

*На правах рукописи*

**Марусин Алексей Вячеславович**

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ФИКСАЦИИ НАРУШЕНИЙ  
ПРАВИЛ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

Специальность: **05.22.10** – Эксплуатация автомобильного транспорта

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2017

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент  
**Сафиуллин Равиль Нуруллович**

Официальные оппоненты: **Шемякин Александр Владимирович**  
доктор технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный  
агротехнологический университет имени  
П.А. Костычева», кафедра «Организации  
транспортных процессов, безопасности  
жизнедеятельности и физической культуры»,  
заведующий кафедрой;

**Афанасьев Александр Сергеевич**  
кандидат военных наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный  
университет», кафедра «Транспортно-  
технологических процессов и машин»,  
заведующий кафедрой.

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки «Институт проблем  
управления им. В.А. Трапезникова РАН»,  
г. Москва**

Защита диссертации состоится «14» ноября 2017 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.223.02 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190103, Санкт-Петербург, ул. Курляндская, д. 2/5, аудитория 340-К.

Тел./Факс: (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте <http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/marusin-aleksey-vyacheslavovich>

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук,  
доцент

Олещенко Елена Михайловна

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Проблема безопасности дорожного движения (БДД) для Российской Федерации чрезвычайно актуальна, в связи с этим определены мероприятия Федеральной целевой программы (ФЦП) «Повышение безопасности дорожного движения в 2013-2020 гг.». Ключевым фактором в обеспечении БДД в соответствии с ФЗ № 196 «О безопасности дорожного движения» от 15 ноября 1995 г. является термин «причины ДТП». Концепция «нулевой смертности на дорогах» реализуется во всех европейских странах – подробный её алгоритм закреплён в международном стандарте ИСО 39001: 2012, который принят также и в России. Знания полного множества причин ДТП и механизмов их предупреждения являются базисом науки обеспечения «нулевой смертности на дорогах» и внедрения её концепции в системе обеспечения безопасности дорожного движения (ОБДД) в РФ. Деятельность по ОБДД рассматривается в классе организационных систем – многофункциональных, иерархических, с множеством факторов, влияющих на эффективность, и реализуемых в них функционально обязательных видов деятельности, связанных единством общесистемных целей. Таким образом, указанная выше проблема требует решения множества научно-технических задач и практических мероприятий, обеспечивающих их реализацию. Внедрение систем автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения является одной из таких задач на современном этапе. Под системой автоматической фиксации (САФ) нарушений правил дорожного движения (ПДД) понимается совокупность технических средств (функциональных элементов системы), взаимодействующих друг с другом для достижения общей цели. Назначение этой системы состоит в реализации функций фиксации нарушений правил дорожного движения её участников в автоматическом режиме на улично-дорожной сети (УДС). Однако в настоящее время отсутствуют механизмы количественной оценки эффективности функционирования САФ при реализации задач по повышению безопасности на автомобильных дорогах.

**Степень разработанности темы исследования.** Изученные работы, направленные на обеспечение повышения БДД, показали, что создание науки управления дорожной безопасностью связывается с именами крупных ученых России: Г.И. Клинковштейна, В.А. Иларионова, П.А. Кравченко, С.А. Евтюкова, Д.А. Кременца, В.Н. Иванова, В.Ф. Бабкова, В.М. Вишневого, В.В. Амбарцумяна, В.Н. Добромирова, Л.Л. Афанасьева, М.А. Луковецкого, В.В. Сильянова, В.В. Лукьянова, И.А. Венгерова, Э.М. Ваулина, В.А. Федорова, А.П. Юрова, Р.Н. Минниханова, А.И. Корнеева, В.Л. Чугуева, А.В. Шемякина, А.С. Афанасьева, Э.А. Саркисяна и др.

Общность проблем в сфере обеспечения безопасности движения для различных видов транспорта делает целесообразным при решении системных задач ОБДД учёт и адаптацию огромного научного и методического опыта, накопленного транспортной отраслью в вопросах оценки свойств систем управления безопасностью движения (Р.В. Сокач, А.Н. Стариков, А.Г. Гамулин и др.).

