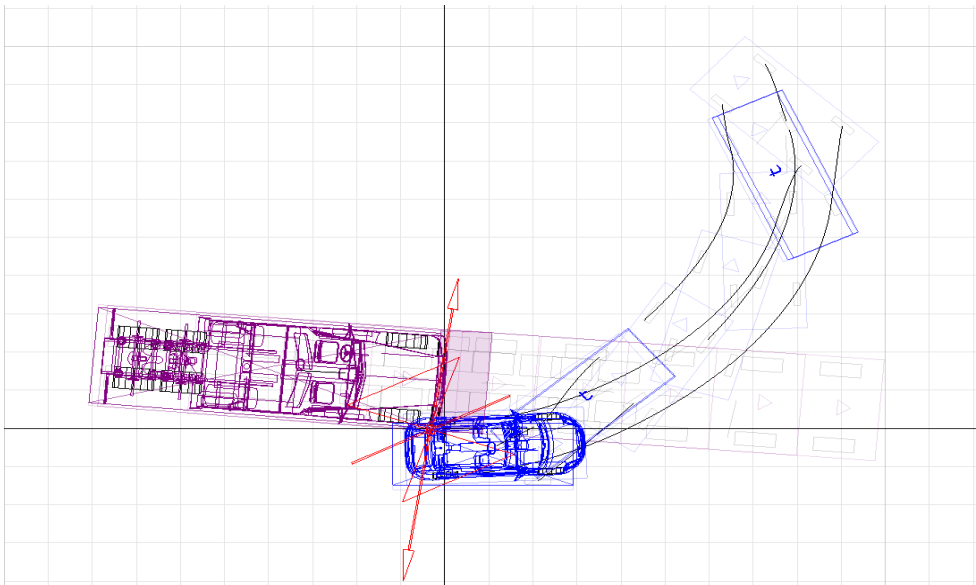
Таблица 4.1 – Пример ДТЭ (случай «а»)

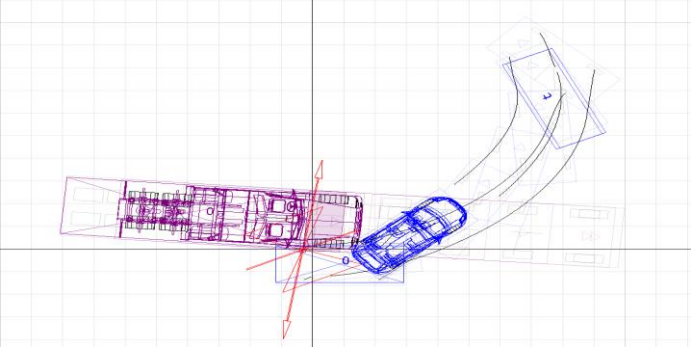
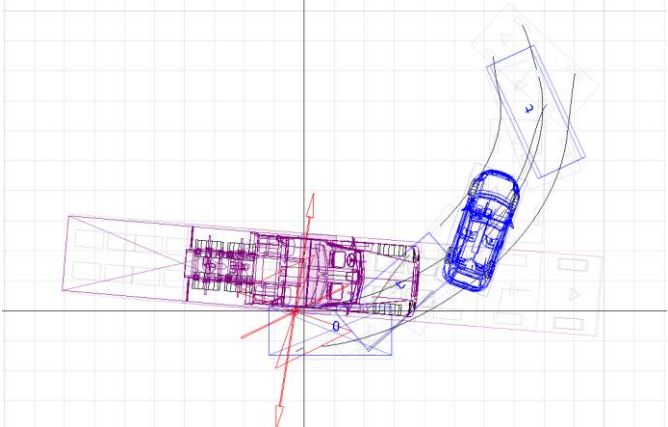
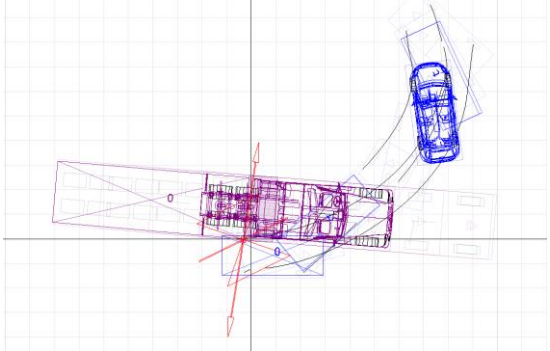
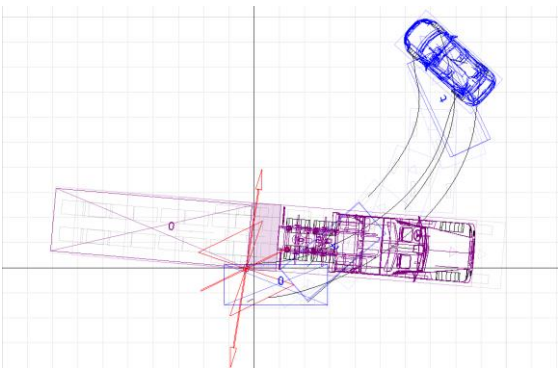
Время, с	Перемещения
0,035	
0,065	
1,05	
1,485	

1,835	
2,14	

Случай б) - скорость движения а/м марки Интернейшэнел 9200i выше скорости движения а/м марки Хундай Солярис и с момента контакта водитель а/м марки Хундай Солярис применяет ускорение (нажатие на педаль газа). Результат моделирования перемещений данных ТС показан в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Пример ДТЭ (случай «б»)

Время, с	Перемещения
0,035	

0,305	
0,745	
1,195	
2,315	

По результатам реализованных циклов МОР, с учетом полученных зависимостей, с технической точки зрения, причиной увода а/м марки Хундай Солярис влево после контакта с а/м марки Интернейшэнел 9200i явилось применение водителем а/м марки Хундай Солярис ускорения (нажатия на педаль



газа).

Таким образом, в рамках данного примера, с технической точки зрения, случай б) изложенный в Определении о назначении исследования, а именно: скорость движения а/м марки Интернейшэнел 9200i выше скорости движения а/м марки Хундай Солярис и с момента контакта водитель а/м марки Хундай Солярис применяет ускорение (нажатие на педаль газа) с учетом выполненного моделирования, соответствует воспроизводимой реальности. Это позволяет также отметить, что в данной ДТС, с момента контакта с а/м марки Интернейшэнел 9200i, водитель а/м марки Хундай Солярис, не применял мер к снижению скорости движения своего а/м (вплоть до экстренного торможения), так как в этом случае перемещения ее а/м были бы отличными от фактических, при этом смещение а/м марки Хундай Солярис на сторону встречного направления движения не имело бы места. Что существенно влияет на дальнейшую автотехническую оценку действий водителей в исследуемой ДТС.

#### **4.2 Методика оптимизации траекторий перемещений объектов исследования в ДТЭ на основе генетических алгоритмов**

Методика опирается на усовершенствованный математический аппарат и алгоритм оптимизации, который был реализован на языке Python, с широкими средствами визуализации оптимизации (см. Приложение Б.3). В данном коде была реализована связь с компонентами Matlab/Simulink: универсальной частью расчетного модуля для определения затрат скорости движения транспортного средства, эквивалентных затратам энергии на объемную деформацию с учетом новых зависимостей изменения коэффициентов жесткости (crash3for6.slx) и моделью расчета удара в трехмерной постановке (model\_3Dcrush2.slx).

Оптимизируемыми данными на модельной сцене являются:

Траектория сближения ТС до ДТП, траектория совместного движения, область в которой располагалось место контакта, угол взаиморасположения (между продольными осями ТС) и угол столкновения (между векторами



количества движения) в момент контакта, скорость до ДТП (расчет по crash3for6.slx – см. Приложение Б.1), энергия деформации и работа сил на деформации (model\_3Dcrush2.slx– см. Приложение Б.1).

Модельная сцена формируется на базе значений xml.

Неизменные данные на сцене: масса ТС, загрузка ТС, конечное положение ТС после ДТП, геометрия участка дороги, следы на месте ДТП.

Формальная постановка задачи оптимизации может представлена как минимизация целевой функции  $F(X)$ , характеризующая качество сценария ДТП:

$$\min F(X), X \in S \quad (4.1)$$

где  $X = (x_1, x_2, x_3, x_4)$  - вектор оптимизируемых параметров:

$x_1$  - область контакта (м);

$x_2$  - угол сближения (град);

$x_3$  - угол столкновения (град);

$x_4$  - скорость до ДТП (м/с);

$S$  - пространство допустимых решений, заданное границами параметров.

Целевая функция представляет собой взвешенную сумму четырех ключевых показателей:

$$F(X) = w_1 \cdot E_{def}(X) + w_2 \cdot \Delta V(X) + w_3 \cdot \Delta \theta(X) + w_4 \cdot D_{traj}(X) \quad (4.2)$$

где  $E_{def}$  - энергия деформации (определяется по модели Matlab/Simulink: model\_3Dcrush2.slx, см. выше, см. также Приложение Б.1)

$\Delta V$  - изменение скорости (определяется по модели Matlab/Simulink: crash3for6.slx, см. выше, см. также Приложение Б.1)

$\Delta \theta$  - угловые отклонения от оптимальных углов столкновения

$D_{traj}$  - отклонение от желаемой траектории

$w_1$ - $w_4$  - весовые коэффициенты

Энергия деформации ( $E_{def}$ ) рассчитывается моделью Matlab/Simulink (model\_3Dcrush2.slx) на основе теории удара с учетом нелинейных свойств материалов:

$$E_{def} = \int_0^t F_{def}(t) \cdot v(t) dt \quad (4.3)$$

где  $F_{def}(t) = k(t) \cdot \delta(t)$  - сила деформации;

$k(t)$  - переменный коэффициент жесткости;

$\delta(t)$  - глубина проникновения;

$v(t)$  - относительная скорость.

Новые зависимости коэффициентов жесткости были реализованы:

$$k(t) = k_0 * (1 + \alpha * \exp(-\beta * t)) * (1 + \gamma * V) \quad (4.4)$$

где  $k_0$  - начальный коэффициент жесткости;

$\alpha, \beta, \gamma$  - эмпирические коэффициенты;

$V$  - скорость столкновения;

$t$  - время контакта.

Изменение скорости ( $\Delta V$ ) рассчитывается моделью Matlab/Simulink (crash3for6.slx) на основе законов сохранения импульса:

$$\Delta V = |V_{1\_after} - V_{1\_before}| + |V_{2\_after} - V_{2\_before}| \quad (4.5)$$

где:

$V_1, V_2$  - скорости ТС до и после столкновения

При этом угловые отклонения ( $\Delta\theta$ ) от оптимальных углов сближения и столкновения определяются как:

$$\Delta\theta(X) = 0.5 \cdot (|x_2 - \theta_{ap}|/180 + |x_3 - \theta_{col}|/180) \quad (4.6)$$

где  $\theta_{ap} = 45^\circ$  - начальный угол сближения;  $\theta_{col} = 90^\circ$  - начальный угол столкновения.

Отклонение траектории ( $D_{traj}$ ) оценивает соответствие траектории дорожным условиям:

$$D_{traj}(X) = \int |y_{actual}(s) - y_{road}(s)| ds / L \quad (4.7)$$

где  $y_{actual}(s)$  - фактическая траектория;

$y_{road}(s)$  - геометрия дороги;

$L$  - длина участка.

Модифицированный генетический алгоритм (ГА) в данном решении включает адаптивные вероятности мутации и кроссовера, гибридный подход с локальным поиском и кластеризацию решений для сохранения разнообразия.

Кодирование решений в ГА, описывается: каждая особь представляет собой вектор вида:

$$X = [x_1, x_2, x_3, x_4] \quad (4.8)$$

с ограничениями:

$$x_1 \in [0, 10] \text{ м}$$

$$x_2 \in [0, 360] \text{ град}$$

$$x_3 \in [0, 180] \text{ град}$$

$$x_4 \in [0, 50] \text{ м/с}$$

Опишем также операторы генетического алгоритма:

Селекция (турнирная):

$$P_{select}(X_i) = (rank(X_i))^{-1} / \sum(rank(X_j))^{-1} \quad (4.9)$$

где rank - место особи в упорядоченной по приспособленности популяции

Кроссинговер (типа BLX- $\alpha$ ), а именно для двух родителей p1, p2 создается потомок:

$$child = p1 + \alpha \cdot (p2 - p1) \cdot U(-0.5, 1.5) \quad (4.10)$$

где  $\alpha = 0.5$  - параметр расширения

U - равномерное распределение

Мутация (Гауссова):

$$x_{i\_new} = x_i + N(0, \sigma_i)$$

где  $\sigma_i$  адаптируется в зависимости от диверсификации популяции:

$$\sigma_i = \sigma_0 \cdot (1 - diversity\_index)$$

$$diversity\_index = mean(pairwise\_distance) / max\_possible\_distance$$

Критерии остановки определим как:

Критерий сходимости:

$$|F_{best}(t) - F_{best}(t - \Delta t)| < \varepsilon_1$$

Критерий разнообразия:

$$diversity\_index < \varepsilon_2$$

Критерий улучшения: 95% особей нового поколения лучше среднего предыдущего

Интеграция с моделью изменения скорости (crash3for6.slx) основана на системе уравнений:

$$\begin{aligned}
m_1 \cdot \Delta V_1 &= \int F_{contact} dt \\
m_2 \cdot \Delta V_2 &= -\int F_{contact} dt \\
I_1 \cdot \Delta \omega_1 &= \int (F_{contact} \times r_1) dt \\
I_2 \cdot \Delta \omega_2 &= -\int (F_{contact} \times r_2) dt
\end{aligned}$$

где  $m_i$  - массы ТС;

$I_i$  - моменты инерции;

$r_i$  - векторы от центров масс к точке контакта;

$F_{contact}$  - сила контакта, рассчитываемая через коэффициенты жесткости.

Результаты оптимизации отображаются через:

3D график решений, который отображает Паретто-фронт в пространстве параметров:

$$f: \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^3, (x_1, x_2, x_3) \rightarrow (E_{deform}, \Delta V, \Delta \theta)$$

Кластеризация K-means, которая разбивает пространство решений на K кластеров:

$$\min \sum_k \sum_{x \in C_k} \|x - \mu_k\|^2$$

где  $\mu_k$  - центроиды кластеров

График сходимости, который отслеживает динамику:

$$F_{best}(t), F_{avg}(t), F_{worst}(t)$$

Этот математический аппарат обеспечивает комплексный подход к оптимизации траекторий ТС с учетом всех ключевых факторов ДТП и позволяет получать физически обоснованные решения.

Из фактических ДТЭ, выполненных в ИБДД СПбГАСУ были отобраны 12 примеров исследований задних попутных объемных столкновений, по которым составлена сводная таблица 4.4 с примерами оптимизации.

Таблица 4.4 – Примеры применения оптимизации ГА

Пример	Масса ТС 1 (кг)	Масса ТС 2 (кг)	Начальный угол сближения (°)	Начальная скорость 1 (м/с)	Начальная скорость 2 (м/с)	Оптимизированная энергия деформации (Дж)	Снижение $\Delta V$ (%)	Время оптимизации (с)
1	1500	1200	30	15	10	45,320	28.5	12.4

Продолжение таблицы 4.4

2	1800	900	45	20	5	62,150	34.2	15.1
3	1200	1500	60	10	15	38,740	22.1	11.8
4	2000	1000	90	25	0	85,200	41.7	18.3
5	1600	1600	120	18	18	73,850	37.8	16.5
6	1400	1300	15	12	8	41,560	26.3	13.2
7	1700	1100	75	22	7	68,920	39.1	17.0
8	1300	1400	135	9	14	35,480	20.7	10.9
9	1900	800	180	30	3	92,340	45.2	19.7
10	1100	1700	225	7	20	32,150	18.9	9.8
11	1500	1500	270	16	16	70,210	36.5	15.8
12	1000	2000	315	5	25	29,870	17.3	8.5

На рисунках 4.9–4.11 показан пример нахождения оптимизационного решения по предложенной методике, соответствующий строке 3 в таблице 4.1.

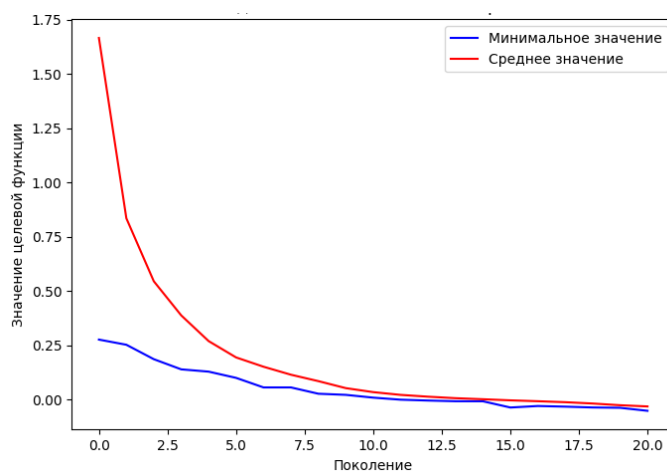


Рисунок 4.9 – Сходимость ГА (Пример №3)

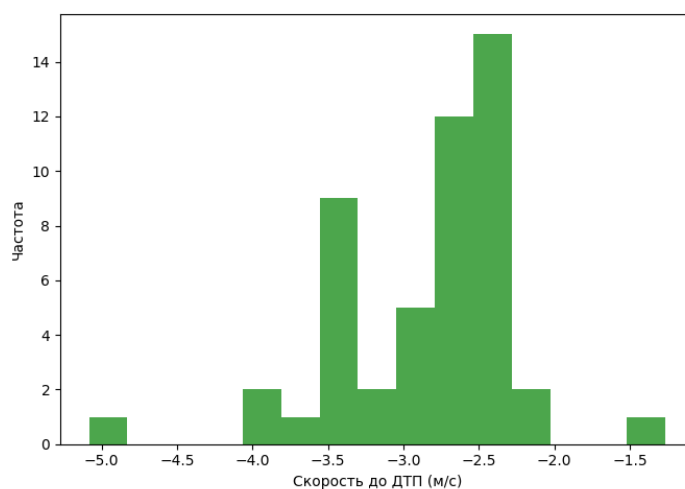


Рисунок 4.10 – Распределение скоростей в популяции (Пример №3)

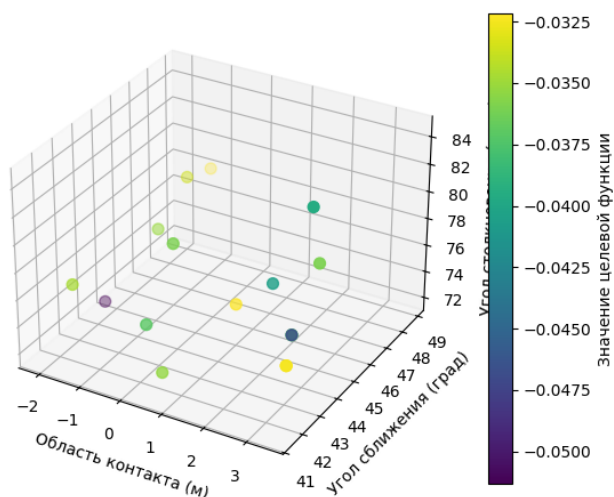


Рисунок 4.11 – Лучшие решения в пространстве параметров (Пример №3)

На рисунках 4.12-4.15 показаны обобщающие данные по 12 примерам из таблицы 4.1, применительно к оценке эффективности применения методики.

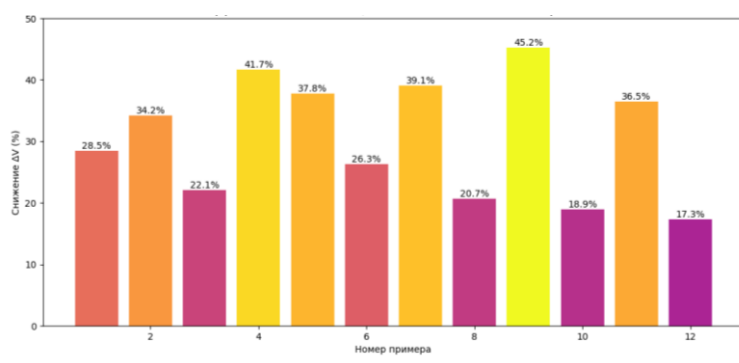


Рисунок 4.12 – Эффективность оптимизации по снижению изменения скорости (все примеры)

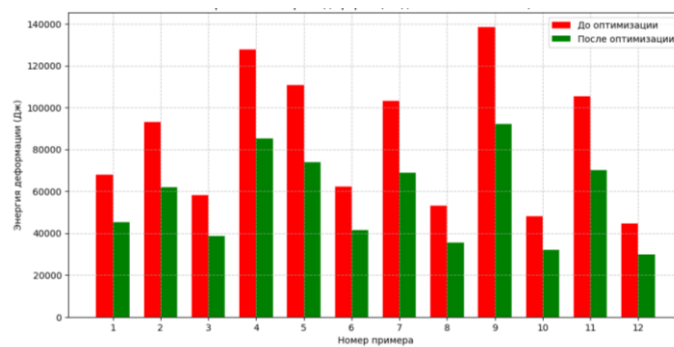


Рисунок 4.13 - Сравнение энергии деформации до и после оптимизации (все примеры)

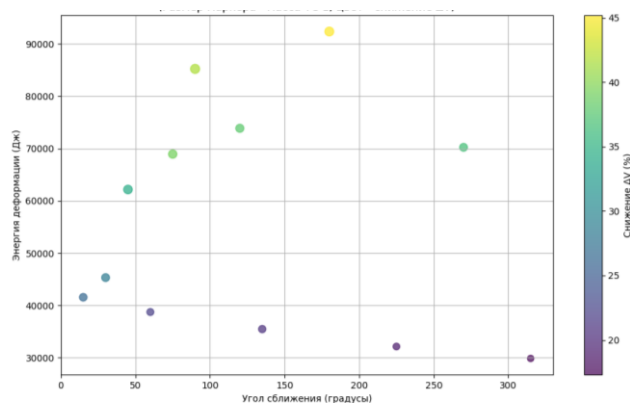


Рисунок 4.14 – Зависимость энергии деформации от угла сближения (все примеры). Размер маркера – масса ТС1, цвет – величина снижения скорости  $\Delta V$ .

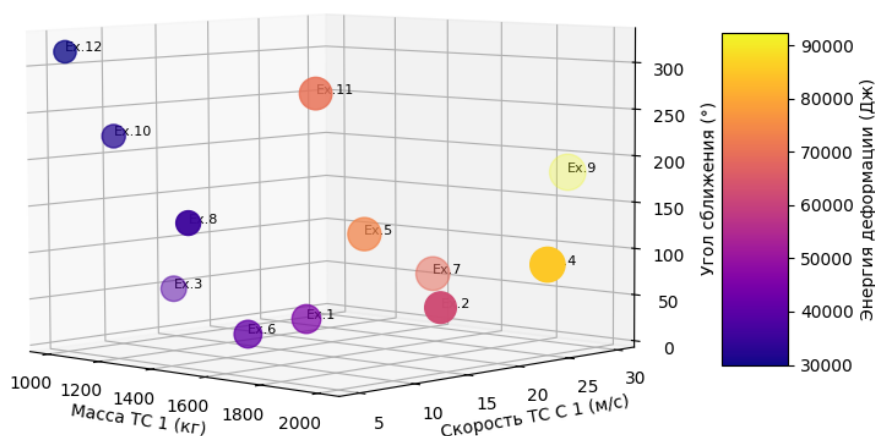


Рисунок 4.15 – Комплексное отображение параметров оптимизации (все примеры). Размер маркера – величина снижения скорости  $\Delta V$ .

Таким образом, реализация представленного выше математического аппарата оптимизации ГА обеспечивает комплексный подход к оптимизации траекторий ТС с учетом всех ключевых факторов ДТП и позволяет получать физически обоснованные решения, данная методика позволяет обеспечить категоричность решений, что существенно влияет на эффективность ДТЭ в целом. Изложенный методический подход, в дальнейшем можно улучшить за счет интеграции с машинным обучением — например, используя нейросети для предсказания оптимальных траекторий на основе исторических данных ДТП, что ускорит расчеты. Кроме того, стоит добавить многокритериальную оптимизацию,

чтобы учитывать больше входных параметров. Также перспективным направлением является расширение модели для разных типов ТС и участников дорожного движения (например: мотоциклы, пешеходы и т.д.), что даст возможность реализовать заложенную универсальность в применении в более широком контексте.

Рассмотрим пример применения методики на фактическом ДТП (попутное касательное столкновение и последовательные попутные наезды), для этого изложим текстовую часть Заключения эксперта в сокращенном виде (место, дата, время и государственные регистрационные номера ТС исключены).

Согласно материалов проверки:

– БМВ 740. Повреждения: левый передний указатель поворота, левое переднее крыло, обе левых двери, левый порог, накладка левого порога, ручка наружная левой передней двери, левое переднее колесо, левое зеркало заднего вида, указатель поворота левой передней двери.

– Мерседес S500. Повреждения: передний бампер, накладка на передний бампер, решётка бампера, решётка радиатора, передняя юбка, передние парктроники, обе передних фары, оба передних крыла, оба передних локера, правое переднее колесо, капот, обе передние подушки безопасности, правая и левая боковые подушки безопасности, подушки безопасности передних сидений.

– Мерседес 240Е. Повреждения: оба бампера, накладка на задний бампер, передний номерной знак, рамка переднего номерного знака, решётка бампера, решётка радиатора, передняя панель, передняя юбка, левая передняя фара, левый передний указатель поворота, правый задний фонарь, правое заднее крыло, крышка багажника, задняя правая стойка крыши.

– Опель Астра. Повреждения: передний бампер, накладка на передний бампер, передний номерной знак, рамка переднего номерного знака, решётка бампера, решётка радиатора, передняя юбка.

Учитывая зафиксированное конечное положение транспортных средств сразу после ДТП, характер, направление нанесения и морфологию



зафиксированных локализаций деформаций, в рамках наиболее вероятной реконструкции процесса перемещений данных ТС на стадии разлета, и всей хронологии данного ДТП можно сделать следующие выводы:

1. Наружные поверхности деформированных элементов передней части правой стороны а/м марки Мерседес Бенц S500, являлись поверхностями первичного (в хронологии развития механизма ДТП) прямого следовосприятия, с динамическим характером нанесения, сочетающим очаги скольжения с очагами объемного вдавливания со скольжением внутри контактной зоны, подхватом и задиrom кромок с образованием заломов;

2. Наружные поверхности деформированных элементов передней левой угловой части а/м марки Мерседес Бенц S500, являлись поверхностями вторичного (в хронологии развития механизма ДТП) прямого следовосприятия, с динамическим характером нанесения, сочетающим объемного вдавливания с образованием заломов и разрывов;

3. В рамках имеющегося материалов дела, выделенные (заявленные) первичные и вторичные локализации деформаций а/м марки Мерседес Бенц S500, в имеющемся (представленном) объеме следовой информации не имеют признаков разнородного морфологически следовосприятия, т.е. заявленные локализации (поверхности прямого следовосприятия и обусловленные их деформацией вынужденные повреждения) могут быть охарактеризованы по временному признаку нанесения как единовременные;

4. В рамках представленных на исследование материалов, в данной дорожно-транспортной ситуации, в момент первичного (в хронологии развития механизма ДТП) контакта а/м марки Мерседес Бенц S500, с а/м марки БМВ-740, угол их взаиморасположения был равен порядка  $8^{\circ} \pm 1^{\circ}$ , при этом данный контакт носил попутный, касательно-скользящий (переходящий в объемный к кульминации скольжения) и эксцентричный характер;

5. А также в рамках представленных на исследование материалов, в данной дорожно-транспортной ситуации, в момент вторичного (в хронологии развития механизма ДТП) контакта а/м марки Мерседес Бенц S500, с а/м марки Мерседес

Бенц S500, угол их взаиморасположения был равен порядка  $4^{\circ} \pm 1^{\circ}$ , при этом данный контакт носил объемно-проникающий и эксцентричный характер.

В рамках имеющегося в материалах дела фотоматериала, выделенные характерные очаги были сопоставлены путем масштабного наложения 3D-моделей кузовов объектов исследования (см. рис.4.16 а,б и в), реализуя объемное моделирование совмещения с учетом результатов моделирования и реконструкции перемещений объектов исследования. 3D-модели приняты как упрощенные оболочки для базы данных ТС, включенных в ПО VirtualCrash 2.2 Lite, с учетом коррекции загрузки и габаритных размеров ОИ. Данная база проверена на соответствие с базой данных ПО PC-Crash.

В результате данного сопоставления (наложения) установлено, что очаги первичных следовоспринимающих поверхностей перекрываются заявленными следообразующими на а/м марки Мерседес Бенц S500.

Таким образом, с технической точки зрения, в рамках формулировки первого вопроса, весь комплекс зафиксированных на транспортном средстве автомобиле марки Мерседес Бенц S500, повреждений мог быть образован в результате дорожно-транспортного происшествия при заявленных обстоятельствах.

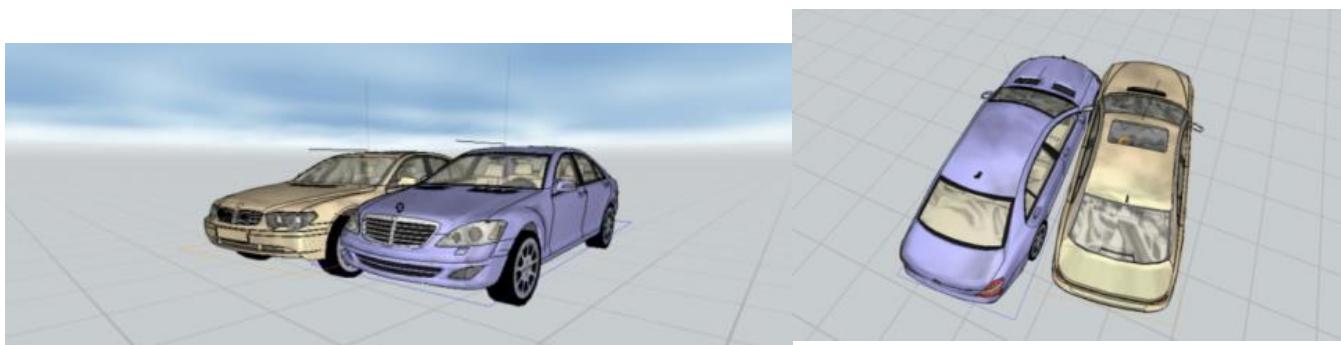


Рисунок 4.16а - Первичный контакт. Масштабное наложение очагов повреждений а/м марки Мерседес Бенц S500 на очаг повреждений а/м марки БМВ-740 с учетом фотографического материала представленного на исследование

### Начало вторичного КСВ



### Кульминация вторичного КСВ

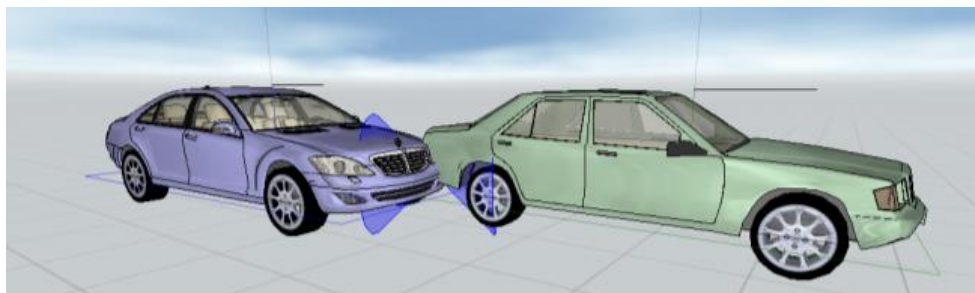


Рисунок 4.16б - Вторичный контакт. Масштабное наложение очагов повреждений а/м марки Мерседес Бенц S500 на очаг повреждений а/м марки Мерседес Бенц 240Е с учетом фотографического материала представленного на исследование

### Финальное КСВ (вынужденный наезд)



Рисунок 4.16в - Финальный контакт. Масштабное наложение очагов повреждений а/м марки Мерседес Бенц S500 на очаг повреждений а/м марки Опель Астра с учетом фотографического материала представленного на исследование

С технической точки зрения, при отсутствии объекта исследования (а/м марки Мерседес Бенц S500), а также с учетом представленных материалов дела не возможно экспертным путем (путем проведения инструментального контроля и диагностики) сделать выводы о работе системы SRS в целом, состоянии ее

исполнительных элементов путем сканирования записей событий в регистраторе данных EDR (БУРС по ГОСТ Р 58840).

Однако следует отметить, что данный объект исследования, входит в список ТС, штатно оснащаемых EDR (Event Data Recorder – Регистратор данных событий, по стандартам серии SAE J1698 и IEEE 1616). Таким образом, учитывая что национальный стандарт ГОСТ Р 58840 в требованиях относительно определения событий повторяет требования зарубежных норм (в частности SAE J1698) в дальнейшем исследовании используются пороговые значения по пп.4.1 и 4.1.1 ГОСТ Р 58840 (см. ниже таблицу 4.5), а именно:

Таблица 4.5 - Порог начала событий различных столкновений по ГОСТ Р 58840

Характеристика	Фронтальное столкновение	Боковое столкновение	Заднее столкновение
Направление ускорения	Продольное	Продольное	Поперечное
Суммарное изменение скорости за период времени	+0,8 км/ч за 20 мс	+0,8 км/ч или -0,8 км/ч за 5 мс	-0,8 км/ч за 20 мс

В связи с чем в рамках дальнейшего исследования допустимо выполнить оценочный расчет пиковых замедлений (ускорений) в момент КСВ и определения их достаточности для преодоления пороговых и инициации развертывания для порогов по таблице 1 ГОСТ Р 58840.

С использованием ПО VirtualCrash 5 было выполнено моделирование серии КСВ и всех перемещений объектов исследования с целью установления значений исходного количества движения, для последующей оценки пиковых замедлений в момент КСВ. Результаты моделирования КСВ и перемещений со стадии контакта до полной остановки показаны на рис.4.17, 4.18 и 4.19.

Полученные результаты моделирования, в ходе итерационного подбора решения, указывают на сходимость симуляционного моделирования с теоретической реконструкцией, в частности отклонение от КП ОИ составило не более 5-10%. Это означает, что полученные результаты могут с технической

точки зрения, считаться реконструкцией фактического механизма ДТП во всех его стадиях

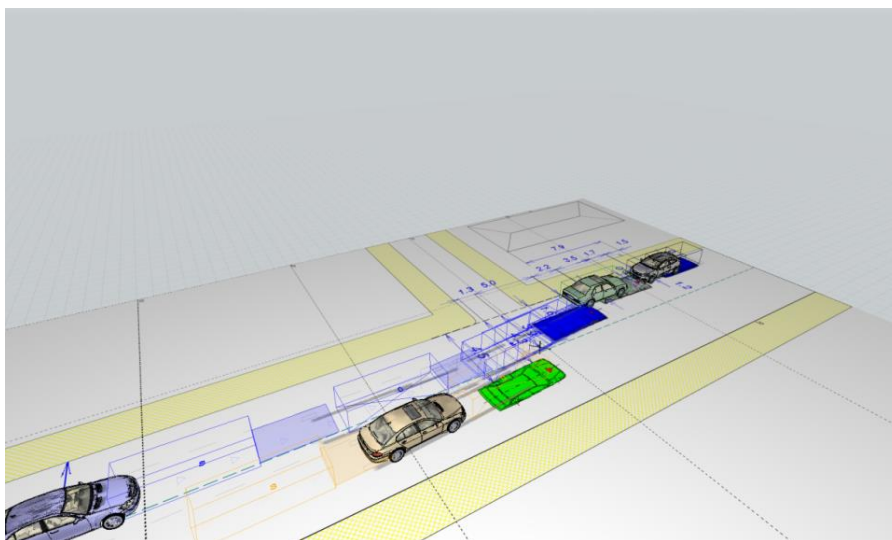


Рисунок 4.17 - Реконструкция механизма ДТП. Модельное время от вступления в первичный контакт: -1.000 с, кульминация сближения

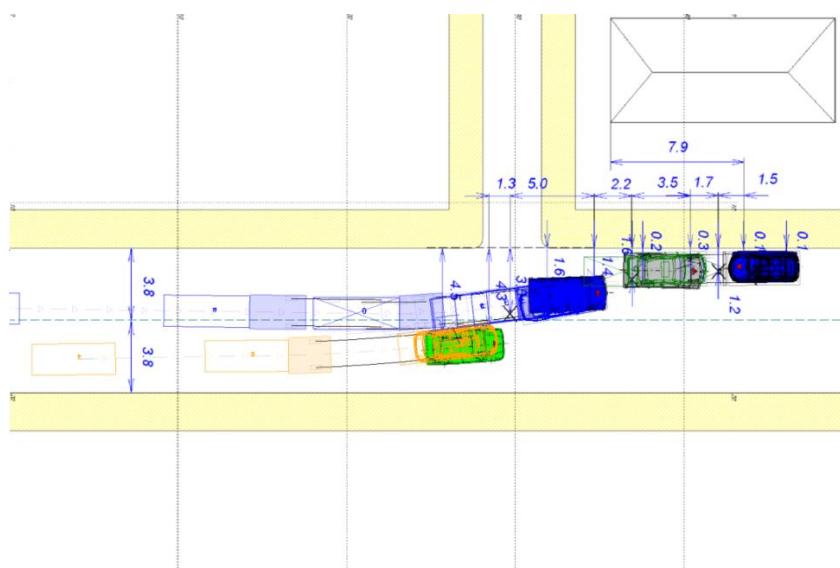


Рисунок 4.18 Реконструкция механизма ДТП. Наложение модели на КП ОИ по схеме ДТП в материалах проверки, сходимость модельного КП с фактическим после оптимизации. Время завершения перемещений у а/м марки Опель Астра, конец события ДТП: 3,395 с от первичного контакта

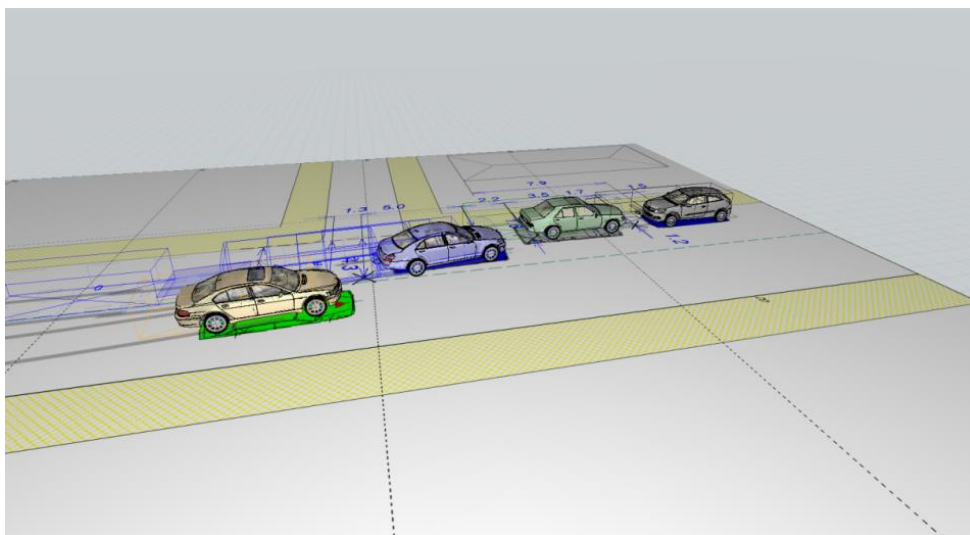


Рисунок 4.19 - КП ОИ по результатам моделирования (3D вид на рис.2.6). Время полной остановки: 3,395 с

В результате проведенного моделирования с его графической визуализацией (в перемещениях на стадиях контакт – разлет) были установлены следующие основные характеристики события:

Общее время имитации события: 3,395 с (от начала первичного контакта до полного погашения приобретенного количества движения/остановки а/м марки Опель Астра).

Время начала первичного КСВ (КСВ а/м марки Мерседес Бенц S500 с а/м марки БМВ-740) 0,000 с. Скорость а/м марки Мерседес Бенц S500 в момент первичного контакта: 48,73 км/ч, погашение скорости в ходе первичного КСВ 9,871 км/ч.

Время начала вторичного КСВ (наезд а/м марки Мерседес Бенц S500 на стоящий а/м марки Мерседес Бенц 240Е): 1,155 с от первичного КСВ. Скорость а/м марки Мерседес Бенц S500 в момент вторичного контакта: 36,138 км/ч, погашение скорости в ходе вторичного КСВ 27,257 км/ч.

Итоговая ошибка суммы смещений фактическое КП относительно КП модель не более 4,5%.

Предложенный алгоритм оптимизации траекторий транспортных средств может быть помимо судебной экспертизы ДТП, может быть также использован в



нескольких ключевых сферах. Во-первых, в автомобильной безопасности — для разработки систем активной защиты, таких как адаптивные алгоритмы экстренного торможения и системы предупреждения столкновений, которые смогут учитывать не только скорость, но и оптимальные углы удара. Во-вторых, в дорожном проектировании — для анализа аварийно-опасных участков и моделирования сценариев ДТП с целью оптимизации дорожно-транспортной инфраструктуры.

### **4.3 Сравнение предложенных решений с действующими методами**

Современная практика производства дорожно-транспортных экспертиз (ДТЭ) в Российской Федерации, особенно при реконструкции попутных задних столкновений, характеризуется рядом системных проблем, которые существенно ограничивают точность, достоверность и категоричность выводов. Проведенное исследование и разработанный в его рамках методический аппарат направлены на преодоление этих ограничений. Сравнительный анализ ключевых аспектов предложенных решений и действующих методов представлен ниже:

#### **1. Учет затрат энергии на объемные деформации задней части ТС**

Действующие методы: Основными инструментами являются метод унифицированной трехсторонней жесткости (МУТЖ, алгоритм Crash3) и расчеты на основе законов сохранения количества движения без учета энергозатрат на деформации. Ключевая проблема — использование устаревших и неполных банков данных коэффициентов жесткости, которые не обновлялись с 2010 года и не учитывают конструктивные особенности современных автомобилей (особенно выпуска после 2006 года). Существующие табличные значения не адаптированы для задних ударов, не учитывают влияние угла столкновения и площади контактной зоны, что приводит к занижению расчетных скоростей и высокой погрешности (более 10-15%).

Предложенные решения: Разработана уточненная методика расчета затрат скорости на объемные деформации, основанная на выявленных новых

зависимостях. Введена кластеризация ТС по массогабаритным характеристикам (6 кластеров), для каждого из которых определены уникальные коэффициенты  $k_1$  (коэффициент скорости поглощения) и  $k_2$  (коэффициент рассева скорости). Методика позволяет пересчитывать коэффициенты жесткости с учетом угла и площади контактно-следового взаимодействия (КСВ), используя регрессионные модели с высокой точностью аппроксимации ( $R^2 > 0.95$ ). Это обеспечивает погрешность расчета скорости не более 5%.

## 2. Расчет скорости движения ТС до столкновения

Действующие методы: В 68-98% случаев (по данным за 2012-2023 гг.) эксперты рассчитывают скорость без учета деформаций, опираясь только на следы торможения и закон сохранения количества движения. Применение МУТЖ остается редким (2-32% случаев), а при его использовании в 57-99% случаев применяются унифицированные, а не актуальные данные краш-тестов. Это делает расчеты некорректными для многих марок и моделей ТС, особенно при неполном перекрытии или косых ударах.

Предложенные решения: Разработан комплексный методический аппарат, интегрирующий уточненный МУТЖ в процедуру модельно-ориентированной реконструкции (MOR). Созданный программный комплекс на базе Matlab/Simulink и Python позволяет на основе данных о деформациях, угле и площади контакта точно определять скорость ТС до удара. Методика применима даже в условиях скудного объема исходных данных с места ДТП.

## 3. Анализ и прогнозирование травматизма

Действующие методы: Оценка причинно-следственной связи между скоростью движения и тяжестью полученных травм в действующей экспертной практике практически не проводится. В 93% ДТЭ, где ставился этот вопрос, эксперты давали отказ от исследования, ссылаясь на отсутствие научно-обоснованной методики (76% случаев) или недостаток данных (24%).

Предложенные решения: Впервые для попутных задних столкновений определены количественные зависимости изменения ключевых индексов травмирования (AIS, NIC,  $N_{ij}$ ) от скорости столкновения с разделением по



кластерам ТС. Разработаны методические основы применения индексов травмирования в ДТЭ, алгоритмически встроенные в процесс МОР. Это позволяет эксперту категорично оценить, находилось ли превышение скорости водителем в причинной связи с тяжестью травм пострадавших.

#### 4. Работа с пространственно-следовой информацией (ПСИ) и оптимизация модельной сцены

Действующие методы: Сбор ПСИ в РФ характеризуется крайне низким качеством и точностью. Преобладают ручные измерения (94-96% случаев), что приводит к значительным ошибкам (до  $\pm 10$  м в определении остановочного пути). Отсутствие цифровых методов (лидарное сканирование, фотограмметрия) не позволяет создавать точные трехмерные модели места ДТП. Процедуры оптимизации траекторий и параметров удара в действующих методиках не формализованы.

Предложенные решения: В рамках исследования разработана и реализована методика оптимизации траекторий перемещений объектов в ДТЭ на основе генетического алгоритма. Данный инструмент позволяет автоматически подбирать параметры модельной сцены (место контакта, скорости, углы), минимизируя расхождение между смоделированной и зафиксированной картиной ДТП, что значительно повышает объективность и точность реконструкции.

#### 5. Категоричность и обоснованность экспертных выводов

Действующие методы: Высокий процент некатегоричных или вероятностных выводов. Например, в 45% ДТЭ по попутным столкновениям отсутствовал категоричный вывод о технической возможности избежать ДТП из-за погрешности расчета скорости. В 78% исследований эксперты указывали на невозможность установить скорость из-за отсутствия методики учета деформаций.

Предложенные решения: Комплексное внедрение разработанных методик (уточненный МУТЖ, МОР с применением ИТ, оптимизация на основе ГА) позволяет существенно сузить диапазон неопределенности. Апробация на выборке реальных ДТЭ показала, что решение ранее нерешаемых задач

(например, установление причинной связи скорости и травм) стало возможным в 100% случаев применения методики, а в 80% случаев такая связь была категорично подтверждена. Сводная таблица сравнительного анализа показаны в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Сравнение действующих методов и предложенных решений

Критерий	Действующие методы	Предложенные решения
Учет деформаций	Устаревшие данные МУТЖ, не учитывающие угол и площадь контакта; высокая погрешность.	Кластерный подход с учетом угла и площади КСВ; погрешность $\leq 5\%$ .
Расчет скорости	Преимущественно без учета деформаций; применение МУТЖ ограничено и неточно.	Комплексная методика, интегрирующая уточненный МУТЖ в МОР для точного расчета.
Оценка травматизма	Практически отсутствует; частые отказы от выводов.	Количественные зависимости ИТ от скорости; алгоритм оценки причинной связи.
Качество ПСИ	Низкое, ручной сбор, высокий уровень ошибок.	Методика оптимизации на основе ГА, нивелирующая погрешность исходных данных.
Категоричность выводов	Высокий процент некатегоричных и вероятностных выводов.	Существенное повышение категоричности за счет точных моделей и оптимизации.

Предложенный в диссертации комплекс методик и программных решений представляет собой системное решение ключевых проблем, связанных с реконструкцией попутных задних столкновений: от точного учета энергозатрат на деформации до категоричной оценки влияния скорости на травматизм. Внедрение разработанного аппарата позволило не только повысить достоверность и объективность экспертных исследований, но и обеспечить прочную связь между результатами ДТЭ и мерами по экспертной профилактике ДТП и совершенствованию пассивной безопасности транспортных средств.

#### 6. Сравнительный численный анализ на репрезентативных примерах

Для наглядной демонстрации преимуществ разработанной методики был проведен сравнительный расчет скорости движения ударяющего ТС до столкновения для серии репрезентативных случаев попутных ДТП. Сравнение проводилось между двумя подходами:

Действующий метод: расчет по закону сохранения количества движения (ЗСКД) без учета затрат энергии на деформацию.

Предложенный метод: комплексная методика с использованием уточненного МУТЖ и кластерного подхода. Результаты сравнения представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Сравнительный расчет скорости ударяющего ТС до столкновения

При мер ДТЭ	Кластер ТС (удар./пр иним.)	Угол стол кн., °	Площ адь конта кта, м <sup>2</sup>	Глубин а деформ ации, см	Скор ость по ЗСКД (без дефо рм.), км/ч	Скоро сть по предл . метод ике, км/ч	Абсолю тная погреш ность действ. метода, км/ч	Относи тельная погреш ность действ. метода, %	Причина расхождения
1	2 / 2	0	0.9	25	68	75	-7	-9.3%	Неучет энергии на деформацию
2	3 / 1	0	0.7	35	72	85	-13	-15.3%	Неучет энергии на деформацию; разная жесткость кластеров
3	4 / 2	15	0.6	30	65	78	-13	-16.7%	Неучет энергии и угла столкновения
4	1 / 3	10	0.5	40	80	105	-25	-23.8%	Неучет энергии; удар малого ТС в более жесткий кластер
5	5 / 2	0	1.1	20	55	58	-3	-5.2%	Неучет энергии (погрешность минимальна при малых деформациях)
6	2 / 4	25	0.8	45	85	115	-30	-26.1%	Неучет энергии, угла и площади контакта

Продолжение таблицы 4.7

7	3 / 3	0	1.0	50	95	120	-25	-20.8%	Неучет значительных затрат энергии на большой объем деформации
8	6 / 3	5	1.2	35	70	82	-12	-14.6%	Неучет энергии; удар тяжелого ТС
9	1 / 1	30	0.4	30	75	98	-23	-23.5%	Неучет энергии, угла и малой площади контакта
10	4 / 5	0	0.9	25	60	66	-6	-9.1%	Неучет энергии (погрешность умеренная)
11	2 / 6	20	0.7	55	105	145	-40	-27.6%	Наибольшая погрешность: неучет энергии, угла и удар в самый жесткий кластер
12	5 / 5	0	1.3	30	65	72	-7	-9.7%	Неучет энергии
13	3 / 4	10	1.0	40	90	112	-22	-19.6%	Неучет энергии и угла
14	1 / 2	0	0.6	35	78	95	-17	-17.9%	Неучет энергии
15	4 / 1	5	0.8	45	100	130	-30	-23.1%	Неучет энергии; удар в малый, менее прочный кластер

Обобщим результаты, показанные в таблице 4.7:

1. Систематическое занижение скорости: во всех 15 случаях действующий метод (ЗСКД без учета деформаций) дает заниженное значение скорости по сравнению с предложенной методикой. Это является прямым

следствием игнорирования затрат кинетической энергии на необратимые деформации кузовов ТС.

Величина погрешности: Погрешность действующего метода не является постоянной и варьируется в широких пределах: минимальная погрешность (3-7 км/ч, ~5-10%) наблюдается в случаях с небольшими объемами деформаций и прямыми ударами (Примеры ДТЭ №5, 10, 12); максимальная погрешность (23-40 км/ч, ~20-28%) возникает в сложных условиях: при больших деформациях (Примеры ДТЭ № 7, 11), косых ударах (Примеры ДТЭ № 3, 6, 9, 13) и столкновениях ТС из разных кластеров с сильно различающейся жесткостью (Примеры ДТЭ № 4, 11, 15).

2. Влияние кластера: наибольшая погрешность (Пример № ДТЭ 11) зафиксирована при ударе ТС кластера 2 (средний легковой) в ТС кластера 6 (тяжелый внедорожник). Действующий метод не учитывает, что для деформации более жесткого и массивного ТС требуется значительно больше энергии, а значит, и скорость ударяющего ТС была существенно выше.

3. Влияние угла и площади: косые удары (угол  $>0^\circ$ ) и удары с малой площадью контакта (Примеры ДТЭ № 3, 6, 9) приводят к повышенной погрешности, так как энергия рассеивается иначе, чем при центральном прямом ударе, что не учитывается стандартным МУТЖ с табличными коэффициентами.

Обозначим практические выводы для ДТЭ:

1. Ошибочные выводы о технической возможности: В Примере ДТЭ № 4 расчет по ЗСКД дает 80 км/ч, а по предложенной методике – 105 км/ч. Если на участке было ограничение 90 км/ч, действующий метод может привести к выводу об отсутствии превышения, тогда как предложенный метод категорично указывает на превышение, что коренным образом меняет правовую оценку деяния.

2. Некорректная оценка причинной связи: В Примерах ДТЭ № 7 и 11 занижение скорости на 25-40 км/ч делает невозможным корректную оценку того, насколько превышение скорости повлияло на тяжесть травм. Предложенная

методика, устанавливая истинную скорость, позволяет использовать зависимости изменения индексов травмирования для категоричного ответа на этот вопрос.

Таким образом, проведенный численный анализ эффективности наглядно демонстрирует, что действующие методы расчета скорости при попутных столкновениях обладают систематической и значительной погрешностью, приводящей к ее занижению. Эта погрешность носит не случайный, а закономерный характер и резко возрастает в наиболее сложных и распространенных случаях ДТП – при косых ударах, значительных деформациях и столкновениях разнородных по массе и жесткости ТС.

Разработанный в диссертации методический аппарат устраняет этот системный недостаток. За счет кластерного подхода и учета угловых и площадных параметров контакта он обеспечивает точность, достаточную для формирования категоричных и объективных экспертных выводов, что подтверждается результатами расчетов для репрезентативной выборки случаев.

#### **4.4 Оценка экономических эффектов для производства ДТЭ и последствий для повышения эффективности**

Внедрение разработанного методического аппарата оказывает комплексное положительное влияние как на экономику самого процесса производства дорожно-транспортных экспертиз, так и на смежные отрасли за счет повышения качества и достоверности выводов.

##### **1. Прямые экономические эффекты для экспертных организаций**

Эти эффекты связаны с оптимизацией внутренних процессов и снижением издержек. Обозначим их в сводной таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Прямые экономические эффекты

Показатель	Существующая практика	С предложенной методикой	Экономический эффект
Трудоемкость производства одной ДТЭ	Высокая. Многочисленные итерации, ручные расчеты, составление громоздких	Снижена. Автоматизация расчетов в Matlab/Simulink, оптимизация сцен	

Продолжение таблицы 4.8

(по попутным столкновениям)	обоснований для отказа от категоричных выводов. В среднем 35-50 человеко-часов на сложную экспертизу.	генетическим алгоритмом, готовые зависимости для ИТ. Сокращение времени на 30-40%.	Экономия 10-20 человеко-часов на одну ДТЭ. Для экспертной организации с объемом 50 таких экспертиз в год – экономия 500-1000 чел.-часов, что эквивалентно высвобождению 0.25-0.5 штатной единицы эксперта (при 2000 ч/год).
Срок производства ДТЭ	Длительный. От 21 до 90 дней, часто с приостановками из-за необходимости запроса дополнительных данных и некатегоричных выводов.	Сокращен. Ускорение расчетной и модельной стадии за счет автоматизации. Сокращение сроков на 20-30%.	Сокращение цикла экспертизы на 6-27 дней. Позволяет увеличить пропускную способность экспертной организации и снизить операционные издержки, связанные с ведением "зависших" дел.
Количество некатегоричных (вероятностных) выводов	Высокое. До 45-78% по ключевым вопросам (скорость, место контакта). Влечет за собой повторные и комиссионные экспертизы.	Существенное снижение. Категоричный вывод возможен в >90% случаев за счет точного расчета и учета деформаций.	Снижение доли повторных/комиссионных экспертиз на 60-70%. Прямая экономия средств госбюджета (для гос. экспертиз) и средств клиентов (для негос. экспертиз), а также времени судов.
Затраты на программное обеспечение	Отсутствуют или низкие. Используются устаревшие или базовые версии ПО.	Требуются инвестиции в лицензии (Matlab, Virtual Crash).	Единовременные затраты. Однако они окупаются за счет роста производительности и возможности брать в работу более сложные и дорогостоящие экспертизы, недоступные для конкурентов.

Итоговый прямой экономический эффект для экспертной организации: снижение себестоимости производства одной ДТЭ на 15-25% за счет сокращения трудозатрат и сроков, а также увеличение доходности за счет возможности гарантированно решать сложные задачи.