Вопросам контроля исполнения норм БДД, построения и анализа свойств систем ОБДД посвящены работы П.А. Кравченко, В.А. Фёдорова. Анализ работ В.М. Вишневого, Р.Н. Минниханова, М.А. Керимова, Р.Н. Сафиуллина, посвящённых исследованиям по применению САФ, показал, что в настоящий момент не существует общей методики оценки их эффективности, и механизма оценки рационального применения данных систем с целью повышения безопасности на автомобильных дорогах. В литературе крайне редко встречаются работы по системному обобщению частных методик, посвящённых функционированию систем автоматической фиксации, приёмов строгой формализации их системного применения, а также решения задач по оценке различных свойств и оптимального управления их состоянием с целью обеспечения БДД.

В результате проведённого анализа выявлены основные мероприятия по повышению БДД, одним из которых является применение САФ. Использование систем автоматической фиксации нарушений ПДД на УДС является актуальной задачей, что ставит множество задач в научной сфере по ОБДД. Изучение нормативной базы в рассматриваемой предметной области, а также анализ ранее проведённых исследований указывают на отсутствие: единого набора показателей функционирования САФ, используемых для их оценки эффективности; рационального выбора технических средств САФ на УДС и универсальных методов оценки, позволяющих оценить эффективность их функционирования на разных этапах жизненного цикла.

Анализ состояния вопроса в рассматриваемой предметной области позволяет считать задачу оценки эффективности функционирования САФ в сфере ОБДД принципиально разрешимой.

**Цель диссертационного исследования** заключается в разработке методики оценки эффективности функционирования системы автоматической фиксации нарушений ПДД при обеспечении безопасности дорожного движения.

**Объект исследования** – система автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения, реализующая функции предупреждения дорожно-транспортных происшествий на улично-дорожной сети.

**Предмет исследования** – критерии оценки эффективности функционирования САФ и закономерности её влияния на безопасность дорожного движения.

**Задачи исследования:**

1. Определить параметры систем автоматической фиксации и установить факторы, влияющие на безопасность дорожного движения.
2. Разработать математическую модель функционирования системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения на БДД.
3. Установить закономерности и обосновать обобщённый критерий оценки влияния параметров функционирования САФ на безопасность дорожного движения.
4. Разработать алгоритм выбора структуры и обоснования параметров системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения.

5. Разработать методику оценки эффективности функционирования систем автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения как совокупность решений частных задач исследования.

**Научная новизна диссертационного исследования** заключается в следующем:

1. Обоснованы параметры функционирования САФ и их системообразующие факторы (по показателям: кол-во постановлений, кол-во комплексов и т.д.), влияющие на безопасность дорожного движения.

2. Разработана математическая модель функционирования системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения на БДД, позволяющая оценить степень её влияния на показатели аварийности.

3. Установлены закономерности и обоснован обобщённый критерий оценки влияния параметров функционирования САФ на безопасность дорожного движения.

4. Разработан алгоритм выбора структуры и обоснования параметров системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения.

5. Разработана методика оценки эффективности функционирования системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения, которая представляет собой совокупность подходов и методов решения задач, обеспечивающих достижение цели диссертационного исследования.

**Теоретическая значимость диссертационной работы** заключается в разработке методики оценки эффективности функционирования системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения, которая позволяет оценить эффективность использования различных технических средств САФ, а также степень их влияния на показатели аварийности.

**Практическая значимость.** Использование полученных в диссертационном исследовании регрессионных и эмпирических зависимостей, обобщённого критерия, рекомендаций по повышению эффективности функционирования системы автоматической фиксации нарушений ПДД обеспечивают рациональный выбор, эффективную эксплуатацию технических средств и в целом повышение безопасности дорожного движения на УДС. Внедрение методики на региональном уровне позволит сократить общие затраты на выбор технических средств системы автоматической фиксации нарушений ПДД.