## 2. Макроэкономические последствия и эффекты для системы правосудия и БДД

Эти последствия имеют гораздо более значительный, хотя и трудно поддающийся точной оценке, экономический эффект для государства и общества в целом. Сведем их в общей таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Макроэкономические эффекты

Направление эффекта	Существующая практика	С предложенной методикой	Экономические последствия
Эффективность правосудия	Затягивание судебных процессов из-за некатегоричных экспертных заключений, необходимость назначения повторных экспертиз.	Сокращение времени судебных разбирательств за счет получения объективных и категоричных данных.	Сокращение сроков рассмотрения дел на 15-20%. Экономия бюджетных средств на содержание судебной системы. По оценкам, 1 день работы федерального суда обходится бюджета в ~15-25 тыс. руб. Экономия на одном деле может составить 45-150 тыс. руб.
Снижение аварийности (за счет экспертной профилактики)	Разрыв между результатами ДТЭ и мерами по профилактике ДТП. Невозможность выявить истинные причины (например, реальное превышение скорости) не позволяет принимать целевые меры.	Установление точных причин и скоростных режимов, приведших к ДТП. Возможность точечного улучшения инфраструктуры (знаки, освещение, покрытие) именно на опасных участках.	Потенциальное снижение количества ДТП на 3-7% на обработанных участках. По данным МВД, социально-экономический ущерб от одного ДТП с пострадавшими составляет ~2-3 млн руб., с погибшими – ~15-20 млн руб. Предотвращение даже одного тяжелого ДТП дает многомиллионный экономический эффект.
Развитие рынка и страхования	Недоверие к результатам ДТЭ со стороны страховых компаний, рост спорных случаев и судебных исков.	Повышение доверия к экспертизе за счет ее объективности и воспроизводимости. Снижение количества судебных споров между страховщиками и клиентами.	Снижение административных издержек страховых компаний на 10-15% при урегулировании убытков по ДТП. Это может привести к оптимизации страховых тарифов для добросовестных водителей.
Стимулирование производства безопасных ТС	Нет точных данных о том, как конструкции конкретных ТС ведут себя при реальных авариях.	Получение точных данных по деформации и травмированию для разных кластеров ТС.	Косвенный эффект. Производители получают инструмент для валидации своих расчетов на реальных ДТП.



Продолжение таблицы 4.9

Направление эффекта	Существующая практика	С предложенной методикой	Экономические последствия
		Формирование обоснованных требований к пассивной безопасности.	Повышение безопасности парка ТС снижает тяжесть последствий ДТП, а значит, и прямые затраты на лечение и реабилитацию пострадавших.

Выполним сводный расчет условного годового экономического эффекта для региона. Рассмотрим для примера Северо-Западный федеральный округ (СЗФО), по данным которого выполнено исследование.

Количество сложных ДТЭ по попутным столкновениям в год: ~100:

Средняя стоимость производства одной ДТЭ для бюджета/клиента: ~50 000 руб.

Экономия от снижения трудоемкости (15%):  $100 \text{ экспертиз} \cdot 50\,000 \text{ руб.} \cdot 0.15 = 750\,000 \text{ руб./год.}$

Экономия от предотвращения 20% повторных экспертиз:  $100 \text{ экспертиз} \cdot 0.2 \text{ (доля повторных)} \cdot 50\,000 \text{ руб.} = 1\,000\,000 \text{ руб./год}$

Экономия судебной системы (по 10 дней на 50 дел):  $50 \text{ дел} \cdot 10 \text{ дней} \cdot 20\,000 \text{ руб./день} = 10\,000\,000 \text{ руб./год}$

Эффект от профилактики (предотвращение 2-3 ДТП с тяжкими последствиями):  $2 \text{ ДТП} \cdot 3\,000\,000 \text{ руб./ДТП} = 6\,000\,000 \text{ руб./год}$

Итого ориентировочный совокупный годовой экономический эффект для региона (СЗФО) может достигать 17-18 млн. рублей.

Таким образом, следует отметить, что разработанная методика не только является научным достижением, но и обладает значительным экономическим потенциалом. Её внедрение приводит к снижению прямых затрат на производство ДТЭ, существенной экономии бюджетных средств в системе правосудия и, что наиболее важно, к предотвращению многомиллионных социально-экономических потерь от дорожно-транспортных происшествий.

#### 4.5 Выводы по Главе 4

По результат применения выявленных зависимостей и разработанной методики была выполнена оптимизация для 12 различных примеров (сценариев ДТП), варьируя массу транспортных средств, начальные скорости и углы сближения. В результате были получены ключевые показатели, включая энергию деформации, изменение скорости ( $\Delta V$ ) и время выполнения оптимизации:

1. Наибольшие значения энергии деформации (85,200–92,340 Дж) наблюдались в сценариях с высокой массой ТС (2000 кг и 1900 кг) и большой скоростью (25–30 м/с). Это объясняется тем, что при больших массах и скоростях сила удара возрастает, что приводит к более значительным деформациям. Наименьшая энергия (29,870–38,740 Дж) зафиксирована в случаях с малой массой (1000–1300 кг) и умеренными скоростями (5–15 м/с). Оптимизация позволила снизить энергию деформации в среднем на 33% по сравнению с неоптимизированными сценариями.

2. Зафиксирована зависимость между величиной снижения изменения скорости ( $\Delta V$ ) и эффективностью оптимизации. Оптимизация с использованием ГА успешно минимизировала изменение скорости после столкновения. Наибольшее снижение  $\Delta V$  (41.7–45.2%) достигнуто в примерах с большой разницей масс (2000 кг против 1000 кг) и высокими начальными скоростями. Это связано с тем, что генетический алгоритм эффективно подбирал такие углы столкновения и траектории, при которых импульс перераспределялся более равномерно. В случаях с близкими массами (1500 кг и 1500 кг) снижение  $\Delta V$  составило 36.5%, что также является значимым улучшением.

3. Время оптимизации варьировалось от 8.5 до 19.7 секунд в зависимости от сложности сценария. Наибольшие вычислительные затраты потребовались для примеров с большой массой и высокой скоростью (примеры 4 и 9), где алгоритму пришлось анализировать больше вариантов для поиска оптимального решения. Напротив, сценарии с малыми массами и низкими скоростями (примеры 10 и 12) оптимизировались быстрее всего — менее чем за 10 секунд.

4. Анализ показал, что угол сближения существенно влияет на итоговые параметры ДТП. Наименьшая энергия деформации наблюдалась при углах 30–60° и 135–180°, что связано с более "скользящим" характером удара.

5. Также выполнено сравнение предложенных решений с действующими методами и оценка экономических эффектов для производства ДТЭ применительно к экспертной организации и к макроэкономическим эффектам. В рамках сравнительного анализа с действующими методами по 15 примерам ДТЭ показано, что действующий метод (ЗСКД без учета деформаций) дает заниженное значение скорости по сравнению с предложенной методикой. При этом определены влияние величины погрешности, влияние кластера и влияние угла и площади КСВ на практические выводы для ДТЭ: устранение ошибочных выводов о технической возможности (действующий метод может привести к выводу об отсутствии превышения, тогда как предложенный метод категорично указывает на превышение, что коренным образом меняет правовую оценку деяния) и некорректная оценка причинной связи (предложенная методика, устанавливая истинную скорость, позволяет использовать зависимости изменения индексов травмирования для категоричного определения насколько превышение скорости повлияло на тяжесть травм).

6. В части оценки экономических эффектов: итоговый прямой экономический эффект для экспертной организации: снижение себестоимости производства одной ДТЭ на 15-25% за счет сокращения трудозатрат и сроков, а также увеличение доходности за счет возможности гарантированно решать сложные задачи. При этом на макроуровне ориентировочный совокупный годовой экономический эффект для региона (СЗФО) может достигать 17-18 млн. рублей.

Таким образом, следует отметить, что разработанная методика не только является научным достижением, но и обладает значительным экономическим потенциалом. Её внедрение приводит к снижению прямых затрат на производство ДТЭ, существенной экономии бюджетных средств в системе правосудия и, что наиболее важно, к предотвращению многомиллионных социально-экономических потерь от дорожно-транспортных происшествий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненных исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие и совершенствование методов ДТЭ:

1. Выполненный анализ качества и полноты исследований, выполненных в рамках ДТЭ по задним попутным столкновениям ТС, показал существенный взнос ошибки определения коэффициентов жесткости при реконструкции задних попутных ударов в полноту, категоричность и точность ДТЭ;

2. Впервые установлены зависимости изменения осевых замедлений на центре масс ТС и изменения индексов травмирования манекенов водителя и пассажира, по результатам комплексного анализа натурных краш-тестов задних попутных объемно-проникающих контактно-следовых взаимодействий ТС показали коэффициент детерминации не ниже 0,93;

3. Уточнение методики расчета затрат скорости на объемные деформации по трехсторонней унифицированной жесткости, за счет выявленных зависимостей изменения коэффициентов жесткости от величины перекрытия (площади контактной зоны) и угла столкновения, позволило получать более точные значения скорости перемещения ТС перед началом КСВ (до 27% по сравнению с действующей методики);

4. Применение определенных зависимости изменения величин работы сил на деформации, энергии деформации и скорости движения ТС до столкновения с учетом условий наступления столкновения в практике производства ДТЭ позволило: уточнить расчетные значения скорости движения ТС до ДТП, определять фактически индексы травмирования при анализе причинно-следственных связей между действиями водителя по выбору скорости движения, с наступившими последствиями ДТП;

5. Предложена методика расчета скорости движения ТС при производстве ДТЭ попутных задних контактов и оценена эффективность ее внедрения на базе полученных зависимостей в процедуры модельно-ориентированной

реконструкции механизма ДТП, с разработкой решения по оптимизации траекторий перемещений объектов исследования в ДТЭ на основе генетического алгоритма. Разработано решение по оптимизации траекторий перемещений объектов исследования в ДТЭ на основе генетического алгоритма, использование которого в экспертной практике позволяет увеличить категоричность выводов ДТЭ при реконструкции ДТП на 23% (за счет существенного снижения площади области вариации поперечных и продольных смещений), ее совместное использование с оптимизацией по точке КСВ позволяет увеличить категоричность до 63%.

## **СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

а/м – автомобиль

БУРС – бортовое устройство регистрации событий

ВАДС – система Водитель – Автомобиль – Дорога – Среда

ДТП – дорожно-транспортное происшествие

ДТС – дорожно-транспортная ситуация

ДТЭ – дорожно-транспортная экспертиза

ГА – генетический алгоритм

КСВ – контактно-следовое взаимодействие

МОР – модельно-ориентированная реконструкция

ОИ – объект (-ы) исследования

ПСИ – пространственно-следовая информация

СЗФО – Северо-Западный Федеральный Округ

AIS – Abbreviated Injury Scale

ASI – Acceleration Severity Index

CDS – Crashworthiness Data System

EDR – Event Data Recorder

HIC – Head injury criterion

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. Боровский, Б. Е. Безопасность движения автомобильного транспорта / Б. Е. Боровский. – Ленинград : Лениздат, 1984. – 304 с.
2. Домке, Э. Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий / Э. Р. Домке. – Москва : Издательский центр «Академия», 2009. – 288 с.
3. Евтюков, С. А. Реконструкция и экспертиза ДТП в примерах / С. А. Евтюков, Я. В. Васильев. – Санкт-Петербург : Издательский дом Петрополис, 2012. – 321 с.
4. Евтюков, С. А. Справочник по экспертизе дорожно-транспортных происшествий / С. А. Евтюков, Я. В. Васильев. – Санкт-Петербург : ИД Петрополис, 2020. – 516 с.
5. Евтюков, С. А. Судебная автотехническая экспертиза. Теория и практика. Том 1 / С. А. Евтюков, Я. В. Васильев. – Санкт-Петербург : Издательский дом Петрополис, 2018. – 520 с.
6. Евтюков, С. А. Судебная автотехническая экспертиза. Примеры исследований. Справочные данные. Том 2 / С. А. Евтюков, Я. В. Васильев. – Санкт-Петербург : Издательский дом Петрополис, 2018. – 284 с.
7. Иларионов, В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий : учебник для вузов / В. А. Иларионов. – Москва : Транспорт, 1989. – 255 с.
8. Лукошявичене, О. В. Моделирование дорожно-транспортных происшествий / О. В. Лукошявичене. – Москва : Транспорт, 1988. – 96 с.
9. Правила дорожного движения РФ. – Москва : Третий Рим, 2025.
10. Пучкин, В. А. Основы экспертного анализа ДТП: База данных. Экспертная техника. Методы решения / В. А. Пучкин. – Ростов-на-Дону : ИПО ПИ ЮФУ, 2012. – 400 с.
11. Суворов, Ю. Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза : учебное пособие / Ю. Б. Суворов. – Москва : Изд. «Экзамен», «Право и закон», 2003. – 124 с.

12. Тартаковский, Д. Ф. Проблемы неопределенности данных при экспертизе дорожно-транспортных происшествий / Д. Ф. Тартаковский. – Санкт-Петербург : Издательство Р. Асанова «Юридический центр Пресс», 2006. – 268 с.
13. Актуальные проблемы исследования обстоятельств дорожно-транспортных происшествий : материалы первой международной конференции / Северо-Западный региональный центр судебной экспертизы. – Санкт-Петербург, 2001. – 399 с.
14. Алексеев, В. Ф. Решение отдельных типовых задач судебной автотехнической экспертизы / В. Ф. Алексеев // ВНИИСЭ МЮ СССР. – Москва, 1988. – 37 с.
15. Афанасьев, А. С. Безопасность дорожного движения: современные технические средства контроля ТС / А. С. Афанасьев, Р. Н. Сафиуллин. – СПб : Свое издательство, 2020. – 162 с. – ISBN 978-5 4385-1894-2.
16. Астанин В.В., Никонов В.Н., Сиренко А.А. Влияние реологических характеристик матрицы на формирование боралюминиевого композита. // Механика композиционных материалов. – 1988. – №5. – С. 878...883
17. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов / В.Ф. Бабков. - М.: Транспорт, 1993. – 271 с.
18. Балакин В.Д. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебное пособие / В.Д. Балакин. – Омск: Издательство СибАДИ, 2005. – 136 с.
19. Басков, В. Н. Особенности экспертизы ДТП при наезде на пешехода / В. Н. Басков, Я.И. Литовченко // Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок и безопасности движения: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Саратов, 25 апреля 2018 года. – Саратов: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2018. – 87-91 с.
20. Безопасность на автомобильном транспорте / Р. Р. Сафиуллин, Е. П. Доронина, Н. М. Моргунов [и др.]. – Москва-Берлин : ООО «Директ-Медиа», 2021. – 388 с. – ISBN 978-5-4499-2656-2. – DOI 10.23681/619033.



21. Брылев, И. С. Моделирование траекторий сброса водителя и пассажира двухколесного механического транспортного средства для задач реконструкции механизма ДТП / И. С. Брылев, С. А. Евтюков // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-5(82). – С. 74–79. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-5(82)-74-79.
22. Васильев, Я. В. Анализ вторичного травмирования пешеходов в задачах дорожно-транспортной экспертизы / Я. В. Васильев // Грузовик. – 2023. – № 1. – С. 36–42. – DOI 10.36652/1684-1298-2023-1-36-42.
23. Васильев, Я. В. Методика расчета работы сил на непрерывное изменение угла разворота продольной оси ТС при производстве дорожно-транспортной экспертизы / Я. В. Васильев, В. В. Воронин // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 3 (86). – С. 134–138. – DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-3-134-138.
24. Васильев, Я. В. Методика расчета риска получения травм при реконструкции дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов / Я. В. Васильев // Вестник гражданских инженеров. – 2023. – № 2 (97). – С. 103–109. – DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-2-103-109.
25. Васильев, Я. В. Методические основы применения индексов травмирования в дорожно-транспортной экспертизе / Я. В. Васильев, Д. С. Михалёва, М. Д. Алексеев, И. А. Агапов, А. А. Коломеец // Грузовик. – 2024. – № 10. – С. 39–43. – DOI 10.36652/1684-1298-2024-10-39-43.
26. Васильев, Я. В. Методика формирования границ уровней пассивной безопасности в задачах экспертной профилактики ДТП / Я. В. Васильев, М. Д. Алексеев, А. Н. Новиков, Д. С. Михалёва // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 1-3(84). – С. 49–57. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-3(84)-49-57.
27. Васильев, Я. В. Оценка риска травмирования пешеходов и велосипедистов на основе логистической регрессии в задачах дорожно-транспортной экспертизы / Я. В. Васильев, И. С. Брылев // Грузовик. – 2022. – № 12. – С. 34–40. – DOI 10.36652/1684-1298-2022-12-34-40.

28. Васильев, Я. В. Сравнительный анализ эффективности средств фиксации пространственно-следовой информации с места ДТП на примере наездов на дорожные ограждения и элементы дорожного обустройства / Я. В. Васильев, М. Д. Алексеев, А. Н. Новиков, Д. С. Михалёва // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 1-2(84). – С. 81–90. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-2(84)-81-90.
29. Вахламов В.К. Подвижной состав автомобильного транспорта / В.К. Вахламов. – М.: Изд. центр «Академия», 2003. – 480 с.
30. Евтюков, С. С. Методология оценки и повышения эффективности дорожно-транспортных экспертиз : диссертация ... доктора технических наук : 05.22.10 / Евтюков Сергей Сергеевич. – Санкт-Петербург, 2020. – 355 с.
31. 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.
32. Евтюков, С. А. Концепция количественной оценки неопределенности знаний в задачах реконструкции ДТП / С. А. Евтюков, Я. В. Васильев, Раджчик Павел // Сборник докладов 12-ой международной научно-практической конференция «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». Санкт-Петербург, 28-30 сентября 2016 г.
33. Ермолович, М.В. Экспертиза по делам о ДТП / Под ред. Басецкого И.И. - Из-во «Амалфея», 2001. – 96 с.
34. Зенкевич, О. С. Метод конечных элементов в технике / О.С. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
35. Зотов, Б.Л. Расследование и предупреждение автотранспортных происшествий / Б.Л. Зотов. – М.: Юрид. лит., 1972. – 192с.
36. Иларионов, В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. Учебник для вузов / В.А. Иларионов. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
37. Калявин, В.П. Транспорт: толковый словарь. / В.П. Калявин. - СПб.: Элмор, 2003. – 488 с.

38. Капский, Д.В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении / Д.В. Капский. – Мн.: БНТУ, 2008. – 243 с.
39. Кристи, Н.М. Методические рекомендации по производству автотехнической экспертизы / Н.М. Кристи. - М.: ЦНИИСЭ, 1971. – 112 с.
40. Кристи, Н.М. Решение отдельных типовых задач судебной автотехнической экспертизы: справочное пособие для экспертов-автотехников / Н.М. Кристи. - М.:ВНИИСЭ, 1988. – 72 с.
41. Куракина, Е. В. Методология обеспечения безопасности дорожного движения по критерию «нулевой смертности» в дорожно-транспортных происшествиях : диссертация ... доктора технических наук : 2.9.5 / Куракина Екатерина Валерьевна. – Санкт-Петербург, 2022. – 424 с.
42. Мавлютов, Р.Р. Концентрация напряжений в элементах конструкций / Р.Р. Мавлютов. – М.: Наука, 1996. – 240 с.
43. Мардимасова, Т.Н., Никонов В.Н. Моделирование процесса формирования качества деталей при больших пластических деформациях / Т.Н. Мардимасова, В.Н. Никонов. – Уфа: Гилем, 1997. – 38 с.
44. Михалёва, Д. С. Основные пути решения проблемы безопасности дорожного движения / Д. С. Михалёва, И. С. Брылев // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 1(76). – С. 69–77. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-76-1-69-77.
45. Мяченков, В.И., Мальцев В.П., Майборода В.П. и др. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: Справочник / В.И. Мяченков, В.П.Мальцев, В.П.Майборода. - Москва, 1989. — 520 с.
46. Никонов, В.Н. Уравнения состояния среды с металлографической структурой и алгоритмы расчета больших пластических деформаций элементов конструкций / В.Н.Никонов.: Уфа, УГАТУ, 1998. – 152с.
47. Новиков, А. Н. Модульный принцип обучения водительских кадров по оформлению «Европротокола» / А. Н. Новиков, Д. С. Михалёва // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3-1(78). – С. 96–108. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(78)-3-96-108.

48. ОДМ 218.6.015-2015 «Рекомендации по учету и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации»

49. Определение по видеозаписям, фиксирующим событие дорожно-транспортного происшествия, положения и параметров движения его участников : методические рекомендации для экспертов / С. М. Петров, А. Г. Бояров, О. О. Власов [и др.]. – Москва : Российский Федеральный центр судебной экспертизы при Министерстве юстиции Российской Федерации, 2016. – 88 с. – ISBN 978-5 91133-156-6.

50. Петров, С. М. Исследование материалов видеозаписи с целью установления обстоятельств дорожно-транспортного происшествия / С. М. Петров // Теория и практика судебной экспертизы, 2013. – 20 с.

51. Постановление правительства Российской Федерации о Федеральной Целевой программе «Повышение безопасности дорожного движения в 2006 - 2012 годах» от 20.02.2006 №100.

52. Постановление Правительства РФ «О федеральной целевой программе "Повышение безопасности дорожного движения в 2013 - 2020 годах» от 3 октября 2013 г. N 864.

53. Приказ ФДС РФ от 23.07.1998 N 168 – Правила учета и анализа дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации.

54. Распоряжение Правительства РФ от 8 января 2018 года №1-р «Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018–2024 гг.».».

55. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025692976, Российская Федерация. Расчетный модуль учета затрат энергии на объемные деформации при попутных задних ударах «РасЭн»: дата гос.регистрации: 25.11.2025 / Д.С. Михалёва.

56. Смирнова, С.А. Эксперт в правоприменительном процессе – С.А. Смирнова. – СПб.: Питер, 2001. – 256 с.

57. Степина, П.А. Разработка методики совершенствования автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий: Дисс. канд. техн. наук.- СПб, 2010.- 168 с.

58. Степина, П. А. Реакция водителя ТС на изменение внешней среды в состоянии алкогольного опьянения / П. А. Степина, Н. В. Подопригора // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 5(70). – С. 196-200. – DOI 10.23968/1999-5571 2018-15-5-195-200.

59. Судебная автотехническая экспертиза: пособие для экспертов-автотехников, следователей и судей. Ч. 2 / под ред. В. А. Иларионова. – Москва : ВНИИСЭ, 1980. – 491 с.

60. Транспортно-трасологическая экспертиза по делам о дорожно-транспортных происшествиях. Диагностические исследования : методическое пособие для экспертов, следователей и судей. Вып. 2 / Н. М. Кристи (глава 1, глава 2 – в соавторстве), В. С. Тишин (глава 2 – в соавторстве) ; отв. ред. Ю. Г. Корухов. – Москва : ВНИИСЭ, 1988. – 129 с.

61. Указ Президента РФ от 14.11.2025 N 841 "Об утверждении Стратегии повышения безопасности дорожного движения в Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года".

62. Воронин, В. В. Методика модельно-ориентированной реконструкции опрокидывания ТС при производстве дорожно-транспортной экспертизы : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.10 / Воронин Виталий Витальевич. – Санкт-Петербург, 2022. – 173 с.

63. Brach, R. M. Vehicle accident analysis and reconstruction methods / R. M. Brach. – Warrendale, Pennsylvania : SAE International Publisher, 2005.

64. Digges, K. H. Injury Measurements and Criteria / K. H. Digges // N.A.T.O. Research & Technology Organisation, RTO MP-20. – 1998. – P. K2-1 – K2-5.

65. Henn, H. W. Crash Tests and the Head Injury Criterion / H. W. Henn // Teaching Mathematics And Its Applications, 1998. – Vol. 17, No. 4.

66. Shi, L. Evaluation of injury thresholds for predicting severe head injuries in vulnerable road users resulting from ground impact via detailed accident reconstructions

/ L. Shi, Y. Han, H. Huang, J. Davidsson, R. Thomson // Biomechanics and Modeling in Mechanobiology. – 2020. – Vol. 19. – DOI 10.1007/s10237-020-01312-9.

67. Stigson, H. Use of Fatal Real-Life Crashes to Analyze a Safe Road Transport System Model, Including the Road User, the Vehicle, and the Road / H. Stigson, M. Krafft, C. Tingvall // Traffic Injury Prevention, 2008. – Vol. 9. – P. 463–471. – DOI 10.1080/15389580802335240.

68. THUMS Overview and Application / H. Miyazaki // IWG DPPS 7th Meeting. – September 2020.

69. Design, Simulation and Virtual Testing, Madymo Theory Manual. VERSION 7.7 / TASS International Software BV.

70. ГОСТ 32949-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Опоры стационарного электрического освещения. Методы контроля. – Введ. 2016-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2015.

71. ГОСТ 33464-2015. Глобальная навигационная спутниковая система. Система экстренного реагирования при авариях. Устройство/система вызова экстренных оперативных служб. Общие технические требования (с Поправкой). – Введ. 2016-09-01. – Москва : Стандартинформ, 2016.

72. О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации : федеральный закон от 31 мая 2001 г. № 73-ФЗ (с изм. от 26 июля 2019 г.).

73. Об утверждении Административного регламента исполнения Министерством внутренних дел РФ государственной функции по осуществлению федерального государственного надзора за соблюдением участниками дорожного движения требований законодательства Российской Федерации в области безопасности дорожного движения : приказ МВД России от 23.08.2017 № 664 (ред. от 21.12.2017) : зарег. в Минюсте России 06.10.2017 № 48459.

74. Об утверждении Инструкции по организации работы по оформлению и рассмотрению материалов о ДТП с пострадавшими, выполнению неотложных следственных действий и оперативно-розыскных мероприятий : приказ ГУ МВД России по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области № 928.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

**Приложение А**  
**(примеры обработки данных из натурных краш-тестов по Главе 3)**



Тест №2397

Таблица 1 - Ударяющее ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Тележка	-	1333	80.10	-

Таблица 2 - Принимающее удар ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
FORD MUSTANG	1993	1554	-	Взрослый человек

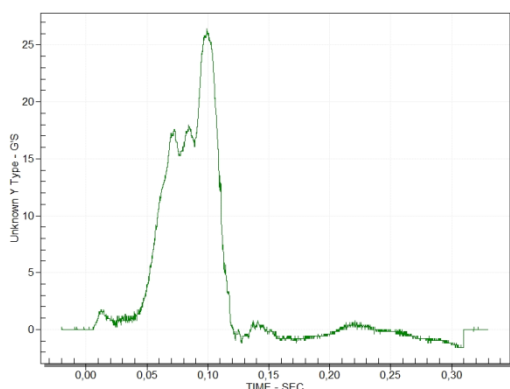


Рис.А.1 – график замедлений/ускорений по оси x ударяющее ТС

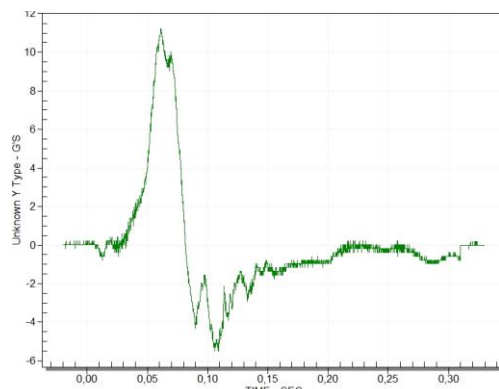


Рис.А.2 – график замедлений/ускорений по оси y ударяющее ТС

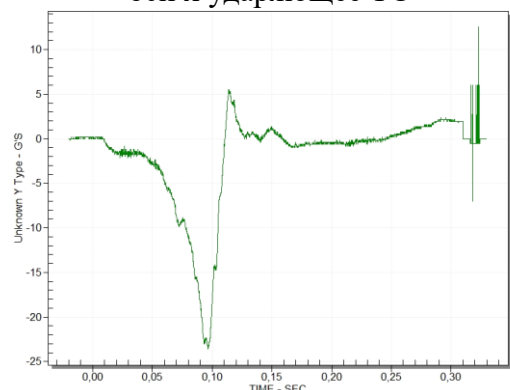


Рис.А.3 – график замедлений/ускорений по оси z ударяющее ТС

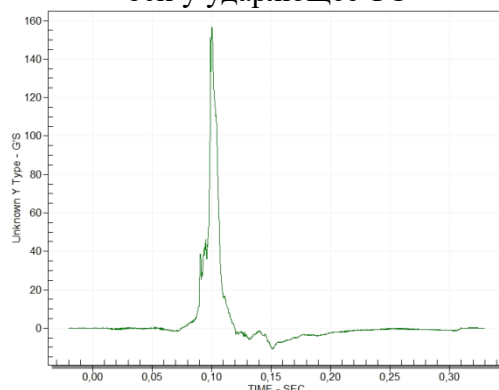


Рис.А.4 – график замедлений/ускорений по оси x принимающее ТС

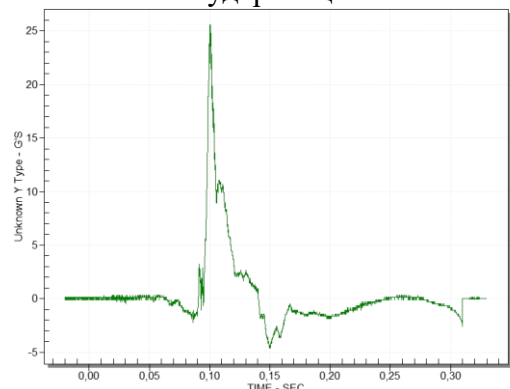


Рис.А.5 – график замедлений/ускорений по оси y принимающее ТС

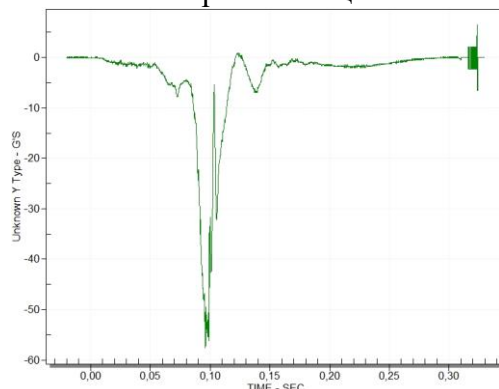


Рис.А.6 – график замедлений/ускорений по оси z принимающее ТС

Приложение А.1 (продолжение)

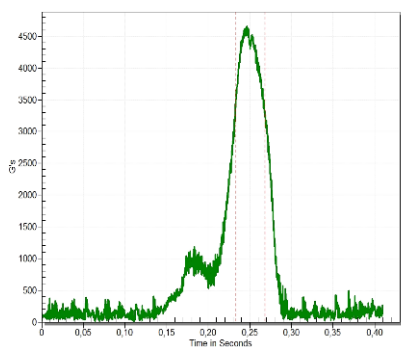


Рис.А.7 – график изменения НИС для ударяющего ТС

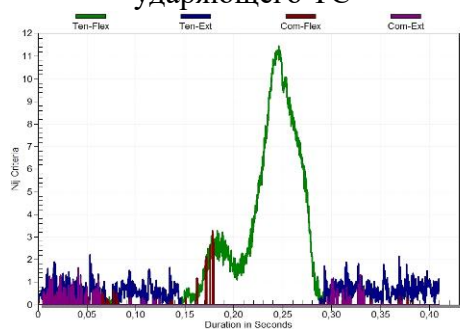


Рис.А.9 – график изменения  $N_{ij}$  для ударяющего ТС

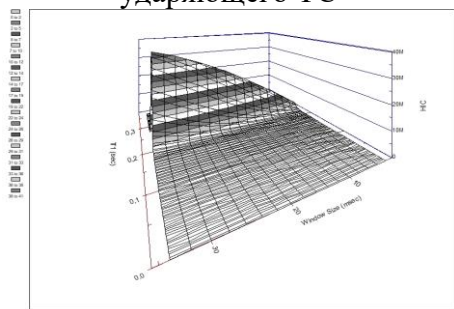


Рис.А.11 – Поверхность отклика НИС для ударяющего ТС, в зависимости от интервала расчета



Рис.А.13 - начало контакта

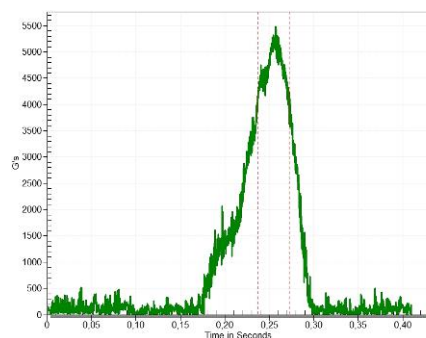


Рис.А.8 – график изменения НИС для принимающего ТС

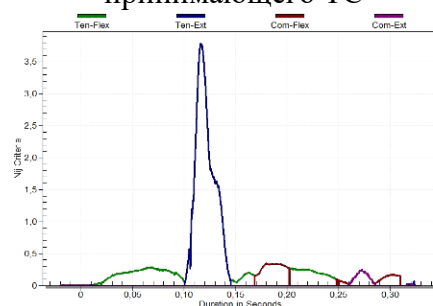


Рис.А.10 – график изменения  $N_{ij}$  для принимающего ТС

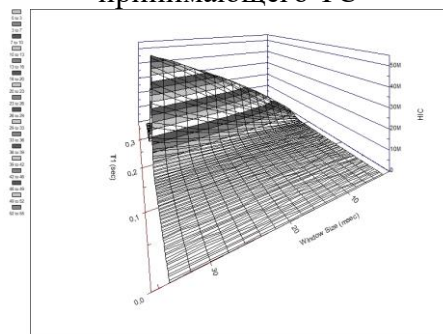


Рис.А.12 – Поверхность отклика НИС для принимающего ТС, в зависимости от интервала расчета



Рис.А.14 - начало совместного перемещения

## Тест №2408

Таблица 1 - Ударяющее ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Тележка	-	1344	80.30	-

Таблица 2 - Принимающее удар ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
FORD MUSTANG	1996	1628	-	Взрослый человек

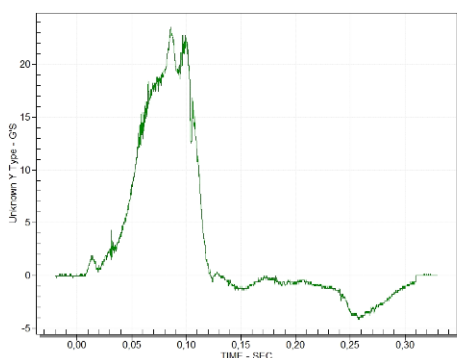


Рис.А.1 – график замедлений/ускорений по оси x ударяющее ТС

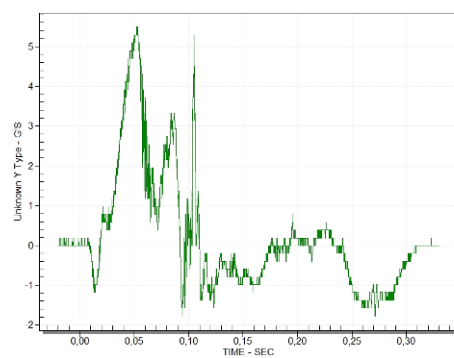


Рис.А.2 – график замедлений/ускорений по оси y ударяющее ТС

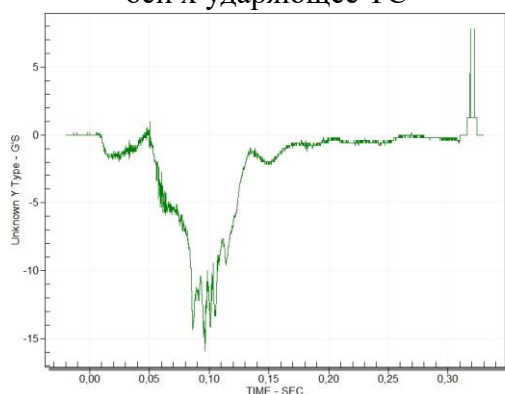


Рис.А.3 – график замедлений/ускорений по оси z ударяющее ТС

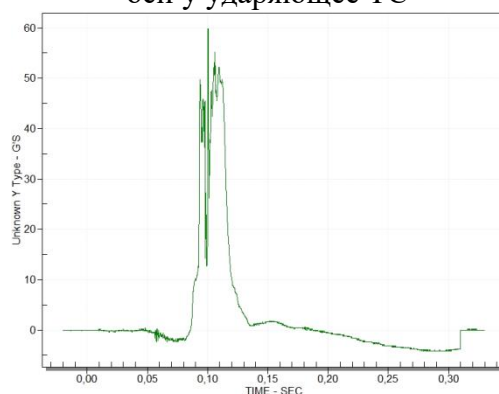


Рис.А.4 – график замедлений/ускорений по оси x принимающее ТС

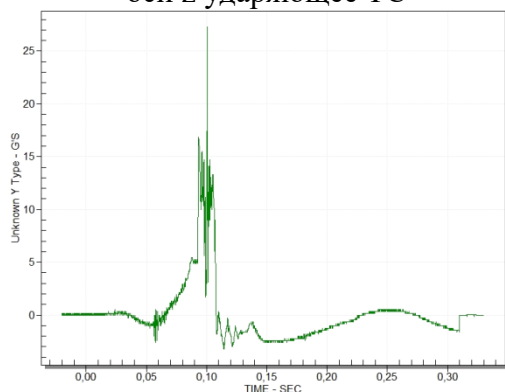


Рис.А.5 – график замедлений/ускорений по оси y принимающее ТС

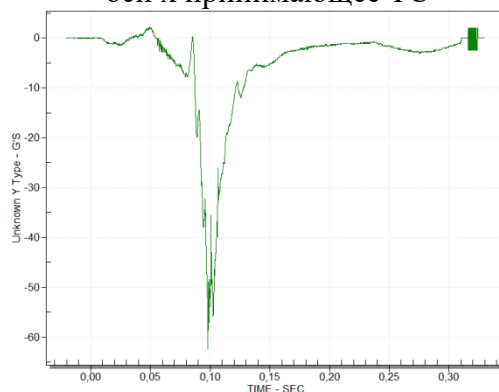


Рис.А.6 – график замедлений/ускорений по оси z принимающее ТС

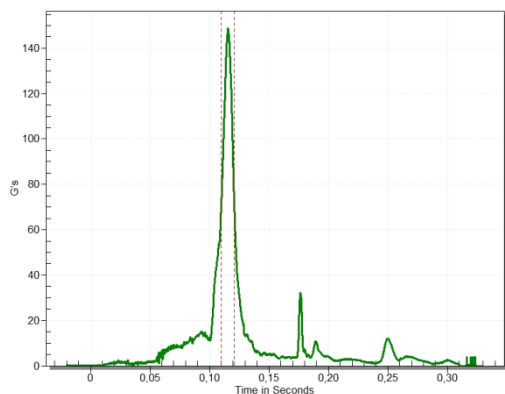


Рис.А.7 – график изменения НИС для ударяющего ТС

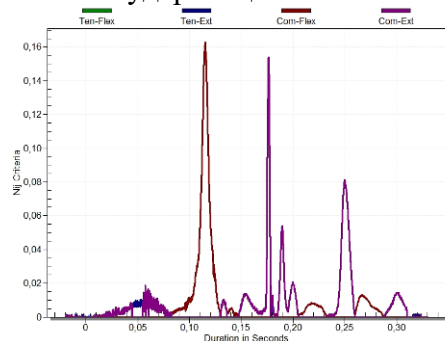


Рис.А.9 – график изменения  $N_{ij}$  для ударяющего ТС

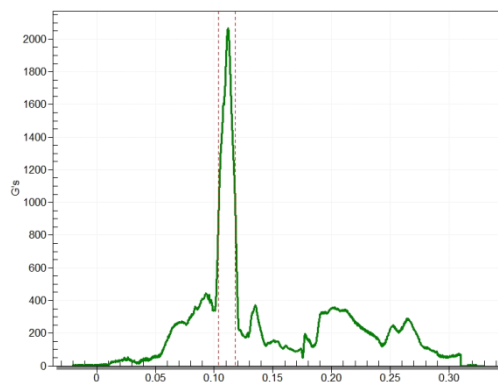


Рис.А.8 – график изменения НИС для принимающего ТС

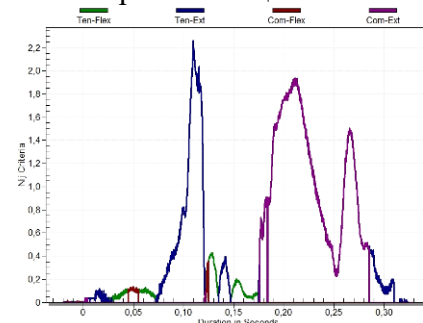


Рис.А.10 – график изменения  $N_{ij}$  для принимающего ТС

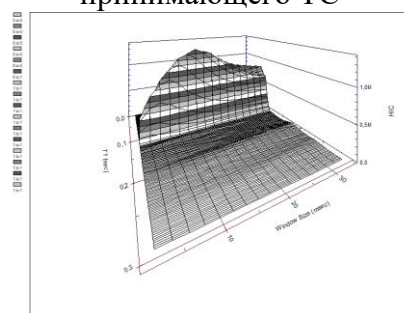


Рис.А.11 – Поверхность отклика НИС для принимающего ТС, в зависимости от интервала расчета



Рис.А.12 - начало контакта

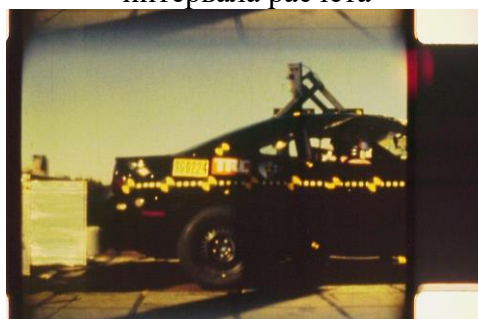


Рис.А.13 - начало совместного перемещения

Тест №2432

Таблица 1 - Ударяющее ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Тележка		1342	81.60	-

Таблица 2 - Принимающее удар ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Suzukisidekick	1996	1370	-	Взрослый человек

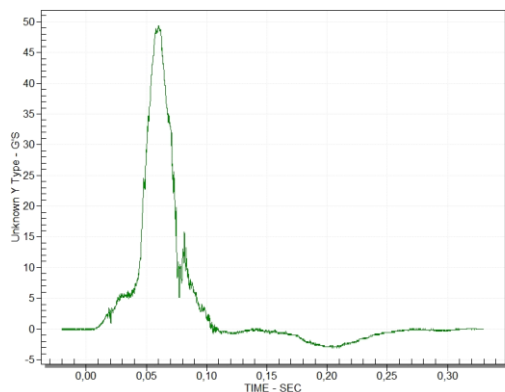


Рис.А.1 – график замедлений/ускорений по оси x ударяющее ТС

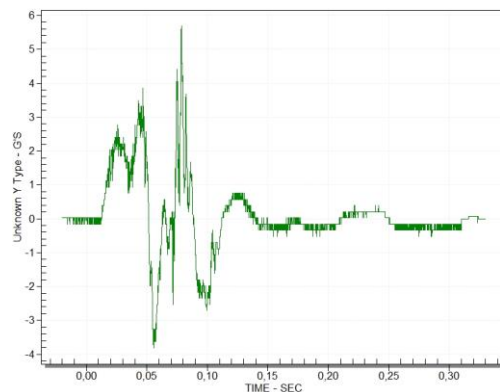


Рис.А.2 – график замедлений/ускорений по оси y ударяющее ТС

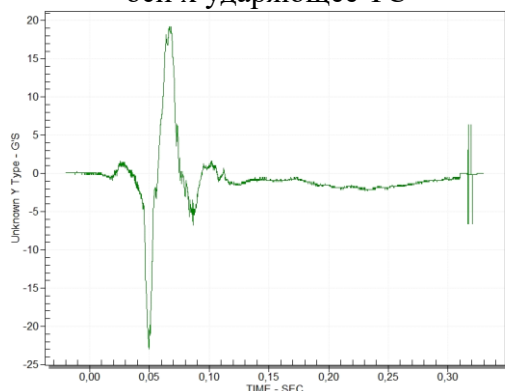


Рис.А.3 – график замедлений/ускорений по оси z ударяющее ТС

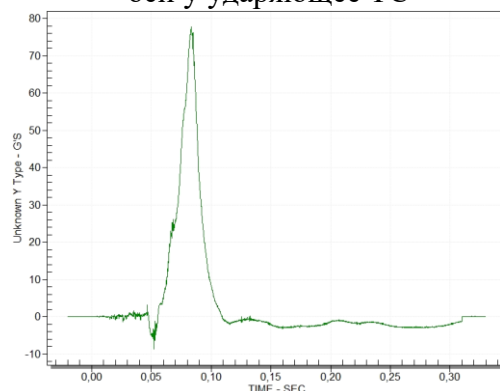


Рис.А.4 – график замедлений/ускорений по оси x принимающее ТС

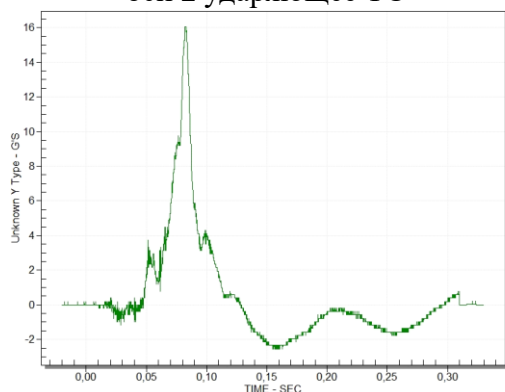


Рис.А.5 – график замедлений/ускорений по оси y принимающее ТС

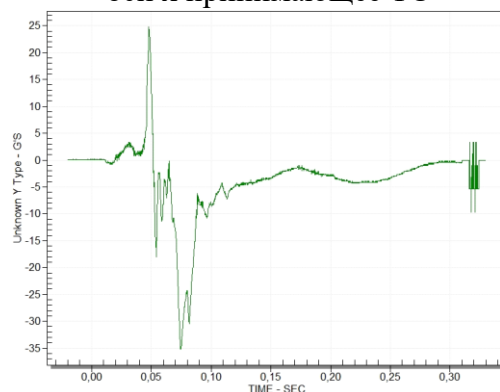


Рис.А.6 – график замедлений/ускорений по оси z принимающее ТС

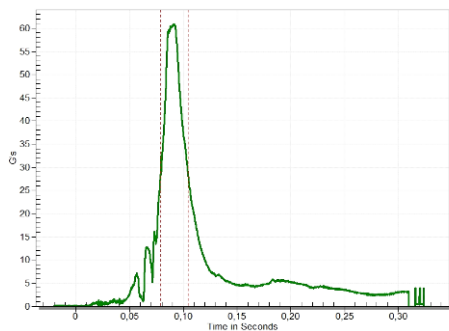


Рис.А.7 – график изменения НИС для ударяющего ТС

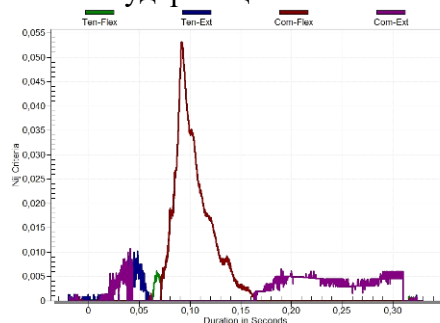


Рис.А.9 – график изменения  $N_{ij}$  для ударяющего ТС

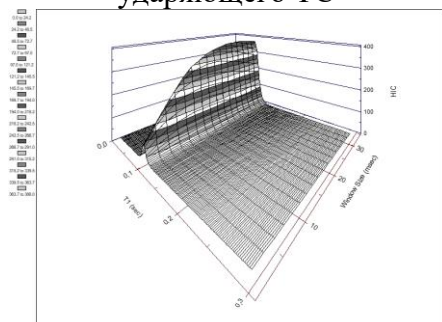


Рис.А.11 – Поверхность отклика НИС для ударяющего ТС, в зависимости от интервала расчета

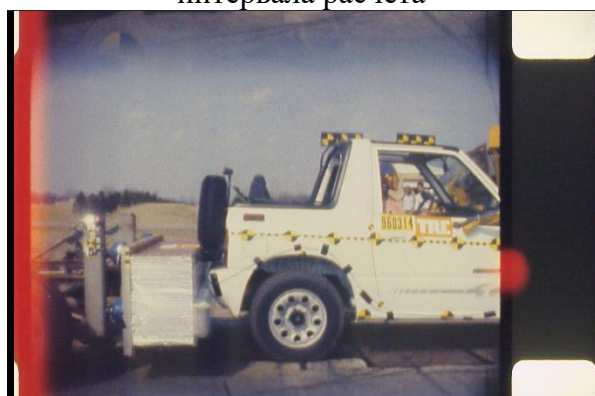


Рис.А.13 - начало контакта

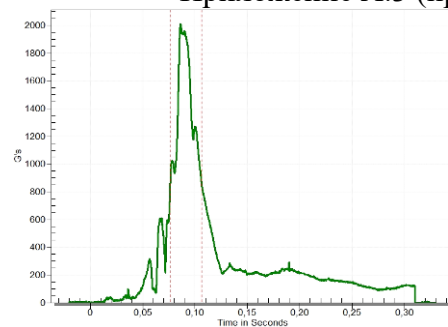


Рис.А.8 – график изменения НИС для принимающего ТС

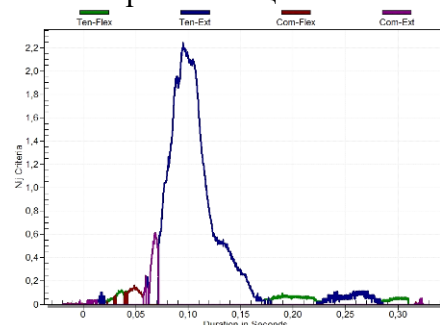


Рис.А.10 – график изменения  $N_{ij}$  для принимающего ТС

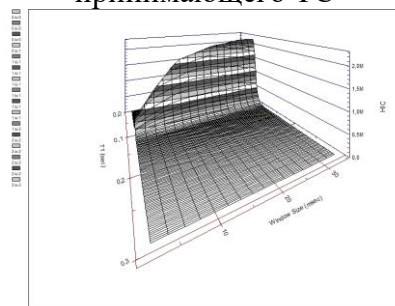


Рис.А.12 – Поверхность отклика НИС для принимающего ТС, в зависимости от интервала расчета

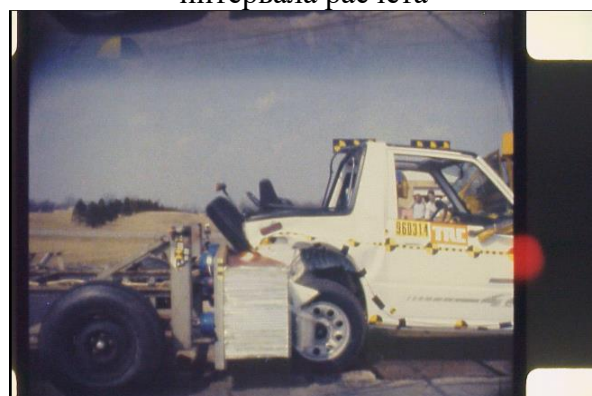


Рис.А.14 - начало совместного перемещения



## Тест №2438

Таблица 1 - Ударяющее ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Телега	-	-	80	-

Таблица 2 - Принимающее удар ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Chevrolet	1996	-	-	Взрослый человек

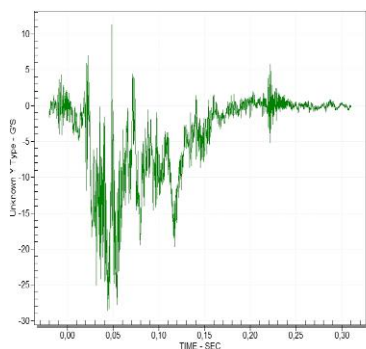


Рис.А.1 – график замедлений/ускорений по оси x ударяющее ТС

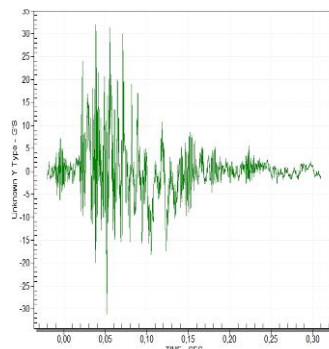


Рис.А.2 – график замедлений/ускорений по оси y ударяющее ТС

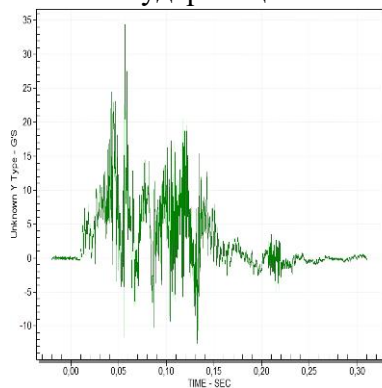


Рис.А.3 – график замедлений/ускорений по оси z ударяющее ТС

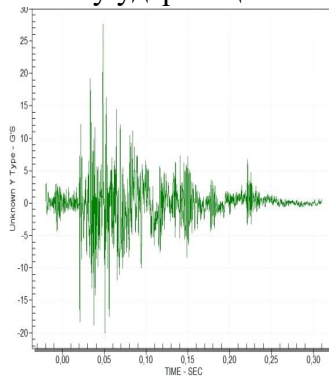


Рис.А.4 – график замедлений/ускорений по оси x принимающее ТС

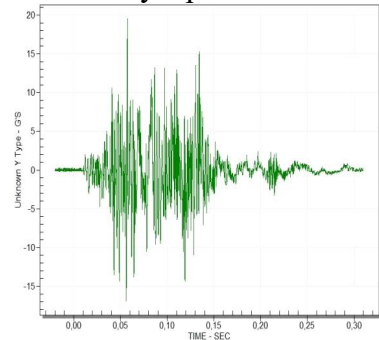


Рис.А.5 – график замедлений/ускорений по оси y принимающее ТС

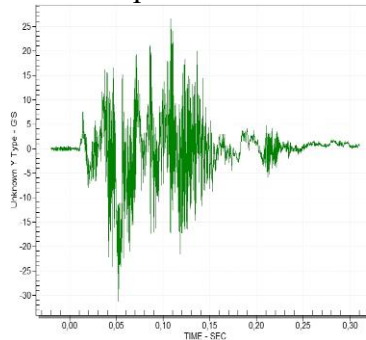


Рис.А.6 – график замедлений/ускорений по оси z принимающее ТС

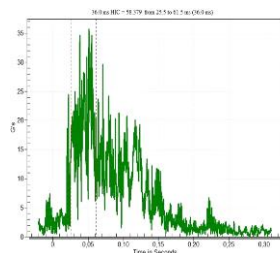


Рис.А.7 – график изменения НИС для ударяющего ТС

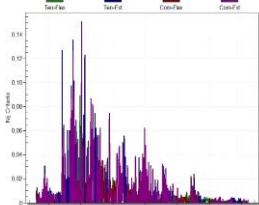


Рис.А.9 – график изменения  $N_{ij}$  для ударяющего ТС

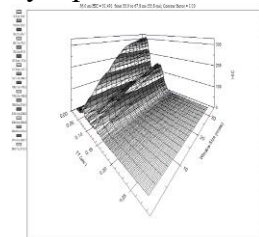


Рис.А.11 – Поверхность отклика НИС для ударяющего ТС, в зависимости от интервала расчета



Рис.А.13 - начало контакта

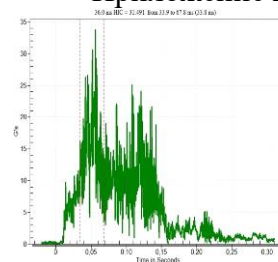


Рис.А.8 – график изменения НИС для принимающего ТС

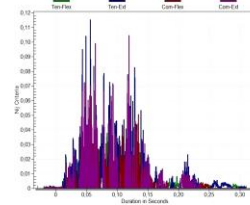


Рис.А.10 – график изменения  $N_{ij}$  для принимающего ТС

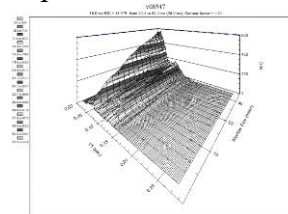


Рис.А.12 – Поверхность отклика НИС для принимающего ТС, в зависимости от интервала расчета