**Методы исследования.** Исследования выполнены на основе математического анализа с применением программ Statgraphics и Excel. Использовались методы статистической обработки экспериментальных данных, корреляционно-регрессионного анализа экспериментальных данных, математическое моделирование влияния факторов на функционирование системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения, итерационные методы поиска оптимального решения, а также основные положения системного подхода.

**Положения, выносимые на защиту:**

– параметры функционирования САФ и системообразующие факторы, влияющие на безопасность дорожного движения;

- математическая модель функционирования системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения на БДД;
- закономерности и обобщённый критерий оценки влияния параметров функционирования САФ на безопасность дорожного движения;
- алгоритм выбора структуры и обоснования параметров системы автоматической фиксации нарушений ПДД, позволяющего с учётом установленного критерия осуществлять выбор её рационального варианта;
- методика оценки эффективности функционирования системы автоматической фиксации нарушений ПДД представляющая совокупность подходов и методов решения поставленных задач диссертационного исследования.

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК: 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта, а именно: п. 7. Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы.

**Степень достоверности научных положений и результатов** обусловлена использованием методов статистического и корреляционно-регрессионного анализа, множественного регрессионного анализа, применением современных информационных технологий, а также экспериментальных исследований в лабораторных условиях на базе компьютерных методик и статистических методов обработки информации, сходимостью теоретических и экспериментальных данных.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на научно-практических конференциях: Международная научно-практическая конференция «Архитектура. Строительство. Транспорт» (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ»), секция № 8 «Развитие теории и практики грузовых автомобильных перевозок, транспортной логистики» (Омск, 02-03 декабря 2015 г.); «Новое в системах предупреждения дорожно-транспортного травматизма» (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2016); Международная научная конференция студентов и молодых ученых, секция № 2 «Актуальные проблемы автомобильных перевозок и безопасности движения» (Саратов, 28 октября 2016 г.); 68-я Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов «Актуальные проблемы безопасности дорожного движения» (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 15-17 декабря 2015 г.); III-я Международная научно-практическая конференция «Инновации на транспорте и в машиностроении» (Санкт-Петербург, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 14-15 апреля 2015 г.); XI Международная научно-практическая конференция «PŘEDNÍ VĚDECKÉ NOVINKY – 2015», раздел 5 «Technické vědy Fyzika Moderní informační technologie» (Прага, 27 августа – 5 сентября 2015 г.); Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы транспорта в современных условиях» (Саратов, СГТУ имени Гагарина Ю.А., октябрь 2015 г.); 71-я научная конференция профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, октябрь 2015 г.).

Разработанная методика оценки эффективности функционирования системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения используется: Санкт-Петербургским государственным казённым учреждением (ГКУ) «Городской мониторинговый центр»; ГКУ «Центр безопасности дорожного движения» по Ленинградской области; Санкт-Петербургской производственно-технической компанией ООО «Ольвия»; ЦАФАП по Санкт-Петербургу и Ленинградской области в практике применения САФ с целью оценки эффективности их функционирования.

Результаты диссертационного исследования внедрены в учебном процессе при подготовке студентов по специальностям «Организация безопасности дорожного движения», «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» в СПбГАСУ и СПбГАУ.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, в том числе 6 статей в научных журналах, включенных в перечень, утвержденный ВАК Минобрнауки РФ, и 1 статья в Scopus.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Диссертация изложена на 160 страницах основного текста, содержит 63 рисунка, 28 таблиц, список литературы из 153 наименований.

*Во введении* обоснована актуальность темы диссертации сформулированы цель и задачи исследования, определена научная новизна диссертационной работы и практическая значимость полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту.

*В первой главе:* выполнен анализ влияния систем автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения на БДД; сформулированы задачи по оценке эффективности функционирования САФ; установлены основные факторы, влияющие на БДД, и показатели аварийности в регионах РФ; разработана матрица функциональных возможностей технических средств по видам выявляемых нарушений ПДД на автомобильном транспорте в соответствии со статьями Кодекса об Административных правонарушениях РФ; обоснованы цель и задачи исследования.