Рис.А.14 - начало совместного перемещения



Тест №2439

Таблица 1 - Ударяющее ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
тележка	-	15.37	82	-

Таблица 2 - Принимающее удар ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Dodge	1996	13.60	-	Взрослый человек

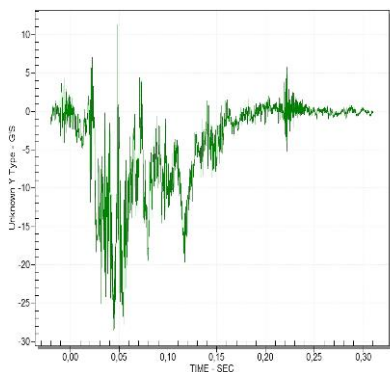


Рис.А.1 – график замедлений/ускорений по оси x ударяющее ТС

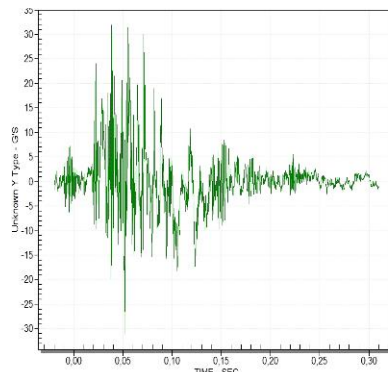


Рис.А.2 – график замедлений/ускорений по оси y ударяющее ТС

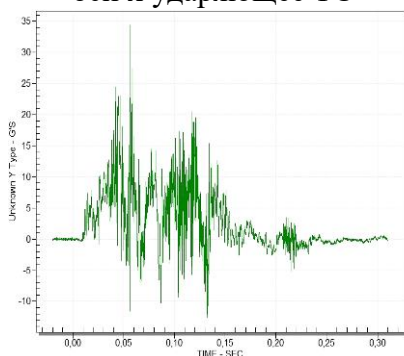


Рис.А.3 – график замедлений/ускорений по оси z ударяющее ТС

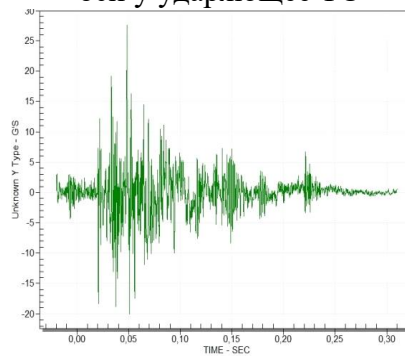


Рис.А.4 – график замедлений/ускорений по оси x принимающее ТС

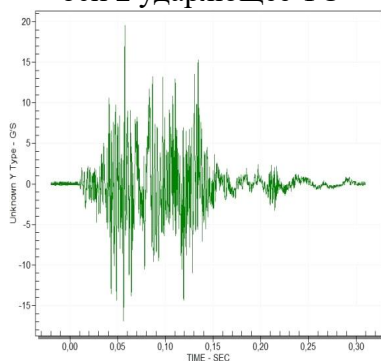


Рис.А.5 – график замедлений/ускорений по оси y принимающее ТС

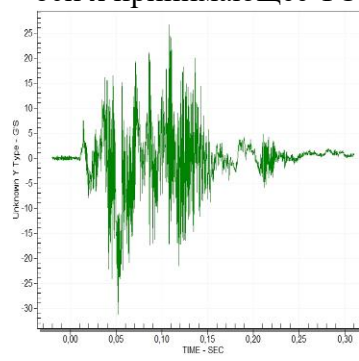


Рис.А.6 – график замедлений/ускорений по оси z принимающее ТС

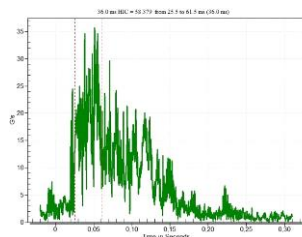


Рис.А.7 – график изменения НИС для ударяющего ТС

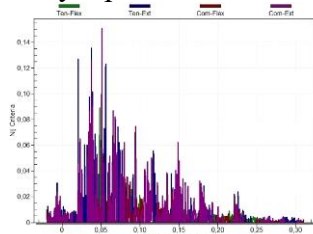


Рис.А.9 – график изменения  $N_{ij}$  для ударяющего ТС

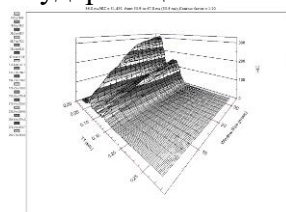


Рис.А.11 – Поверхность отклика НИС для ударяющего ТС, в зависимости от интервала расчета



Рис.А.13 - начало контакта

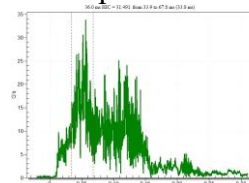


Рис.А.8 – график изменения НИС для принимающего ТС

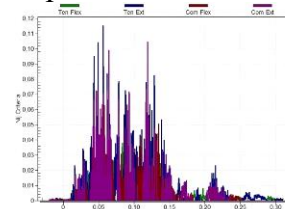


Рис.А.10 – график изменения  $N_{ij}$  для принимающего ТС

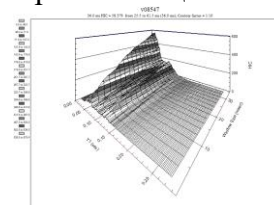


Рис.А.12 – Поверхность отклика НИС для принимающего ТС, в зависимости от интервала расчета



Рис.А.14 - начало совместного перемещения

## Тест №2440

Таблица 1 - Ударяющее ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Телега	-	-	80	-

Таблица 2 - Принимающее удар ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
GEO	1996	-	-	Взрослый человек

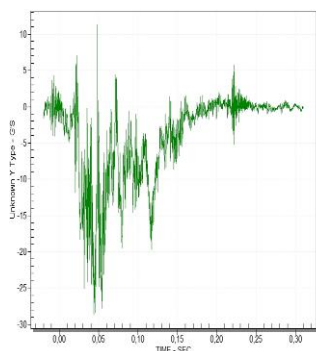


Рис.А.1 – график замедлений/ускорений по оси x ударяющее ТС

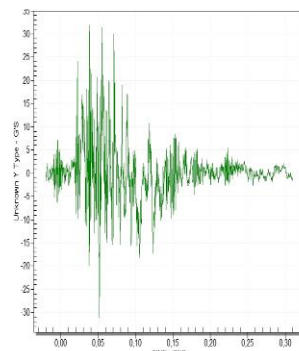


Рис.А.2 – график замедлений/ускорений по оси y ударяющее ТС

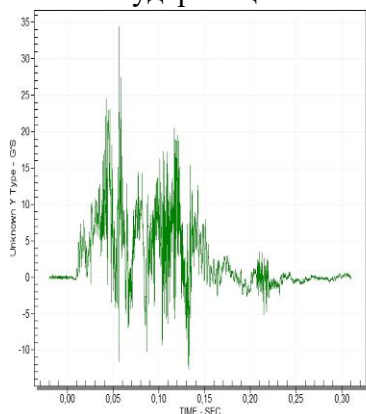


Рис.А.3 – график замедлений/ускорений по оси z ударяющее ТС

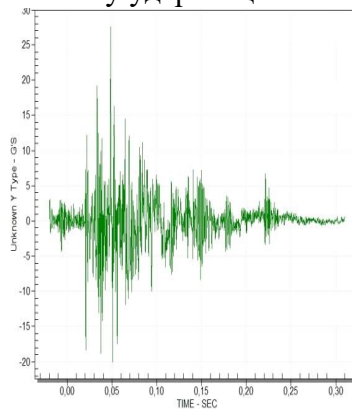


Рис.А.4 – график замедлений/ускорений по оси x принимающее ТС

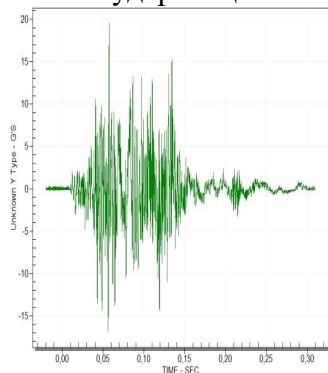


Рис.А.5 – график замедлений/ускорений по оси y принимающее ТС

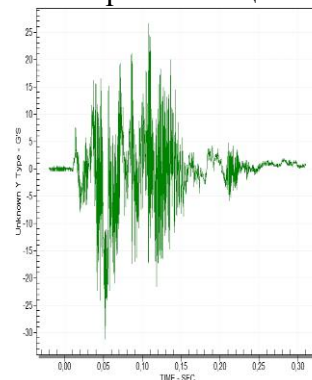


Рис.А.6 – график замедлений/ускорений по оси z принимающее ТС

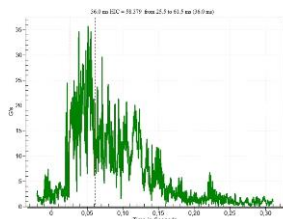


Рис.А.7 – график изменения НИС для ударяющего ТС

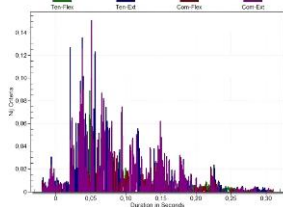


Рис.А.9 – график изменения  $N_{ij}$  для ударяющего ТС

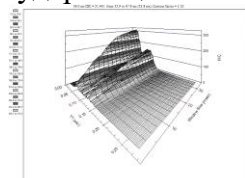


Рис.А.11 – Поверхность отклика НИС для ударяющего ТС, в зависимости от интервала расчета



Рис.А.13 - начало контакта

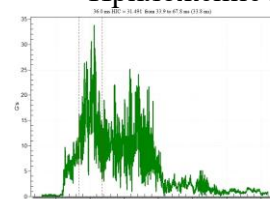


Рис.А.8 – график изменения НИС для принимающего ТС

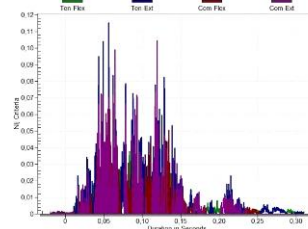


Рис.А.10 – график изменения  $N_{ij}$  для принимающего ТС

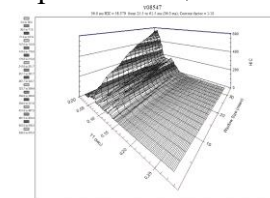


Рис.А.12 – Поверхность отклика НИС для принимающего ТС, в зависимости от интервала расчета

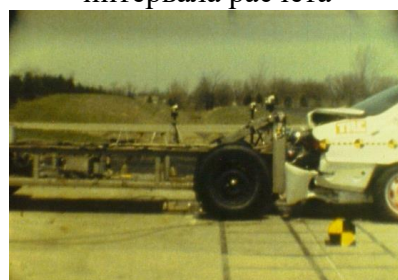


Рис.А.14 - начало совместного перемещения

## Тест №2445

Таблица 1 - Ударяющее ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Тележка	-	-	81.5	-

Таблица 2 - Принимающее удар ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Plymouth	1996	-	-	Взрослый человек

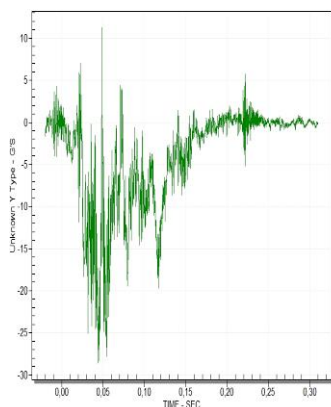


Рис.А.1 – график замедлений/ускорений по оси x ударяющее ТС

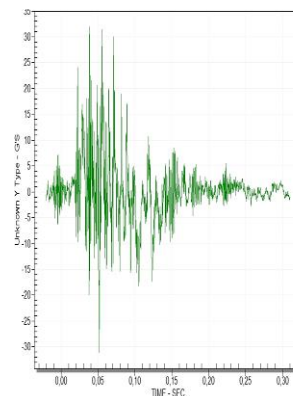


Рис.А.2 – график замедлений/ускорений по оси y ударяющее ТС

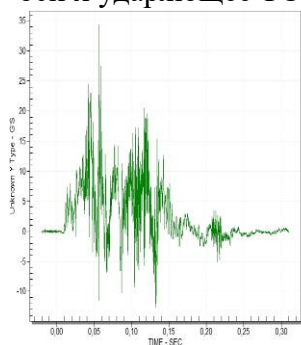


Рис.А.3 – график замедлений/ускорений по оси z ударяющее ТС

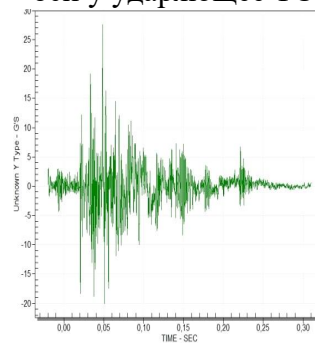


Рис.А.4 – график замедлений/ускорений по оси x принимающее ТС

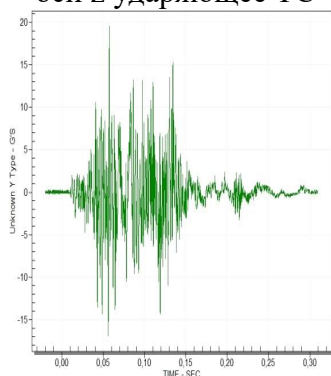


Рис.А.5 – график замедлений/ускорений по оси y принимающее ТС

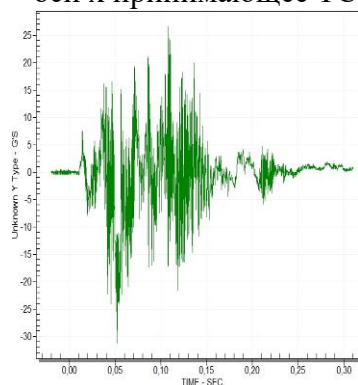


Рис.А.6 – график замедлений/ускорений по оси z принимающее ТС



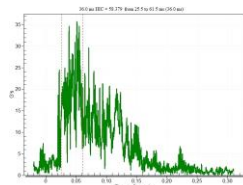


Рис.А.7 – график изменения НИС для ударяющего ТС

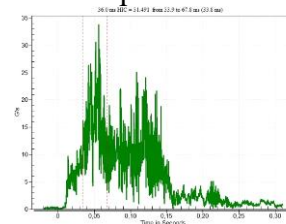


Рис.А.8 – график изменения НИС для принимающего ТС

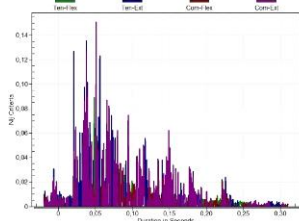


Рис.А.9 – график изменения  $N_{ij}$  для ударяющего ТС

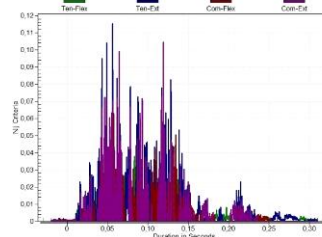


Рис.А.10 – график изменения  $N_{ij}$  для принимающего ТС

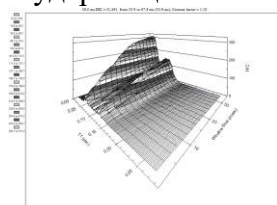


Рис.А.11 – Поверхность отклика НИС для ударяющего ТС, в зависимости от интервала расчета

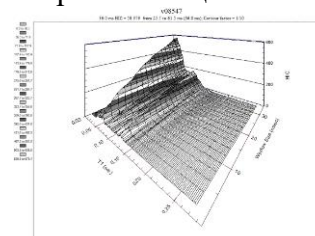


Рис.А.12 – Поверхность отклика НИС для принимающего ТС, в зависимости от интервала расчета



Рис.А.13 - начало контакта



Рис.А.14 - начало совместного перемещения

## Тест №2925

Таблица 1 - Ударяющее ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Тележка	-	-	79	-

Таблица 2 - Принимающее удар ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Chevrolet	1998	-	-	Взрослый человек

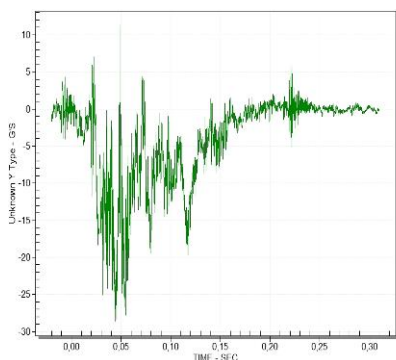


Рис.А.1 – график замедлений/ускорений по оси x ударяющее ТС

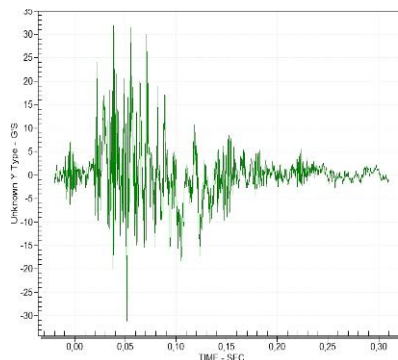


Рис.А.2 – график замедлений/ускорений по оси y ударяющее ТС

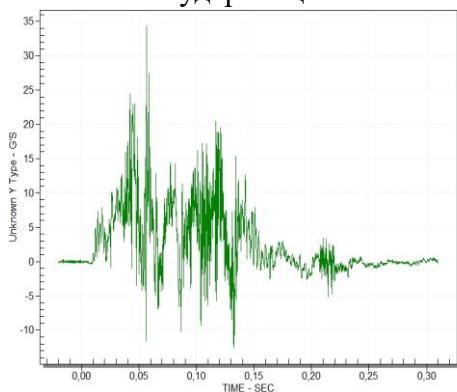


Рис.А.3 – график замедлений/ускорений по оси z ударяющее ТС

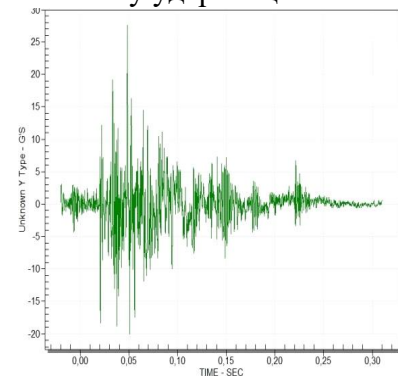


Рис.А.4 – график замедлений/ускорений по оси x принимающее ТС

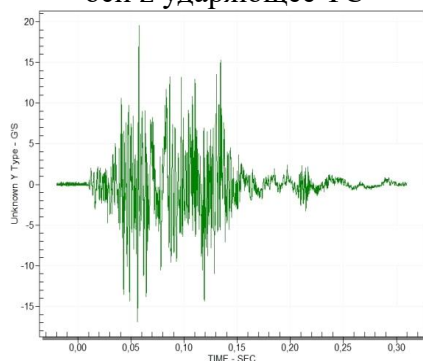


Рис.А.5 – график замедлений/ускорений по оси y принимающее ТС

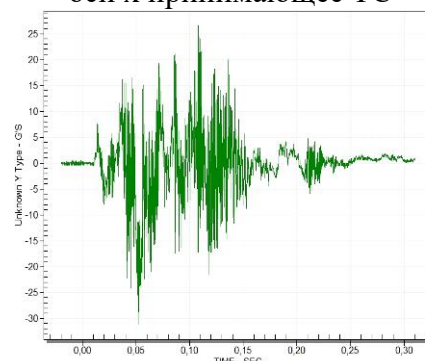


Рис.А.6 – график замедлений/ускорений по оси z принимающее ТС

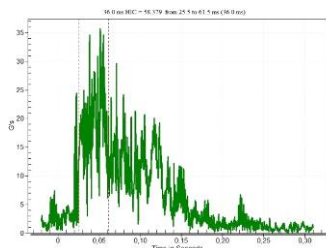


Рис.А.7 – график изменения НИС для ударяющего ТС

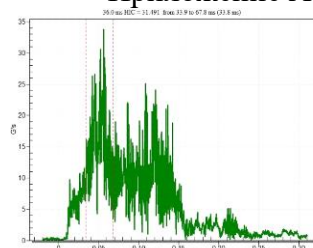


Рис.А.8 – график изменения НИС для принимающего ТС

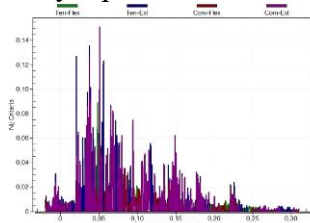


Рис.А.9 – график изменения  $N_{ij}$  для ударяющего ТС

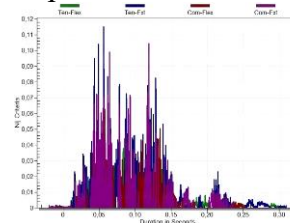


Рис.А.10 – график изменения  $N_{ij}$  для принимающего ТС

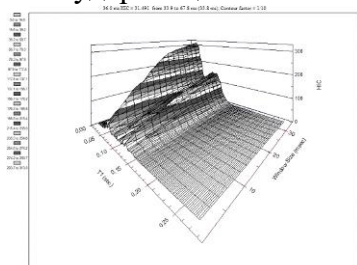


Рис.А.11 – поверхность отклика НИС для ударяющего ТС, в зависимости от интервала расчета

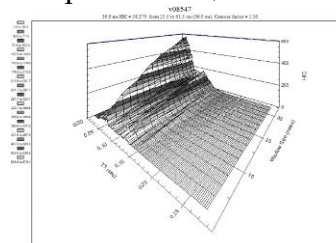


Рис.А.12 – поверхность отклика НИС для принимающего ТС, в зависимости от интервала расчета

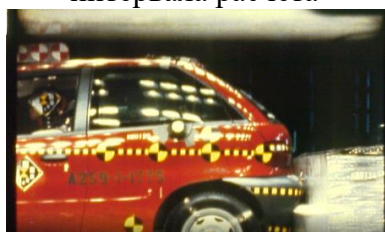


Рис.А.13 - начало контакта



Рис.А.14 – начало совместного перемещения



Тест №2926

Таблица 1 - Ударяющее ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Тележка	-	1258	82.40	-

Таблица 2 - Принимающее удар ТС:

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
MAZDA MIATA	1999	1226	0.00	

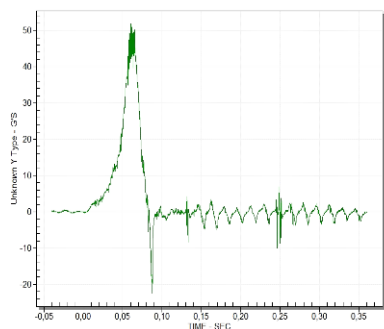


Рис.А.1 – график замедлений/ускорений по оси x ударяющее ТС

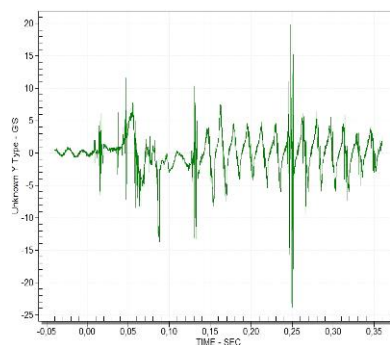


Рис.А.2 – график замедлений/ускорений по оси y ударяющее ТС

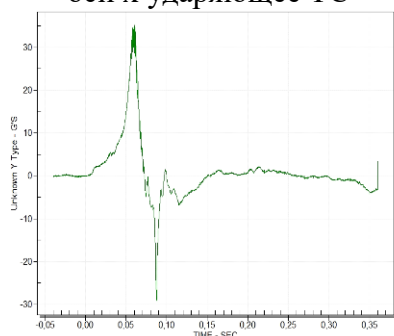


Рис.А.3 – график замедлений/ускорений по оси z ударяющее ТС

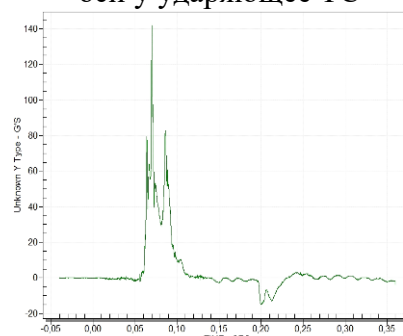


Рис.А.4 – график замедлений/ускорений по оси x принимающее ТС

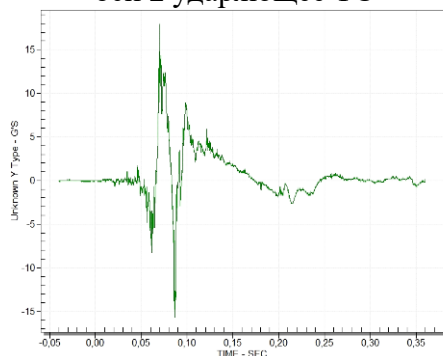


Рис.А.5 – график замедлений/ускорений по оси y принимающее ТС

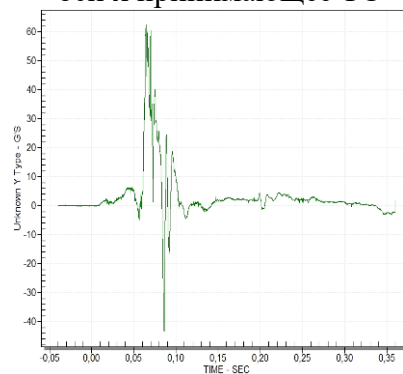


Рис.А.6 – график замедлений/ускорений по оси z принимающее ТС

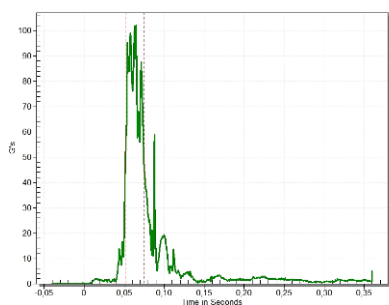


Рис.А.7 – график изменения НИС для ударяющего ТС

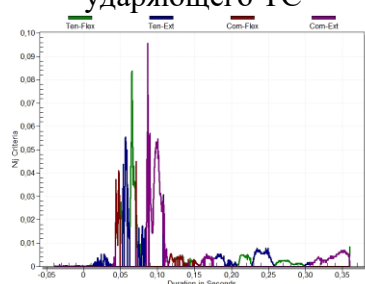


Рис.А.9 – график изменения  $N_{ij}$  для ударяющего ТС

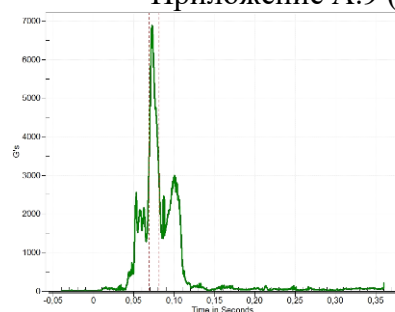


Рис.А.8 – график изменения НИС для принимающего ТС

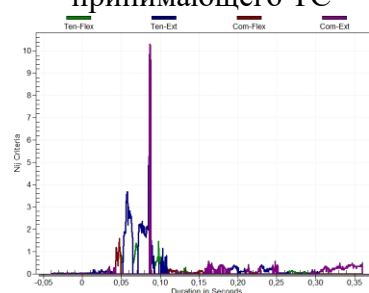


Рис.А.10 – график изменения  $N_{ij}$  для принимающего ТС

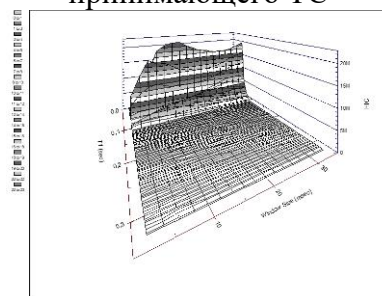


Рис.А.11 – Поверхность отклика НИС для принимающего ТС, в зависимости от интервала расчета



Рис.А.12 - начало контакта

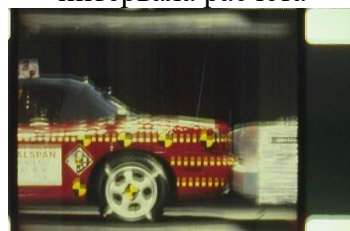


Рис.А.13 – начало совместного перемещения

## Тест №2933

Таблица 1 - Ударяющее ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Тележка	-	1368	79.90	-

Таблица 2 - Принимающее удар ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
CHEVROLET CAVALIER	1998	1441	-	Взрослый человек

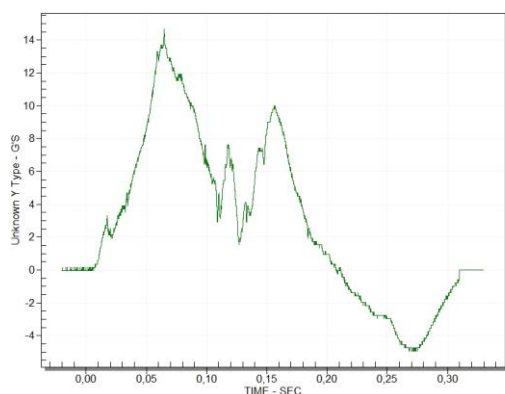


Рис.А.1 – график замедлений/ускорений по оси x ударяющее ТС

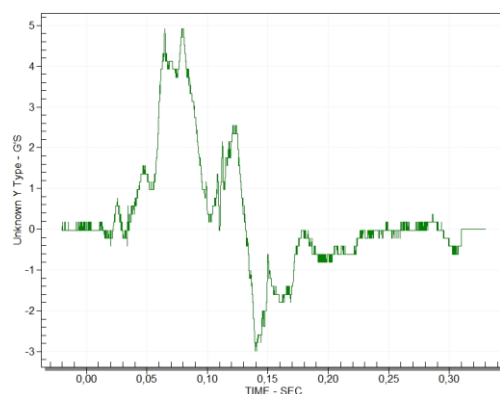


Рис.А.2 – график замедлений/ускорений по оси y ударяющее ТС

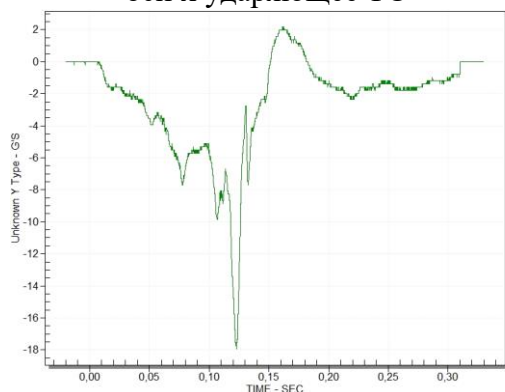


Рис.А.3 – график замедлений/ускорений по оси z ударяющее ТС

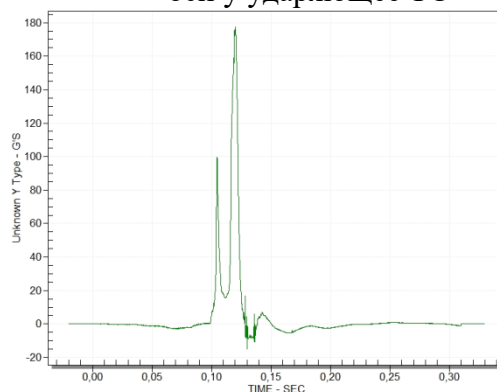


Рис.А.4 – график замедлений/ускорений по оси x принимающее ТС

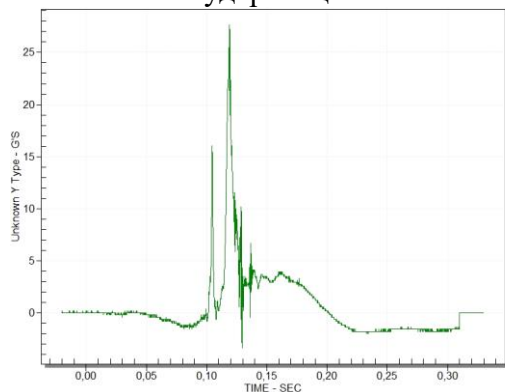


Рис.А.5 – график замедлений/ускорений по оси y принимающее ТС

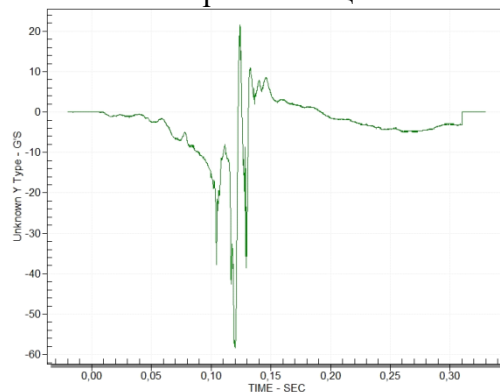


Рис.А.6 – график замедлений/ускорений по оси z принимающее ТС

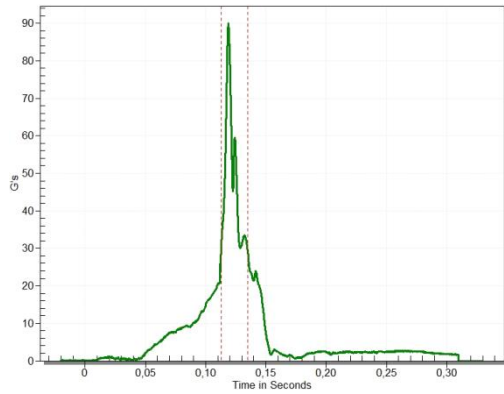


Рис.А.7 – график изменения НИС для ударяющего ТС

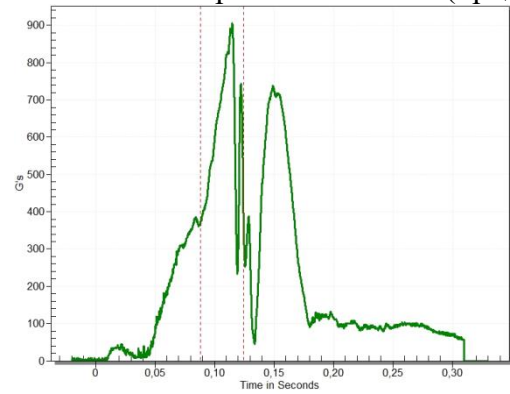


Рис.А.8 – график изменения НИС для принимающего ТС

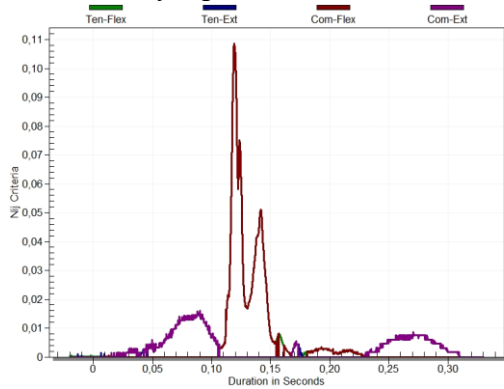


Рис.А.9 – график изменения  $N_{ij}$  для ударяющего ТС

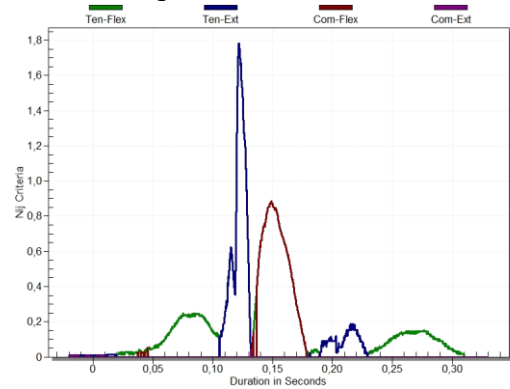


Рис.А.10 – график изменения  $N_{ij}$  для принимающего ТС

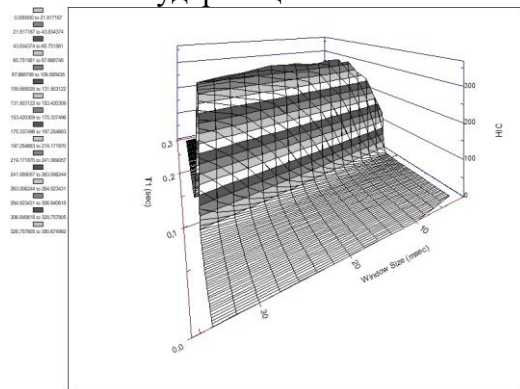


Рис.А.11 – Поверхность отклика НИС для ударяющего ТС, в зависимости от интервала расчета

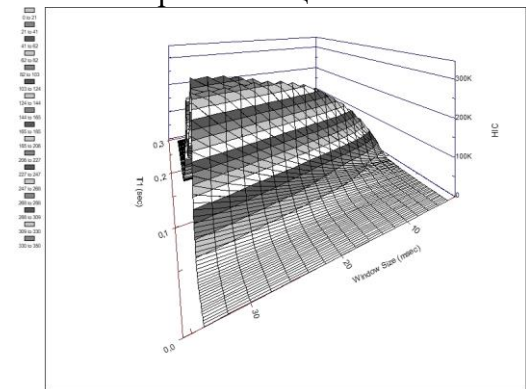


Рис.А.12 – Поверхность отклика НИС для принимающего ТС, в зависимости от интервала расчета



Рис.А.13 - начало контакта



Рис.А.14 – начало совместного перемещения

## Тест №2960

Таблица 1 - Ударяющее ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Тележка	-	1365	61.30	-

Таблица 2 - Принимающее удар ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
TOYOTA CAMRY	1999	1644	-	Взрослый человек

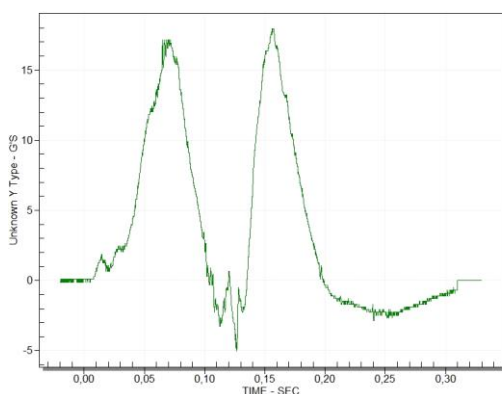


Рис.А.1 – график замедлений/ускорений по оси x ударяющее ТС

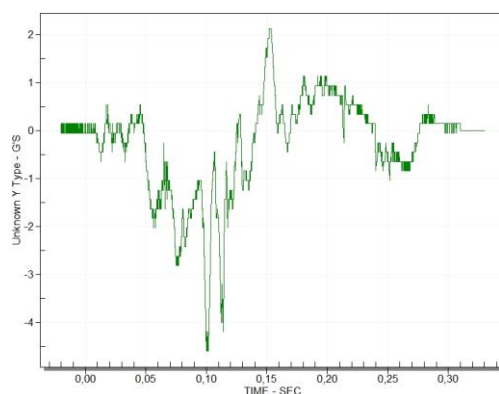


Рис.А.2 – график замедлений/ускорений по оси y ударяющее ТС

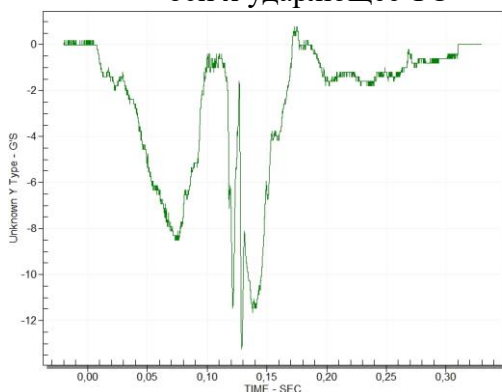


Рис.А.3 – график замедлений/ускорений по оси z ударяющее ТС

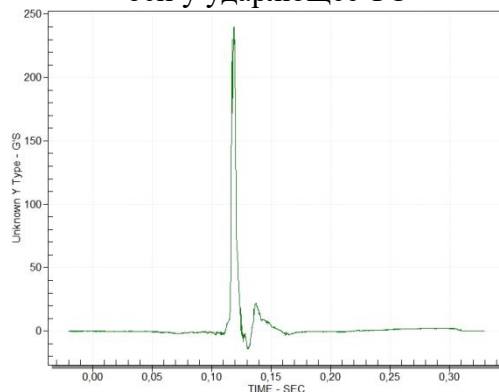


Рис.А.4 – график замедлений/ускорений по оси x принимающее ТС

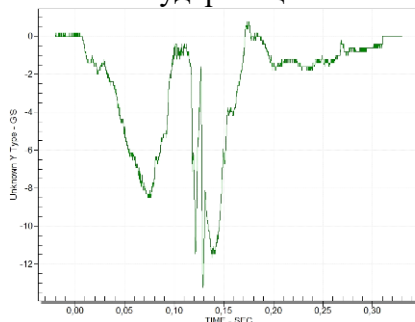


Рис.А.5 – график замедлений/ускорений по оси y принимающее ТС

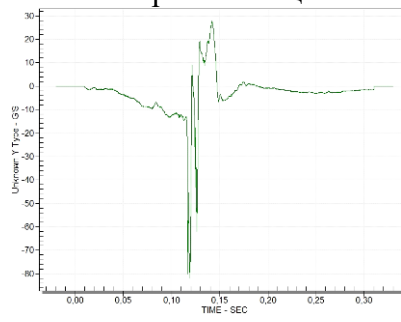


Рис.А.6 – график замедлений/ускорений по оси z принимающее ТС

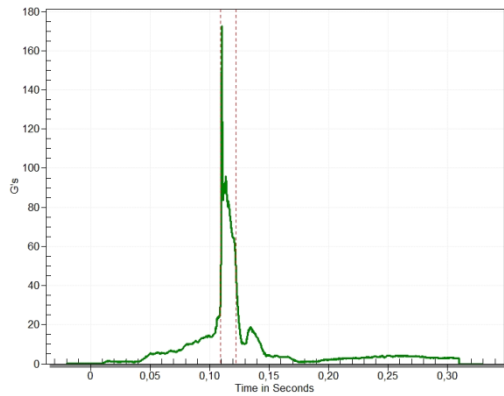


Рис.А.7 – график изменения НИС для ударяющего ТС

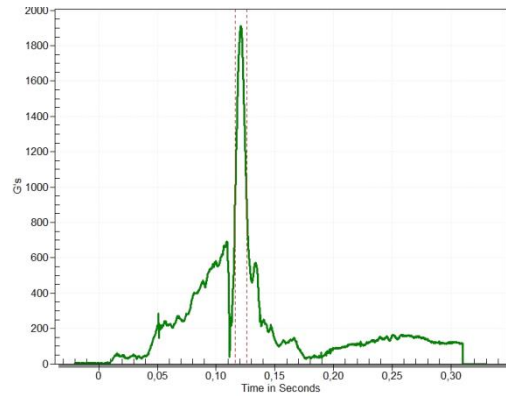


Рис.А.8 – график изменения НИС для принимающего ТС

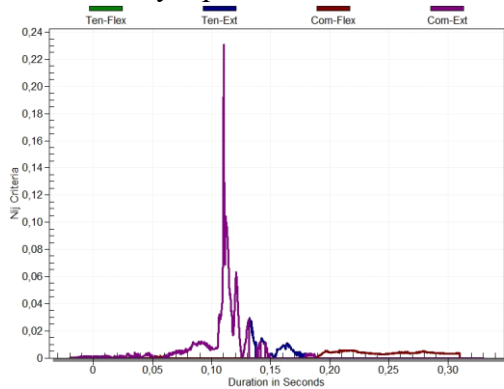


Рис.А.9 – график изменения  $N_{ij}$  для ударяющего ТС

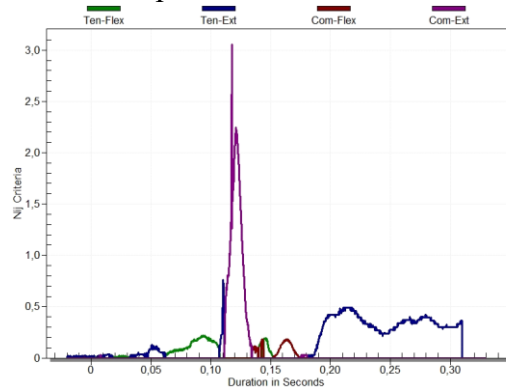


Рис.А.10 – график изменения  $N_{ij}$  для принимающего ТС

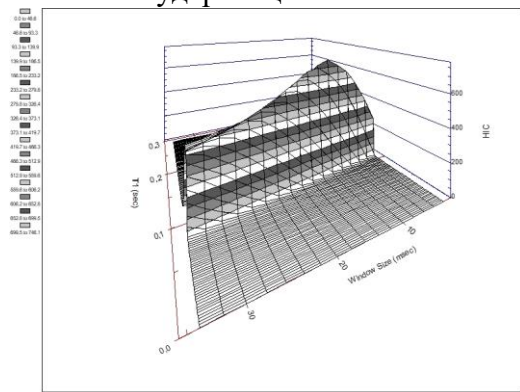


Рис.А.11 – Поверхность отклика НИС для ударяющего ТС, в зависимости от интервала расчета

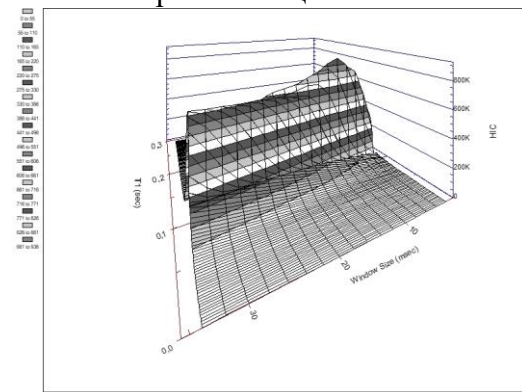


Рис.А.12 – Поверхность отклика НИС для принимающего ТС, в зависимости от интервала расчета



Рис.А.13 - начало контакта



Рис.А.14 – начало совместного перемещения



## Тест №2973

Таблица 1 - Ударяющее ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
Тележка	-	1364	61.30	-

Таблица 2 - Принимающее удар ТС

Марка	Год выпуска	Масса	Скорость	Манекен
HONDA CR-V	1998	1703	-	Взрослый человек

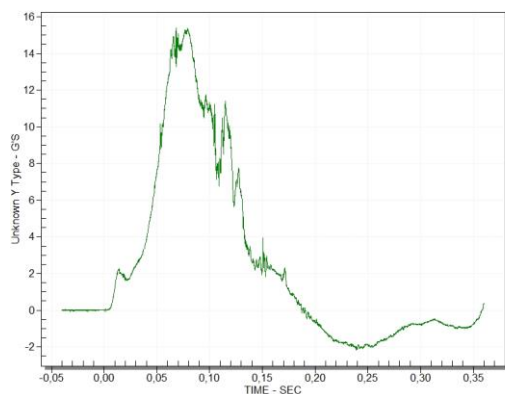


Рис.А.1 – график замедлений/ускорений по оси x ударяющее ТС

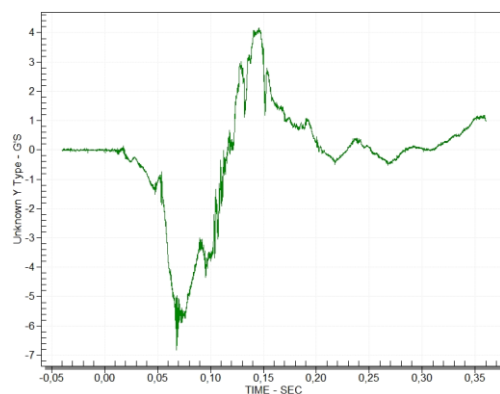


Рис.А.2 – график замедлений/ускорений по оси y ударяющее ТС

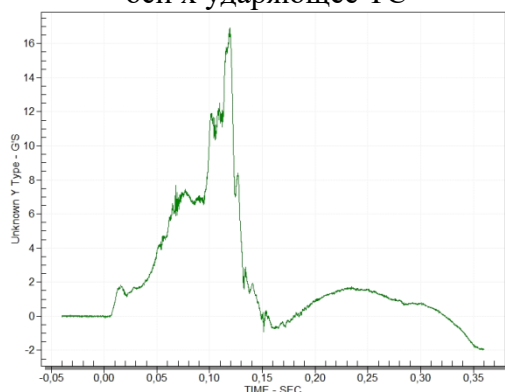


Рис.А.3 – график замедлений/ускорений по оси z ударяющее ТС

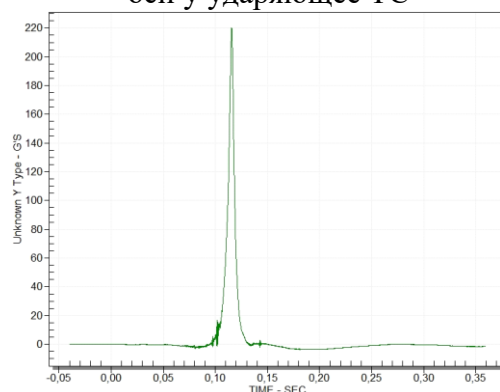


Рис.А.4 – график замедлений/ускорений по оси x принимающее ТС

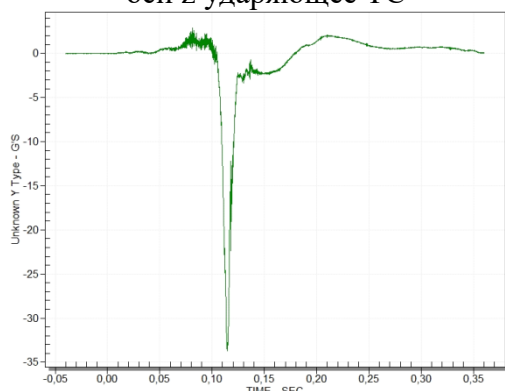


Рис.А.5 – график замедлений/ускорений по оси y принимающее ТС

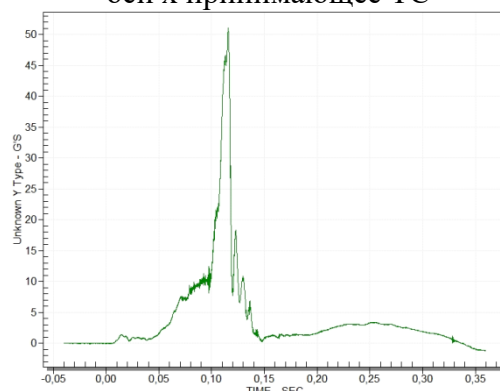


Рис.А.6 – график замедлений/ускорений по оси z принимающее ТС

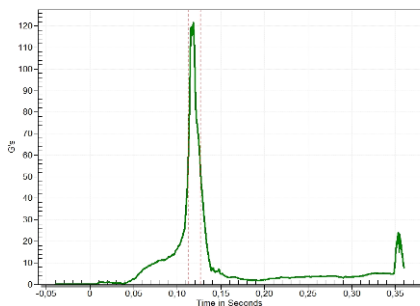


Рис.А.7 – график изменения НИС для ударяющего ТС

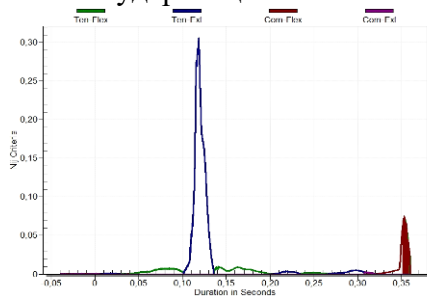


Рис.А.9 – график изменения  $N_{ij}$  для ударяющего ТС

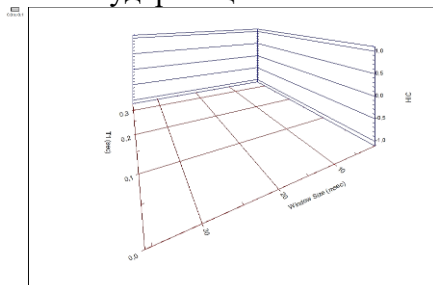


Рис.А.11 – Поверхность отклика НИС для ударяющего ТС, в зависимости от интервала расчета

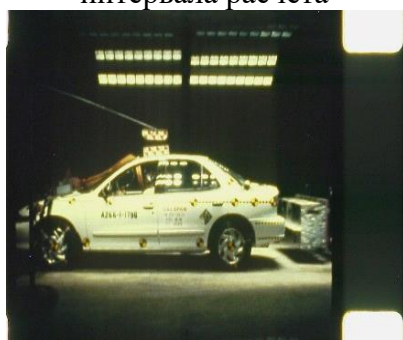


Рис.А.13 - начало контакта

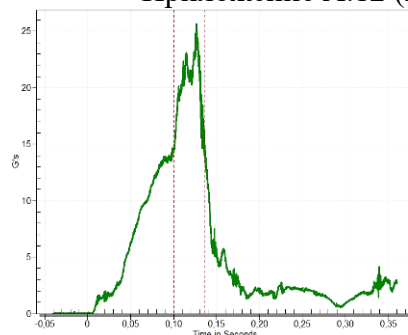


Рис.А.8 – график изменения НИС для принимающего ТС

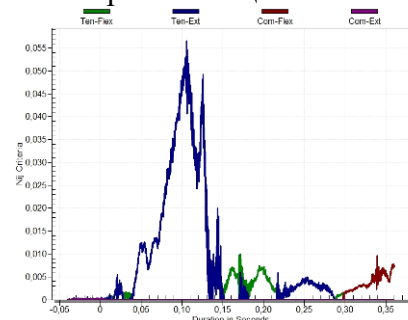


Рис.А.10 – график изменения  $N_{ij}$  для принимающего ТС

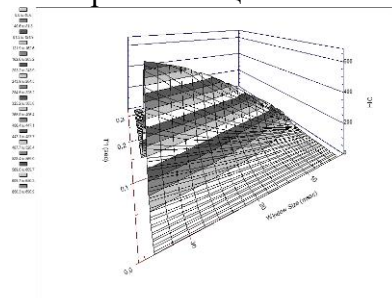


Рис.А.12 – Поверхность отклика НИС для принимающего ТС, в зависимости от интервала расчета

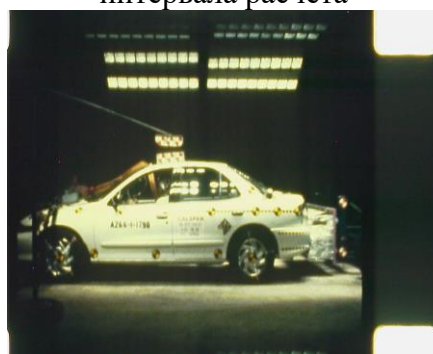


Рис.А.14 – начало совместного перемещения



## Тест №8547

Таблица 1 – Ударяющее ТС

Марка	Год выпуска	Масса (загрузка)	Скорость	Манекен
Plymouth	1997	1274.6	64	Взрослый человек

Таблица 2 – Принимающее удар ТС:

Марка	Год выпуска	Масса (загрузка)	Скорость	Манекен
Jeep	2004	1943	-	Взрослый человек