*Во второй главе:* проведены теоретические исследования влияния факторов на функционирование систем автоматической фиксации нарушений ПДД; установлены основные этапы оценки эффективности функционирования САФ; разработан алгоритм принятия оптимальных управленческих решений при функционировании САФ по снижению аварийности на объекте УДС; определена кибернетическая модель САФ, на основании которой сформирована модель влияния факторов на функционирование САФ.

На основании теоретических исследований разработана математическая модель функционирования системы автоматической фиксации нарушений ПДД на БДД; установлен наиболее значимый показатель по степени влияния, а именно количество постановлений о нарушениях ПДД; определена закономерность по снижению уровня аварийности при функционировании САФ; обоснован обоб-

щённый критерий оценки влияния параметров функционирования САФ на безопасность дорожного движения, и определены его численные значения на период до 2020 года; разработаны эмпирические зависимости, позволяющие определять влияние функционирования САФ, а также жизненный цикл САФ; установлены показатели технических средств, с учётом которых, разработан алгоритм выбора структуры и обоснования параметров системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения.

По результатам проведенного исследования сформирована методика оценки эффективности функционирования системы автоматической фиксации нарушений ПДД, которая позволяет оценить на практике эффективность использования различных технических средств САФ и степень их влияния на показатели аварийности.

*В третьей главе:* представлены исследования по установлению взаимосвязи параметров функционирования САФ и полученных экспериментальных данных по снижению показателей аварийности в Санкт-Петербурге; экспериментально определены фактические значения основных показателей функционирования САФ на различных участках УДС; получены данные по количеству постановлений до и после установки комплекса фотовидеофиксации (ФВФ); получены результаты экспериментального исследования по взаимосвязи между показателями работы технических средств САФ и показателями аварийности по субъектам РФ и выполнен корреляционно-регрессионный анализ данных, подтверждающих результаты исследований.

*В четвертой главе* выполнена технико-экономическая оценка эффективности системы автоматической фиксации нарушений ПДД; на основании разработанной методики оценки эффективности функционирования системы автоматической фиксации нарушений ПДД проведён сравнительный расчёт технико-экономической эффективности функционирования САФ за счёт снижения потерь от ДТП, а также представлен сравнительный расчёт стоимости монтажа и расходов на поддержание работоспособности технических средств САФ.

Результаты технико-экономической оценки включают стоимостную оценку потерь от одного ДТП до и после начала функционирования САФ, их разницу и уровень снижения общих потерь от ДТП.

## **II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

**1. Обоснованы параметры функционирования САФ и их системообразующие факторы (по показателям: кол-во постановлений, кол-во комплексов и т.д.), влияющие на безопасность дорожного движения.**

В процессе исследования установлены показатели функционирования САФ и показатели аварийности в регионах РФ, а также выполнено ранжирование технических средств САФ по стоимости, что позволило разработать матрицу функциональных возможностей комплексов ФВФ по видам выявляемых нарушений ПДД на автомобильном транспорте в соответствии со статьями Кодекса об административных правонарушениях РФ.

Оценка эффективности функционирования САФ и установление её основных параметров выполнены на основе системного подхода. Предварительный этап оценки эффективности работы САФ предусматривает: общее планирование с целью определения задач, технических требований и стратегий действий; принятие решений на основании статистических данных, характеризующих условия и функционирование технических средств САФ; мониторинг дорожной ситуации при реализации мероприятий с целью оценить их последствия и совершенствовать систему автоматической фиксации нарушений ПДД в целом. В результате был разработан алгоритм принятия управленческих решений по снижению аварийности на объекте УДС при функционировании САФ (рис. 1). Данный алгоритм учитывает различные процессы дорожного движения, идентификацию очагов аварийности и причины ДТП, в соответствии с которыми выполняется поиск технических и управленческих решений по использованию САФ с целью повышения БДД.