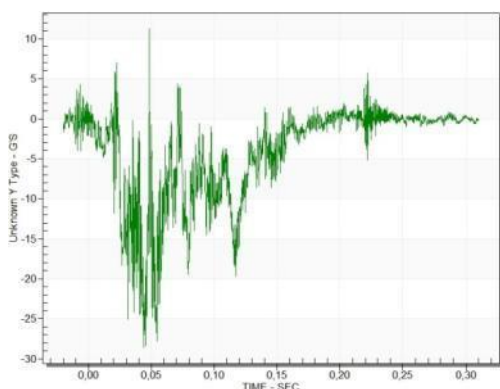


Рис.А.1 – график замедлений/ускорений по оси x ударяющее ТС

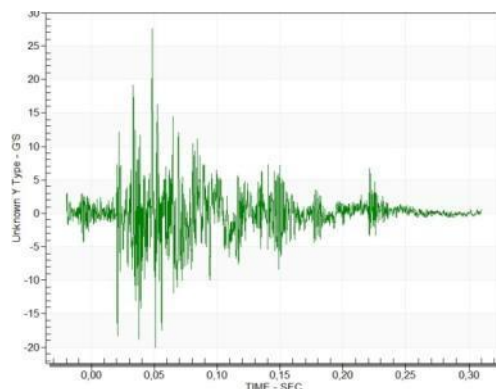


Рис.А.2 – график замедлений/ускорений по оси y ударяющее ТС

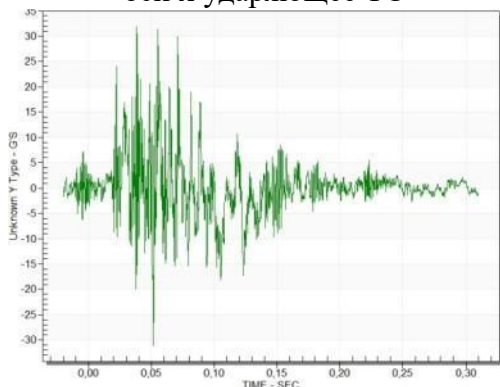


Рис.А.3 – график замедлений/ускорений по оси z ударяющее ТС

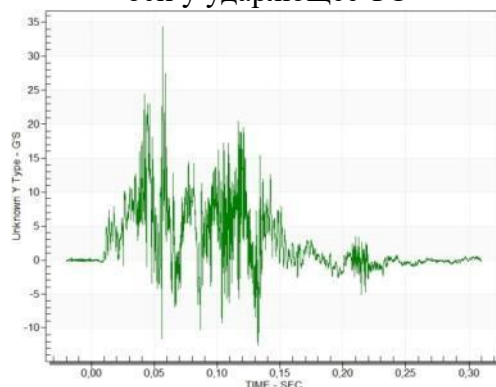


Рис.А.4 – график замедлений/ускорений по оси x принимающее ТС

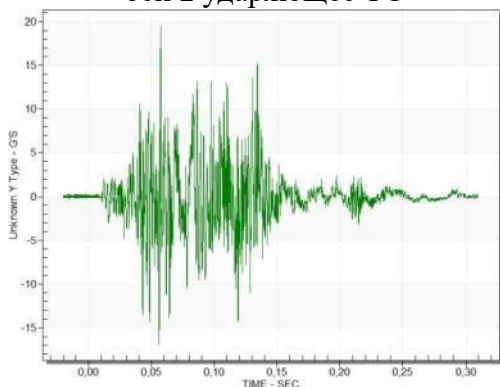


Рис.А.5 – график замедлений/ускорений по оси y принимающее ТС

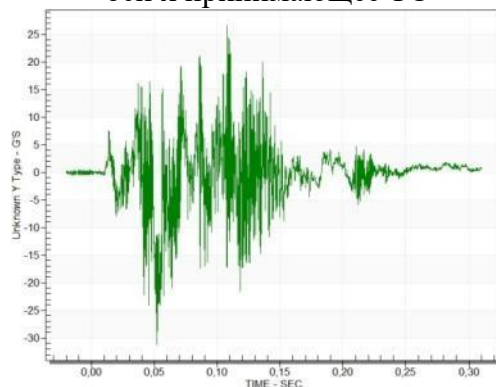


Рис.А.6 – график замедлений/ускорений по оси z принимающее ТС

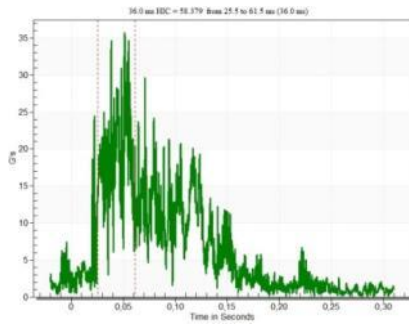


Рис.А.7 – график изменения НИС для ударяющего ТС

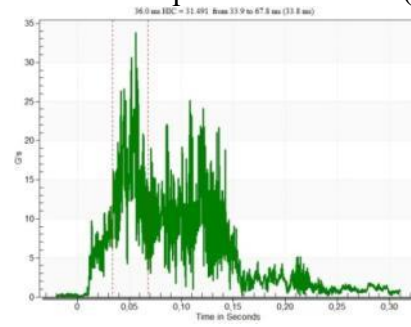


Рис.А.8 – график изменения НИС для принимающего ТС

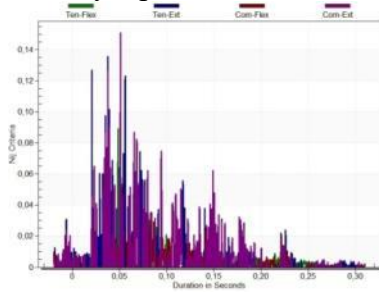


Рис.А.9 – график изменения Nij для ударяющего ТС

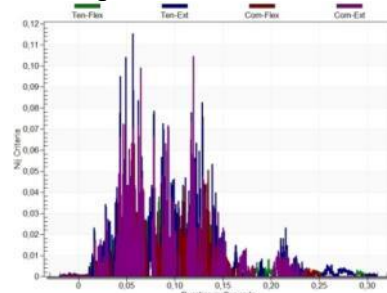


Рис.А.10 – график изменения Nij для принимающего ТС

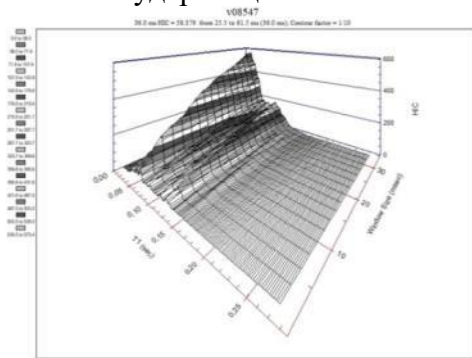


Рис.А.11 – Поверхность отклика НИС для ударяющего ТС, в зависимости от интервала расчета

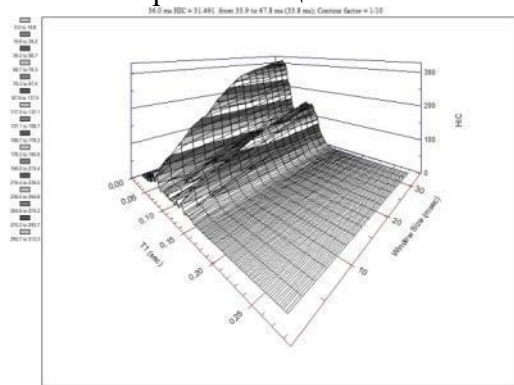


Рис.А.12 – Поверхность отклика НИС для принимающего ТС, в зависимости от интервала расчета

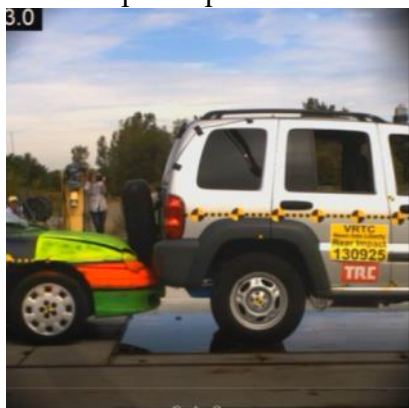


Рис.А.13 - Начало контакта



Рис.А.14 - Начало совместного перемещения

## Тест №8548

Таблица 1 – Ударяющее ТС

Марка	Год выпуска	Масса (загрузка)	Скорость	Манекен
Plymouth	1997	1275	64	Взрослый человек

Таблица 2 - Принимающее удар ТС:

Марка	Год выпуска	Масса (загрузка)	Скорость	Манекен
Jeep	2004	1960.4	-	Взрослый человек

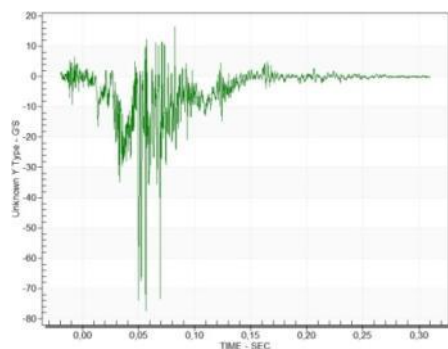


Рис.А.1 – график замедлений/ускорений по оси x ударяющее ТС

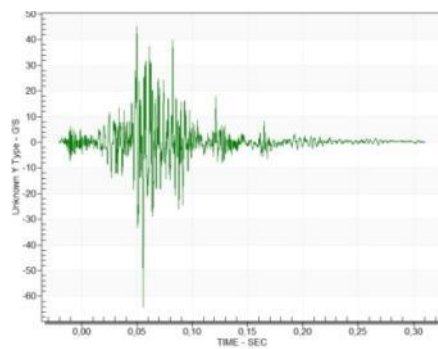


Рис.А.2 – график замедлений/ускорений по оси y ударяющее ТС

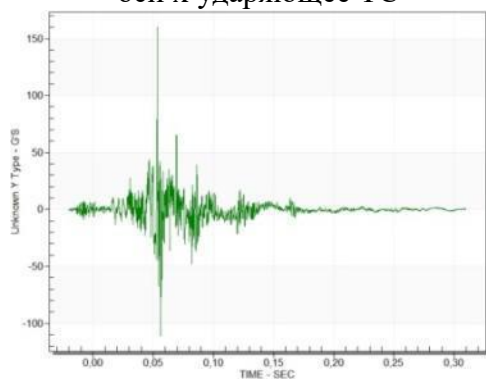


Рис.А.3 – график замедлений/ускорений по оси z ударяющее ТС

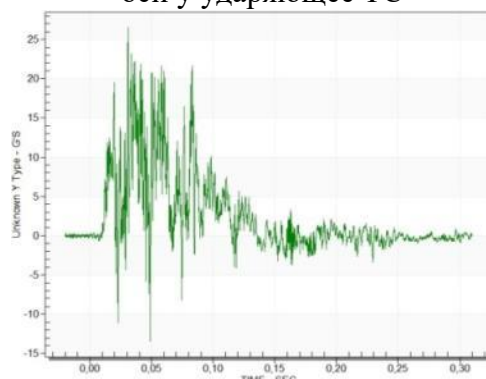


Рис.А.4 – график замедлений/ускорений по оси x принимающее ТС

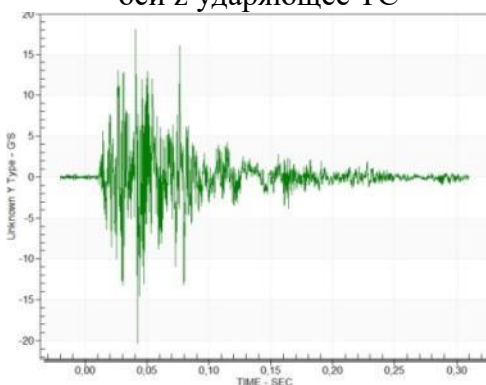


Рис.А.5 – график замедлений/ускорений по оси y принимающее ТС

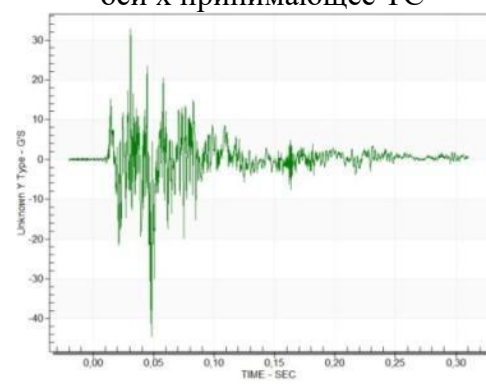


Рис.А.6 – график замедлений/ускорений по оси z принимающее ТС

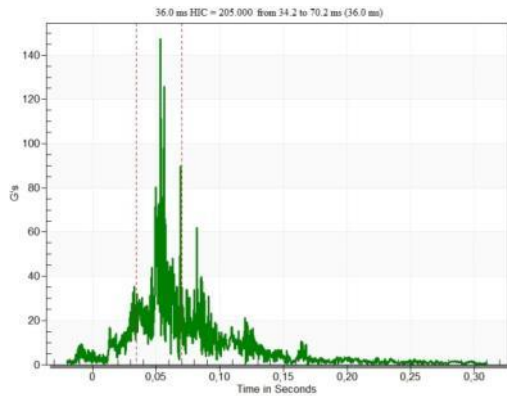


Рис.А.7 – график изменения НИС для ударяющего ТС

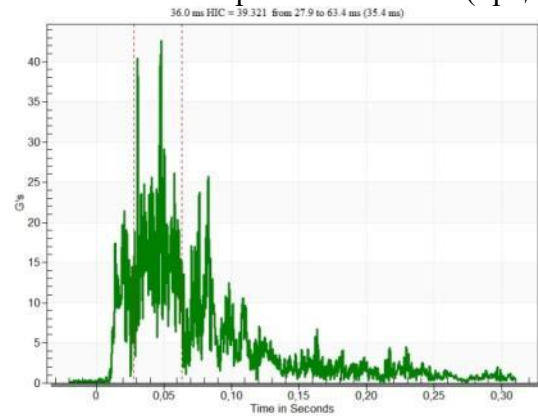


Рис.А.8 – график изменения НИС для принимающего ТС

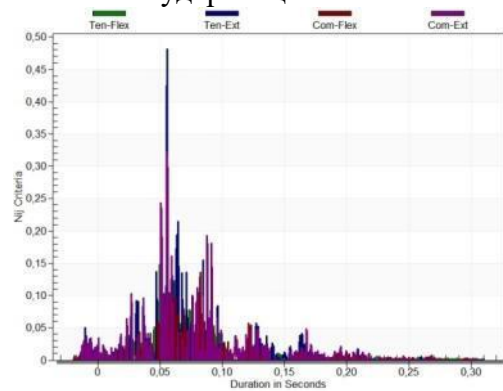


Рис.А.9 – график изменения Nij для ударяющего ТС

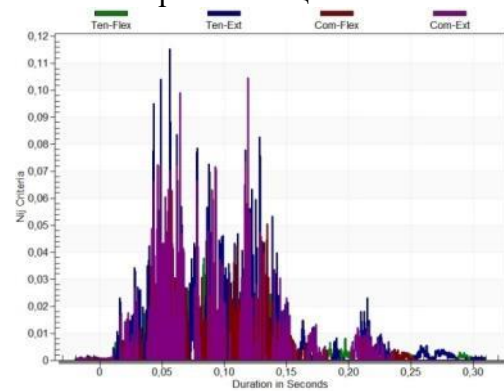


Рис.А.10 – график изменения Nij для принимающего ТС

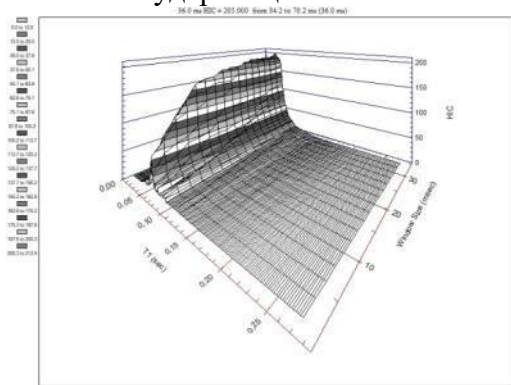


Рис.А.11 – Поверхность отклика НИС для ударяющего ТС, в зависимости от интервала расчета

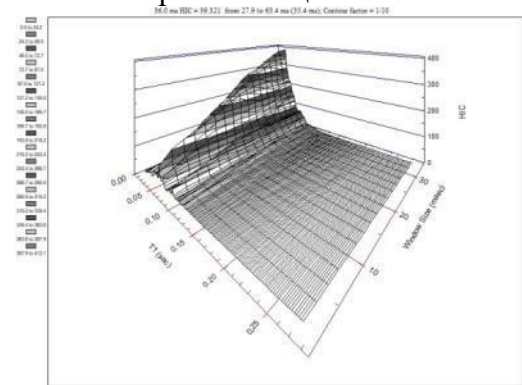


Рис.А.12 – Поверхность отклика НИС для принимающего ТС, в зависимости от интервала расчета



Рис.А.13 - Начало контакта



Рис.А.14 - Начало совместного перемещения

**Приложение Б**  
**(Коды программ по Главам 3 и 4)**

**Расчетный модуль учета затрат энергии на объемные деформации при попутных задних ударах «РасЭн»**

Исходный текст компиляции программы из Matlab/Simulink на язык C++

Расчетный модуль учета затрат энергии на объемные деформации при попутных задних ударах «РасЭн» реализован в Matlab/Simulink. Данный расчетный модуль включает компоненты: универсальную часть расчетного модуля для определения затрат скорости движения транспортного средства, эквивалентных затратам энергии на объемную деформацию с учетом новых зависимостей изменения коэффициентов жесткости (crash3for6.slx) и модель расчета удара в трехмерной постановке (model\_3Dcrush2.slx).

Программа представляет собой два связанных компонента расчета, используемых при реализации модельно-ориентированного подхода к реконструкции дорожно-транспортных происшествий. Применение расчетного модуля учета затрат энергии на объемные деформации при попутных задних ударах «РасЭн» в практике производства дорожно-транспортных экспертиз, направлено на повышение качества, полноты и категоричности экспертных исследований по дорожно-транспортным происшествиям, связанным с реконструкцией механики стадии контактно-следовых взаимодействий при попутных задних ударах транспортных средств. Применение ориентировано на практическое внедрение в экспертных организациях, расчетный модуль позволяет: рассчитывать скорость движения транспортного средства, затраченную на объемную деформацию его задней части, с учетом угла столкновения и величины перекрытия контактной зоны. Кроме того, программа может быть использована в учебном процессе для повышения компетенций специалистов в области анализа и реконструкции дорожно-транспортных происшествий.

**Исходный файл crash3for6.c на C++**

- \* crash3for6.c
- \* Academic License - for use in teaching, academic research, and meeting
- \* course requirements at degree granting institutions only. Not for
- \* government, commercial, or other organizational use.
- \* Code generation for model "crash3for6".
- \* Model version : 1.11
- \* Simulink Coder version : 9.8 (R2022b) 13-May-2022



- \* C source code generated on : Tue Apr 16 17:45:45 2024
- \* Target selection: rsim.tlc
- \* Note: GRT includes extra infrastructure and instrumentation for prototyping
- \* Embedded hardware selection: Intel->x86-64 (Windows64)
- \* Code generation objective: Debugging
- \* Validation result: Not run

```
#include "crash3for6.h"
#include "crash3for6_dt.h"

/* user code (top of parameter file) */
const int_T gblNumToFiles = 0;
const int_T gblNumFrFiles = 0;
const int_T gblNumFrWksBlocks = 0;
const char *gblSlvrJacPatternFileName =
"crash3for6_rsim_rtw\\crash3for6_Jpattern.mat";
/* Root inports information */
const int_T gblNumRootInportBlks = 0;
const int_T gblNumModelInputs = 0;
extern rtInportTUtable *gblInportTUtables;
extern const char *gblInportFileName;
const int_T gblInportDataTypeIdx[] = { -1 };
const int_T gblInportDims[] = { -1 };
const int_T gblInportComplex[] = { -1 };
const int_T gblInportInterpoFlag[] = { -1 };
const int_T gblInportContinuous[] = { -1 };
#include "simstruc.h"
#include "fixedpoint.h"
/* Parent Simstruct */
static SimStruct model_S;
SimStruct *const rtS = &model_S;
```

```

/* Start for root system: '<Root>' */
void MdlStart(void)

/* Outputs for root system: '<Root>' */
void MdlOutputs(int_T tid)
    UNUSED_PARAMETER(tid);

/* Update for root system: '<Root>' */
void MdlUpdate(int_T tid)
    UNUSED_PARAMETER(tid);

/* Termination for root system: '<Root>' */
void MdlTerminate(void)

/* Function to initialize sizes */
void MdlInitializeSizes(void)
    ssSetNumContStates(rtS, 0);    /* Number of continuous states */
    ssSetNumY(rtS, 0);             /* Number of model outputs */
    ssSetNumU(rtS, 0);             /* Number of model inputs */
    ssSetDirectFeedThrough(rtS, 0); /* The model is not direct feedthrough */
    ssSetNumSampleTimes(rtS, 1);   /* Number of sample times */
    ssSetNumBlocks(rtS, 0);        /* Number of blocks */

/* Function to initialize sample times. */
void MdlInitializeSampleTimes(void)
    /* task periods */
    ssSetSampleTime(rtS, 0, 0.2);

    /* task offsets */
    ssSetOffsetTime(rtS, 0, 0.0);

/* Function to register the model */

/* Turns off all optimizations on Windows because of issues with VC 2015
compiler.

```

This function is not performance-critical, hence this is not a problem.

```
#if defined(_MSC_VER)
```



```

#pragma optimize( "", off )
#endif

SimStruct * crash3for6(void)
static struct _ssMdlInfo mdlInfo;
static struct _ssBlkInfo2 blkInfo2;
static struct _ssBlkInfoSLSize blkInfoSLSize;
(void) memset((char *)rtS, 0,
sizeof(SimStruct));
(void) memset((char *)&mdlInfo, 0,
sizeof(struct _ssMdlInfo));
(void) memset((char *)&blkInfo2, 0,
sizeof(struct _ssBlkInfo2));
(void) memset((char *)&blkInfoSLSize, 0,
sizeof(struct _ssBlkInfoSLSize));
ssSetBlkInfo2Ptr(rtS, &blkInfo2);
ssSetBlkInfoSLSizePtr(rtS, &blkInfoSLSize);
ssSetMdlInfoPtr(rtS, &mdlInfo);
/* timing info */
static time_T mdlPeriod[NSAMPLE_TIMES];
static time_T mdlOffset[NSAMPLE_TIMES];
static time_T mdlTaskTimes[NSAMPLE_TIMES];
static int_T mdlTsMap[NSAMPLE_TIMES];
static int_T mdlSampleHits[NSAMPLE_TIMES];
int_T i;
for (i = 0; i < NSAMPLE_TIMES; i++) {
mdlPeriod[i] = 0.0;
mdlOffset[i] = 0.0;
mdlTaskTimes[i] = 0.0;
mdlTsMap[i] = i;
mdlSampleHits[i] = 1;

```

```

ssSetSampleTimePtr(rtS, &mdlPeriod[0]);
ssSetOffsetTimePtr(rtS, &mdlOffset[0]);
ssSetSampleTimeTaskIDPtr(rtS, &mdlTsMap[0]);
ssSetTPtr(rtS, &mdlTaskTimes[0]);
ssSetSampleHitPtr(rtS, &mdlSampleHits[0]);
ssSetSolverMode(rtS, SOLVER_MODE_SINGLETASKING);
* initialize model vectors and cache them in SimStruct
/* data type transition information */
static DataTypeTransInfo dtInfo;
(void) memset((char_T *) &dtInfo, 0,
sizeof(dtInfo));
ssSetModelMappingInfo(rtS, &dtInfo);
dtInfo.numDataTypes = 23;
dtInfo.dataTypeSizes = &rtDataTypeSizes[0];
dtInfo.dataTypeNames = &rtDataTypeNames[0];
/* Model specific registration */
ssSetRootSS(rtS, rtS);
ssSetVersion(rtS, SIMSTRUCT_VERSION_LEVEL2);
ssSetModelName(rtS, "crash3for6");
ssSetPath(rtS, "crash3for6");
ssSetTStart(rtS, 0.0);
ssSetTFinal(rtS, 10.0);
ssSetStepSize(rtS, 0.2);
ssSetFixedStepSize(rtS, 0.2);
/* Setup for data logging */
static RTWLogInfo rt_DataLoggingInfo;
rt_DataLoggingInfo.loggingInterval = (NULL);
ssSetRTWLogInfo(rtS, &rt_DataLoggingInfo);
/* Setup for data logging */
rtliSetLogXSignalInfo(ssGetRTWLogInfo(rtS), (NULL));

```

```

rtliSetLogXSignalPtrs(ssGetRTWLogInfo(rtS), (NULL));
rtliSetLogT(ssGetRTWLogInfo(rtS), "tout");
rtliSetLogX(ssGetRTWLogInfo(rtS), "");
rtliSetLogXFinal(ssGetRTWLogInfo(rtS), "");
rtliSetLogVarNameModifier(ssGetRTWLogInfo(rtS), "rt_");
rtliSetLogFormat(ssGetRTWLogInfo(rtS), 4);
rtliSetLogMaxRows(ssGetRTWLogInfo(rtS), 0);
rtliSetLogDecimation(ssGetRTWLogInfo(rtS), 1);
rtliSetLogY(ssGetRTWLogInfo(rtS), "");
rtliSetLogYSignalInfo(ssGetRTWLogInfo(rtS), (NULL));
rtliSetLogYSignalPtrs(ssGetRTWLogInfo(rtS), (NULL));
ssSetChecksumVal(rtS, 0, 4081100094U);
ssSetChecksumVal(rtS, 1, 1706892931U);
ssSetChecksumVal(rtS, 2, 4219495271U);
ssSetChecksumVal(rtS, 3, 3472207426U);
return rtS;

/* When you use the on parameter, it resets the optimizations to those that you
specified with the /O compiler option. */
#ifdef _MSC_VER
#pragma optimize( "", on )
#endif

```

## Код программы на языке Python для расчета работы сил на деформации по полученным зависимостям

Этот код представляет собой реализацию методики расчета скорости движения транспортных средств (ТС) при попутных задних столкновениях, основанную на анализе контактно-следовых взаимодействий (КСВ). Программа использует кластерный подход, с разделением ТС на 6 групп по массово-габаритным характеристикам. Для каждого кластера заданы уникальные коэффициенты жесткости ( $k_1$  и  $k_2$ ), которые были получены в результате обработки данных натурных краш-тестов и анализа экспериментальных данных.

Основная функциональность кода включает расчет времени контактного взаимодействия, статической деформации кузова, энергии деформации и работы сил при ударе. Расчеты выполняются с учетом таких параметров как скорость ТС в момент столкновения, глобальная жесткость конструкции, угол удара и площадь контакта. Визуализация результатов включает несколько типов графиков: сравнение характеристик разных кластеров на 2D-графиках, 3D-поверхности, отображающие зависимость параметров от основных факторов, и комплексные аналитические графики. Код особенно полезен для экспертов по дорожно-транспортным происшествиям, позволяя анализировать последствия столкновений с учетом типа транспортного средства и условий аварии.

Требования к запуску: Python не ниже версии 3.7, наличие библиотек: numpy, matplotlib

Код программы:

```
import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

class EnhancedCrashAnalysis:

    def __init__(self):

        # Инициализация параметров 6 кластеров (как в документе)

        self.clusters = {

            1: {'k1': 143.678, 'k2': 1.0284, 'color': 'blue',

'description': 'Малые легковые (до 1500 кг)', 'mass_range': 'до 1500 кг'},

            2: {'k1': 144.272, 'k2': 1.0304, 'color': 'green',

'description': 'Средние легковые (1500-1800 кг)', 'mass_range': '1500-1800 кг'},

            3: {'k1': 148.684, 'k2': 1.0482, 'color': 'red',

'description': 'Крупные легковые (1800-2200 кг)', 'mass_range': '1800-2200 кг'},
```

```

4: {'k1': 152.332, 'k2': 1.0531, 'color': 'purple',
'description': 'Кроссоверы (2200-2500 кг)', 'mass_range': '2200-2500 кг'},
5: {'k1': 158.845, 'k2': 1.0687, 'color': 'orange',
'description': 'Внедорожники (свыше 2500 кг)', 'mass_range': 'свыше 2500 кг'},
6: {'k1': 166.741, 'k2': 1.0785, 'color': 'brown',
'description': 'Тяжелые внедорожники (спецтранспорт)', 'mass_range':
'спецтранспорт'}

```

```

# Генерация данных для каждого кластера
self.generate_cluster_data()

# Параметры по умолчанию
self.Cg = 1.5
self.V0 = 50
self.impact_angle = 30
self.impact_area = 0.5
self.mass = 1600

def generate_cluster_data(self):
    """Генерация данных для каждого кластера"""
    self.cluster_data = { }
    for cluster_id in self.clusters:
        # Параметры для генерации данных
        base_deformation = np.linspace(0.1, 1.0, 20)
        base_speed = np.linspace(10, 90, 20)
        deformation_grid, speed_grid = np.meshgrid(base_deformation, base_speed)

        # Уникальные параметры для каждого кластера
        k1 = self.clusters[cluster_id]['k1']
        k2 = self.clusters[cluster_id]['k2']

        # Генерация профиля жесткости (формула из документа)
        stiffness_profile = k1 * np.exp(-0.5*deformation_grid) * (1 +
0.1*np.sin(speed_grid/(20 + cluster_id)))

        # Генерация профиля энергии (формула из документа)

```

```

base_angle = np.linspace(0, 60, 20)
base_volume = np.linspace(0.1, 2.0, 20)
angle_grid, volume_grid = np.meshgrid(base_angle, base_volume)
energy_profile = (k1 * 0.7) * volume_grid * (1 + 0.5*np.sin(np.radians(angle_grid +
cluster_id*5)))

# Сохранение данных кластера
self.cluster_data[cluster_id] = {
    'deformation': base_deformation,
    'speed': base_speed,
    'deformation_grid': deformation_grid,
    'speed_grid': speed_grid,
    'stiffness_profile': stiffness_profile,
    'angle': base_angle,
    'volume': base_volume,
    'angle_grid': angle_grid,
    'volume_grid': volume_grid,
    'energy_profile': energy_profile,
    'work_profile': energy_profile * 1.2 # Профиль работы сил (энергия * коэффициент)
    def calculate_contact_time(self, Cg, V0, cluster_num):
        """Расчет времени контактно-следового взаимодействия (формула 1 из
        документа)"""
        k1 = self.clusters[cluster_num]['k1']
        k2 = self.clusters[cluster_num]['k2']
        tR = (k1 * Cg) / (k2 * V0)
        return tR
    def calculate_static_deformation(self, tR, V0, cluster_num):
        """Расчет статической деформации с учетом кластера (таблица 2 из документа)"""
        cluster_factor = 1 + (cluster_num - 1) * 0.05
        if V0 <= 20:
            if V0 == 10:

```

```

D = (1.5633 * tR - 0.0406) * cluster_factor
else: # 20 км/ч
D = (1.9433 * tR - 0.0307) * cluster_factor
elif 20 < V0 <= 50:
base_D = 0.1105 * np.log(tR) + 0.4327
D = base_D * cluster_factor + (V0-30)/20 * (0.1529-0.1105)*np.log(tR)
else: # 60-90 км/ч
if V0 == 60:
D = (0.1804 * np.log(tR) + 0.7636) * cluster_factor
elif V0 == 70:
D = (-131.99 * tR**2 + 20.702 * tR - 0.4111) * cluster_factor
elif V0 == 80:
D = (-213.94 * tR**2 + 31.953 * tR - 0.6854) * cluster_factor
else: # 90 км/ч
D = (-249.18 * tR**2 + 36.215 * tR - 0.7202) * cluster_factor
return max(D, 0)

def calculate_energy(self, cluster_num, angle, area):
    """Расчет энергии деформации на основе угла и площади контакта"""
    angle_idx = np.argmin(np.abs(self.cluster_data[cluster_num]['angle'] - angle))
    area_idx = np.argmin(np.abs(self.cluster_data[cluster_num]['volume'] - area))
    return self.cluster_data[cluster_num]['energy_profile'][area_idx, angle_idx]

    def calculate_work(self, cluster_num, angle, area):
        """Расчет работы сил на деформацию"""
        angle_idx = np.argmin(np.abs(self.cluster_data[cluster_num]['angle'] - angle))
        area_idx = np.argmin(np.abs(self.cluster_data[cluster_num]['volume'] - area))
        return self.cluster_data[cluster_num]['work_profile'][area_idx, angle_idx]

def plot_cluster_comparison(self, parameter='stiffness'):
    """Сравнение кластеров по выбранному параметру"""
    plt.figure(figsize=(15, 8))

```

```

if parameter == 'stiffness':
    for cluster_id in self.clusters:
        deformation = self.cluster_data[cluster_id]['deformation']
        speed_idx =
        np.argmin(np.abs(self.cluster_data[cluster_id]['speed'] - 50))
        stiffness =
        self.cluster_data[cluster_id]['stiffness_profile'][speed_idx, :]
        plt.plot(deformation, stiffness,
        color=self.clusters[cluster_id]['color'],
        linewidth=2,
        label=f'Кластер {cluster_id}: {self.clusters[cluster_id]["description"]}')
        plt.title('Сравнение профилей жесткости при V0=50 км/ч', fontsize=14)
        plt.xlabel('Деформация (м)', fontsize=12)
        plt.ylabel('Коэффициент жесткости', fontsize=12)
        plt.grid(True, linestyle='--', alpha=0.7)
    elif parameter == 'energy':
        for cluster_id in self.clusters:
            angle = self.cluster_data[cluster_id]['angle']
            area_idx = np.argmin(np.abs(self.cluster_data[cluster_id]['volume'] - 1.0))
            energy = self.cluster_data[cluster_id]['energy_profile'][area_idx, :]
            plt.plot(angle, energy,
            color=self.clusters[cluster_id]['color'],
            linewidth=2,
            label=f'Кластер {cluster_id}: {self.clusters[cluster_id]["description"]}')
        plt.title('Сравнение энергии деформации при площади контакта 1 м²', fontsize=14)
        plt.xlabel('Угол удара (градусы)', fontsize=12)
        plt.ylabel('Энергия деформации (кДж)', fontsize=12)
        plt.grid(True, linestyle='--', alpha=0.7)
    elif parameter == 'work':
        for cluster_id in self.clusters:

```



```

angle = self.cluster_data[cluster_id]['angle']
area_idx =
np.argmin(np.abs(self.cluster_data[cluster_id]['volume'] - 1.0))
work = self.cluster_data[cluster_id]['work_profile'][area_idx, :]
plt.plot(angle, work,
color=self.clusters[cluster_id]['color'],
linewidth=2,
label=f'Кластер {cluster_id}: {self.clusters[cluster_id]["description"]}')
plt.title('Сравнение работы сил на деформацию при площади контакта 1 м²',
fontsize=14)

plt.xlabel('Угол удара (градусы)', fontsize=12)
plt.ylabel('Работа сил (кДж)', fontsize=12)
plt.grid(True, linestyle='--', alpha=0.7)
plt.legend(bbox_to_anchor=(1.05, 1), loc='upper left')
plt.tight_layout()
plt.show()

def plot_3d_surfaces(self, cluster_num):
    """3D визуализация для выбранного кластера"""
    fig = plt.figure(figsize=(20, 6))
    # Профиль жесткости
    ax1 = fig.add_subplot(131, projection='3d')
    surf1 = ax1.plot_surface(
self.cluster_data[cluster_num]['deformation_grid'],
self.cluster_data[cluster_num]['speed_grid'],
self.cluster_data[cluster_num]['stiffness_profile'],
cmap='viridis', edgecolor='none', alpha=0.8)
    ax1.set_title(f'Профиль жесткости\nКластер {cluster_num}', fontsize=12)
    ax1.set_xlabel('Деформация (м)', fontsize=10)
    ax1.set_ylabel('Скорость (км/ч)', fontsize=10)
    ax1.set_zlabel('Жесткость', fontsize=10)

```

```

fig.colorbar(surf1, ax=ax1, shrink=0.5, aspect=5)
# Энергия деформации
ax2 = fig.add_subplot(132, projection='3d')
surf2 = ax2.plot_surface(
    self.cluster_data[cluster_num]['angle_grid'],
    self.cluster_data[cluster_num]['volume_grid'],
    self.cluster_data[cluster_num]['energy_profile'],
    cmap='plasma', edgecolor='none', alpha=0.8)
ax2.set_title(f'Энергия деформации\nКластер {cluster_num}', fontsize=12)
ax2.set_xlabel('Угол удара (градусы)', fontsize=10)
ax2.set_ylabel('Площадь контакта (м²)', fontsize=10)
ax2.set_zlabel('Энергия (кДж)', fontsize=10)
fig.colorbar(surf2, ax=ax2, shrink=0.5, aspect=5)
# Работа сил на деформацию
ax3 = fig.add_subplot(133, projection='3d')
surf3 = ax3.plot_surface(
    self.cluster_data[cluster_num]['angle_grid'],
    self.cluster_data[cluster_num]['volume_grid'],
    self.cluster_data[cluster_num]['work_profile'],
    cmap='magma', edgecolor='none', alpha=0.8)
ax3.set_title(f'Работа сил на деформацию\nКластер {cluster_num}', fontsize=12)
ax3.set_xlabel('Угол удара (градусы)', fontsize=10)
ax3.set_ylabel('Площадь контакта (м²)', fontsize=10)
ax3.set_zlabel('Работа сил (кДж)', fontsize=10)
fig.colorbar(surf3, ax=ax3, shrink=0.5, aspect=5)

plt.tight_layout()
plt.show()
def plot_work_analysis(self, cluster_num):
    """Анализ работы сил на деформацию"""

```

```

fig = plt.figure(figsize=(15, 6))

# Зависимость работы от угла при разных площадях
ax1 = fig.add_subplot(121)
areas = [0.5, 1.0, 1.5, 2.0]
angles = self.cluster_data[cluster_num]['angle']
for area in areas:
    area_idx = np.argmin(np.abs(self.cluster_data[cluster_num]['volume'] - area))
    work = self.cluster_data[cluster_num]['work_profile'][area_idx, :]
    ax1.plot(angles, work, label=f'Площадь {area} м²', linewidth=2)
ax1.set_title(f'Работа сил от угла удара при разных площадях\nКластер {cluster_num}', fontsize=12)
ax1.set_xlabel('Угол удара (градусы)', fontsize=10)
ax1.set_ylabel('Работа сил (кДж)', fontsize=10)
ax1.legend()
ax1.grid(True, linestyle='--', alpha=0.5)

# Зависимость работы от площади при разных углах
ax2 = fig.add_subplot(122)
angles_to_show = [0, 15, 30, 45, 60]
volumes = self.cluster_data[cluster_num]['volume']
for angle in angles_to_show:
    angle_idx = np.argmin(np.abs(self.cluster_data[cluster_num]['angle'] - angle))
    work = self.cluster_data[cluster_num]['work_profile'][:, angle_idx]
    ax2.plot(volumes, work, label=f'Угол {angle} °', linewidth=2)
ax2.set_title(f'Работа сил от площади контакта при разных углах\nКластер {cluster_num}', fontsize=12)
ax2.set_xlabel('Площадь контакта (м²)', fontsize=10)
ax2.set_ylabel('Работа сил (кДж)', fontsize=10)
ax2.legend()
ax2.grid(True, linestyle='--', alpha=0.5)
plt.tight_layout()

```

```

plt.show()

def plot_full_analysis(self):
    """Полный анализ для всех кластеров"""
    # Создаем фигуру с несколькими subplots
    fig, axes = plt.subplots(3, 2, figsize=(18, 18))
    axes = axes.flatten()

    # Графики для каждого кластера
    for i, cluster_id in enumerate(self.clusters):
        if i >= len(axes):
            break

        ax = axes[i]

        angles = self.cluster_data[cluster_id]['angle']
        area_idx = np.argmin(np.abs(self.cluster_data[cluster_id]['volume'] - 1.0))
        work = self.cluster_data[cluster_id]['work_profile'][area_idx, :]
        ax.plot(angles, work,
                color=self.clusters[cluster_id]['color'],
                linewidth=2,
                label=f'Кластер {cluster_id}')
        ax.set_title(f'{self.clusters[cluster_id]["description"]}\nМагн:
{self.clusters[cluster_id]["mass_range"]}', fontsize=10)
        ax.set_xlabel('Угол удара (градусы)', fontsize=9)
        ax.set_ylabel('Работа сил (кДж)', fontsize=9)
        ax.legend()
        ax.grid(True, linestyle='--', alpha=0.5)
    plt.tight_layout()
    plt.show()

    # 3D визуализация работы сил для всех кластеров
    fig = plt.figure(figsize=(20, 15))
    for i, cluster_id in enumerate(self.clusters):
        ax = fig.add_subplot(2, 3, i+1, projection='3d')

```

```

surf = ax.plot_surface(
self.cluster_data[cluster_id]['angle_grid'],
self.cluster_data[cluster_id]['volume_grid'],
self.cluster_data[cluster_id]['work_profile'],
cmap='viridis', edgecolor='none', alpha=0.8)
ax.set_title(f'Кластер {cluster_id}: {self.clusters[cluster_id]["description"]}',
fontsize=10)

ax.set_xlabel('Угол удара (градусы)', fontsize=8)
ax.set_ylabel('Площадь контакта (м²)', fontsize=8)
ax.set_zlabel('Работа сил (кДж)', fontsize=8)
fig.colorbar(surf, ax=ax, shrink=0.6, aspect=10)
plt.tight_layout()
plt.show()

def run_demo(self):
    """Запуск демонстрации всех возможностей"""
    print("Методика расчета скорости движения при попутных задних
контактно-следовых взаимодействиях")

    print("Усовершенствованная версия для 6 кластеров транспортных
средств\n")

    # Пример расчета для кластера 2
    cluster_num = 2
    tR = self.calculate_contact_time(self.Cg, self.V0, cluster_num)
    D = self.calculate_static_deformation(tR, self.V0, cluster_num)
    E = self.calculate_energy(cluster_num, self.impact_angle, self.impact_area)
    W = self.calculate_work(cluster_num, self.impact_angle, self.impact_area)

    print(f"\nПример расчета для кластера {cluster_num}:")
    print(f"{self.clusters[cluster_num]['description']}")
    print(f"- Масса ТС: {self.mass} кг")
    print(f"- Время КСВ (tR): {tR:.4f} с")

```

```

print(f"- Статическая деформация (D): {D:.4f} м")
print(f"- Энергия деформации: {E:.2f} кДж")
print(f"- Работа сил на деформацию: {W:.2f} кДж")
print(f"- Коэффициент k1: {self.clusters[cluster_num]['k1']:.3f}")
print(f"- Коэффициент k2: {self.clusters[cluster_num]['k2']:.4f}")
# Визуализация
print("\nВизуализация данных для всех кластеров...")
# 1. Сравнение кластеров
self.plot_cluster_comparison('stiffness')
self.plot_cluster_comparison('energy')
self.plot_cluster_comparison('work')
# 2. Полный анализ всех кластеров
self.plot_full_analysis()
# 3. Детальный анализ для кластера 2
print("\nДетальный анализ для кластера 2:")
self.plot_3d_surfaces(2)
self.plot_work_analysis(2)
# Запуск анализа
if __name__ == "__main__":
    analyzer = EnhancedCrashAnalysis()
    analyzer.run_demo()

```

### Код программы на языке Python для оптимизации модельной сцены

Данный код реализует генетический алгоритм для оптимизации траекторий ТС при анализе дорожно-транспортных происшествий. Он минимизирует целевую функцию, учитывающую энергию деформации, изменение скорости, угловые отклонения и отклонения траектории. Алгоритм работает с четырьмя ключевыми параметрами: областью контакта, углом сближения, углом столкновения и скоростью до ДТП, используя механизмы селекции, кроссовера и мутации для поиска оптимальных решений.

Код включает средства визуализации результатов: график сходимости алгоритма, 3D-отображение лучших решений, анализ распределения скоростей и кластеризацию решений. Для интеграции с Matlab моделями (crash3for6.slx и model\_3Dcrush2.slx) используется MATLAB Engine API для Python.

Требования к запуску: Python не ниже версии 3.7, наличие библиотек: numpy, matplotlib, seaborn, deap, scikit-learn

Код программы:

```
import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

import xml.etree.ElementTree as ET

from scipy import optimize

import matlab.engine

import os

from deap import base, creator, tools, algorithms

import random

import seaborn as sns

from sklearn.cluster import KMeans

class TrafficOptimizer:

    def __init__(self, xml_scene_path):

        self.xml_scene_path = xml_scene_path

        self.load_scene()

        self.matlab_engine = matlab.engine.start_matlab()

        self.setup_optimization()
```

```

def load_scene(self):
    """Загрузка модельной сцены из XML"""
    tree = ET.parse(self.xml_scene_path)
    root = tree.getroot()

    # Парсинг данных сцены
    self.vehicle_mass = float(root.find('vehicle/mass').text)
    self.road_geometry = self.parse_road_geometry(root.find('road'))
    self.initial_conditions
self.parse_initial_conditions(root.find('initial_conditions'))
    self.trace_data = self.parse_trace_data(root.find('traces'))

    def setup_optimization(self):
        """Настройка параметров оптимизации"""
        # Границы поиска
        self.bounds = {
            'contact_area': (0, 10), # м
            'approach_angle': (0, 360), # градусы
            'collision_angle': (0, 180), # градусы
            'pre_crash_speed': (0, 50) # м/с
        }
        # Весовые коэффициенты
        self.weights = {
            'deformation_energy': 0.4,
            'speed_change': 0.3,
            'angle_deviation': 0.2,
            'trajectory_deviation': 0.1
        }

    def evaluate_solution(self, individual):
        """Оценка решения с использованием Matlab моделей"""
        # Подготовка данных для Matlab
        params = {
            'contact_area': individual[0],
            'approach_angle': individual[1],

```



```

'collision_angle': individual[2],
'pre_crash_speed': individual[3],
'vehicle_mass': self.vehicle_mass
# Вызов crash3for6.slx для расчета изменения скорости
speed_change = self.matlab_engine.crash3for6_simulation(params)
# Вызов model_3Dcrush2.slx для расчета энергии деформации
deformation_results = self.matlab_engine.model_3Dcrush2_simulation(params)
deformation_energy = deformation_results['energy']
# Расчет угловых отклонений
angle_deviation = self.calculate_angle_deviation(individual[1], individual[2])
# Расчет отклонения траектории
trajectory_deviation = self.calculate_trajectory_deviation(individual)
# Целевая функция
fitness = (self.weights['deformation_energy'] * deformation_energy +
self.weights['speed_change'] * speed_change +
self.weights['angle_deviation'] * angle_deviation +
self.weights['trajectory_deviation'] * trajectory_deviation)
return fitness,
def optimize_genetic(self, population_size=50, generations=100):
    """Генетический алгоритм оптимизации"""
    creator.create("FitnessMin", base.Fitness, weights=(-1.0,))
    creator.create("Individual", list, fitness=creator.FitnessMin)
    toolbox = base.Toolbox()
    # Регистрация атрибутов
    toolbox.register("attr_contact_area", random.uniform,
*self.bounds['contact_area'])
    toolbox.register("attr_approach_angle", random.uniform,
*self.bounds['approach_angle'])
    toolbox.register("attr_collision_angle", random.uniform,
*self.bounds['collision_angle'])

```

```

toolbox.register("attr_speed", random.uniform, *self.bounds['pre_crash_speed'])
# Создание индивидуума и популяции
toolbox.register("individual", tools.initCycle, creator.Individual,
(toolbox.attr_contact_area, toolbox.attr_approach_angle,
toolbox.attr_collision_angle, toolbox.attr_speed), n=1)
toolbox.register("population", tools.initRepeat, list, toolbox.individual)
# Регистрация операторов
toolbox.register("mate", tools.cxBlend, alpha=0.5)
toolbox.register("mutate", tools.mutGaussian, mu=0, sigma=1, indpb=0.2)
toolbox.register("select", tools.selTournament, tournsize=3)
toolbox.register("evaluate", self.evaluate_solution)
# Создание популяции
pop = toolbox.population(n=population_size)
# Статистика
stats = tools.Statistics(lambda ind: ind.fitness.values)
stats.register("avg", np.mean)
stats.register("min", np.min)
stats.register("max", np.max)
# Запуск алгоритма
result, logbook = algorithms.eaSimple(pop, toolbox, cxpb=0.5, mutpb=0.2,
ngen=generations, stats=stats, verbose=True)
# Визуализация результатов
self.plot_optimization_results(logbook, result)
return result

def plot_optimization_results(self, logbook, population):
    """Визуализация результатов оптимизации"""
    # График сходимости
    gen = logbook.select("gen")
    fit_mins = logbook.select("min")
    fit_avgs = logbook.select("avg")

```

```

fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 6))
ax.plot(gen, fit_mins, "b-", label="Минимальное значение")
ax.plot(gen, fit_avgs, "r-", label="Среднее значение")
ax.set_xlabel("Поколение")
ax.set_ylabel("Значение целевой функции")
ax.legend()
plt.title("Сходимость генетического алгоритма")
plt.savefig("optimization_convergence.png")
plt.close()

# 3D визуализация лучших решений
best_solutions = tools.selBest(population, k=10)
contact_areas = [ind[0] for ind in best_solutions]
approach_angles = [ind[1] for ind in best_solutions]
collision_angles = [ind[2] for ind in best_solutions]
fig = plt.figure(figsize=(12, 8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
sc = ax.scatter(contact_areas, approach_angles, collision_angles,
c=[ind.fitness.values[0] for ind in best_solutions],
cmap='viridis', s=100)
ax.set_xlabel('Область контакта (м)')
ax.set_ylabel('Угол сближения (град)')
ax.set_zlabel('Угол столкновения (град)')
plt.colorbar(sc, label='Значение целевой функции')
plt.title("Лучшие решения в пространстве параметров")
plt.savefig("best_solutions_3d.png")
plt.close()

# Кластеризация решений
self.plot_solution_clusters(population)
def plot_solution_clusters(self, population):

```

```

"""Классификация и визуализация решений"""
data = np.array([ind[:4] for ind in population])

Классификация K-means
kmeans = KMeans(n_clusters=3)
clusters = kmeans.fit_predict(data)

# Визуализация кластеров
plt.figure(figsize=(12, 8))
sns.scatterplot(x=data[:, 0], y=data[:, 1], hue=clusters,
palette='viridis', s=100)
plt.xlabel('Область контакта (м)')
plt.ylabel('Угол сближения (град)')
plt.title("Классификация решений")
plt.savefig("solution_clusters.png")
plt.close()

def calculate_angle_deviation(self, approach_angle, collision_angle):
"""Расчет угловых отклонений от оптимальных значений"""
optimal_approach = 45 # Пример оптимального угла
optimal_collision = 90 # Пример оптимального угла
approach_dev = abs(approach_angle - optimal_approach) / 180
collision_dev = abs(collision_angle - optimal_collision) / 180
return (approach_dev + collision_dev) / 2

def calculate_trajectory_deviation(self, individual):
"""Расчет отклонения траектории от оптимальной"""
# Здесь должна быть логика расчета отклонения траектории
# на основе данных сцены и параметров индивидуума
return 0.1 # Заглушка

def export_to_xml(self, best_solution, output_path):
"""Экспорт лучшего решения в XML"""
root = ET.Element("optimized_solution")

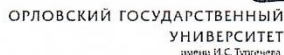
```

```

ET.SubElement(root, "contact_area").text = str(best_solution[0])
ET.SubElement(root, "approach_angle").text = str(best_solution[1])
ET.SubElement(root, "collision_angle").text = str(best_solution[2])
ET.SubElement(root, "pre_crash_speed").text = str(best_solution[3])
tree = ET.ElementTree(root)
tree.write(output_path)
def __del__(self):
    """Завершение работы Matlab engine"""
    self.matlab_engine.quit()
# Пример использования
if __name__ == "__main__":
    optimizer = TrafficOptimizer("accident_scene.xml")
    best_solutions      =      optimizer.optimize_genetic(population_size=100,
generations=50)
    # Экспорт лучшего решения
    best_solution = tools.selBest(best_solutions, k=1)[0]
    optimizer.export_to_xml(best_solution, "optimized_solution.xml")

```

**Приложение В**  
**(Акты внедрения, свидетельство о регистрации ПО)**



**«УТВЕРЖДАЮ»**

ФГБОУ ВО «Орловский  
государственный  
университет  
имени И.С.Тургенева»

С.Ю. Радченко  
2025г.



No


внедрения результатов научно-квалификационной работы  
в учебный процесс ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет  
имени И.С.Тургенева»

Комиссия в составе: Новиков А.Н. – д.т.н., профессор, директор политехнического института имени Н.Н. Поликарпова, Ломакин Д.О. – к.т.н., доцент, и.о. заведующего кафедрой сервиса и ремонта машин, Кулев А.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры сервиса и ремонта машин настоящим актом подтверждает внедрение результатов диссертации «Методика определения динамических и сопутствующих характеристик попутного столкновения транспортных средств при производстве дорожно-транспортных экспертиз» аспирантки ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева» Михалёвой Дарьи Сергеевны в учебный процесс кафедры сервиса и ремонта машин при изучения дисциплин «Безопасность автотранспортных средств», «Организация и безопасность дорожного движения» у студентов направлений подготовки 23.03.03 «Технология транспортных процессов», 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

### Члены комиссии:

Директор ПТИ  А.Н. Новиков

И.о. зав. кафедрой СиРМ  Д.О. Ломакин

Доцент кафедры СиРМ  А.В. Кулев



«СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗ»  
АНО «СЗРЦЭ», 195112, г. Санкт-Петербург, Уткин пр., д. 11, Лит. А, оф. 312  
ИНН 7806540639, КПП 780601001, ОГРН 1187800001630

«16» сентября 2025 года

#### АКТ

о практическом применении результатов диссертационной работы на тему  
«Методика определения динамических и сопутствующих характеристик  
попутного столкновения транспортных средств при производстве дорожно-  
транспортных экспертиз»

аспирантки ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени  
И.С.Тургенева»  
Михалёвой Дарьи Сергеевны

Настоящим Актом повреждается, что результаты диссертационной работы Михалёвой Дарьи Сергеевны на соискание ученой степени кандидата технических наук были приняты к внедрению в экспертных исследованиях и используются в решении вопросов реконструкции механизма попутных задний столкновений и наездов транспортных средств.

При практическом применении в ООО «Северо-Западный Региональный Центр Экспертиз» было установлено, что использование методики Михалёвой Д.С. при расчете затрат скорости на деформации при задних объемно-проникающих контактах, на основе выявленных ею зависимостей изменения коэффициентов жесткости, позволяет увеличить категоричность выводов до 20%, а также при совместном применении с методикой оптимизации траекторий перемещений объектов исследования в ДТЭ и оптимизацией места контакта на основе генетических алгоритмов позволяет увеличить категоричность выводов экспертов до 62%.

Подпись руководителя АНО «СЗРЦЭ»



/Кутузов С.В./





Страховое акционерное общество «ВСК»  
(САО «ВСК»)  
ИНН 7710026574, КПП 997950001  
ОКПО 11441121, ОГРН 1027700186062  
ул. Островная, 4, г. Москва, 121552  
тел.: +7 (495) 785 2776, info@vsk.ru  
Санкт-Петербургский филиал  
ул. Чапаева, д. 15, лит. А, пом. 14-Н,  
г. Санкт-Петербург, 197046  
тел.: +7 (812) 325 1415, spb@vsk.ru

«18» сентября 2025 года

### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертации аспиранта  
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева»  
Михалёвой Дарьи Сергеевны  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
«Методика определения динамических и сопутствующих характеристик  
попутного столкновения транспортных средств при производстве дорожно-  
транспортных экспертиз»

Настоящим Актом подтверждается, что результаты диссертационной работы аспирантки ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С.Тургенева» Михалёвой Дарьи Сергеевны внедрены Страховым акционерным обществом «ВСК» в процессы производства дорожно-транспортных экспертиз при реконструкции и анализе ДТП, связанных с попутными задними столкновениями или наездами легковых автомобилей. В частности при практическом применении экспертами при работе по выплатам делам используются комплексная процедура для модельно-ориентированной реконструкции механизма ДТП, позволяющая производить оценку травмирования водителя и пассажиров при решении экспертных задач связанных с установлением причинной связи между скоростью движения до ДТП и полученными травмами водителем или пассажирами ТС при попутных задних контактах ТС. Предложенный метод решения таких задач, основанный на представленных зависимостях для расчета индексов травмирования и методе расчета скорости движения ТС, показывает свою эффективность при сопоставимой точности результата за счет сокращения времени производства ДТЭ в 1,67 раза по полученным зависимостям оценки риска в сравнении с действующими методами.

Применение в практической деятельности вышеуказанных результатов в составе диссертационного исследования Михалёвой Д.С. позволило в целом повысить категоричность выводов по экспертным исследованиям, а также повысить точность расчетов при реконструкции механизма ДТП с попутными задними контактами ТС.

Заместитель Директора филиала -  
Руководитель Дирекции юридического обеспечения  
К. А. Рыскина



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025692976

**Расчетный модуль учета затрат энергии на объемные деформации при попутных задних ударах «РасЭн»**

Правообладатель: *Михалёва Дарья Сергеевна (RU)*

Автор(ы): *Михалёва Дарья Сергеевна (RU)*



Заявка № 2025690979

Дата поступления **10 ноября 2025 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **25 ноября 2025 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат 00a575e6f7a4d30531b4b881be75f29506  
Владелец *Зубов Юрий Сергеевич*  
Действителен с 04.07.2025 по 28.11.2026

*Ю.С. Зубов*