Рисунок 1 – Алгоритм принятия управленческих решений по снижению аварийности на объекте УДС при функционировании САФ

С позиции системного подхода сформирована модель влияния факторов на функционирование системы автоматической фиксации нарушений ПДД (рис. 2), на входе которой действует вектор-функция контролируемых параметров ( $\bar{X}$ ). К этой группе факторов отнесены геометрические характеристики участков УДС и характеристики транспортных потоков. Другая совокупность входов, представленная вектор-функцией ( $\bar{E}$ ), включает факторы, учитывающие технико-эксплуатацион-

ные характеристики объектов на УДС и данные по нарушениям участников дорожного движения. Вектор-функция неуправляемых параметров ( $\bar{B}$ ) интерпретируется как аддитивная помеха вероятностной природы. К числу таких параметров относятся дорожные условия, профессиональные навыки водителей, технические характеристики транспортных средств и т.п.

Причинно-следственная связь между указанными группами параметров моделируется следующим соотношением:

$$Q = A[X, B, E], \quad (1)$$

где  $Q$  – критерий оценки параметров функционирования САФ.

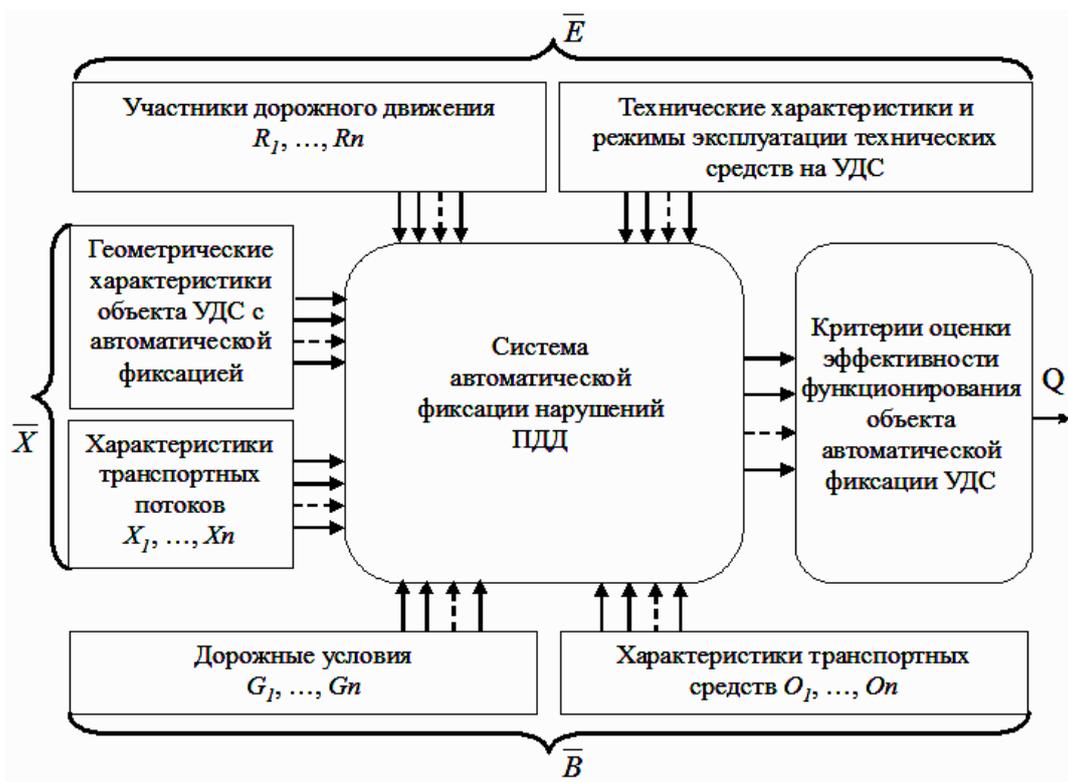


Рисунок 2 – Модель влияния факторов на функционирование САФ нарушений ПДД

Для оценки эффективности применения технических средств автоматической фиксации рассматривается отношение полученного эффекта к затратам за определённый промежуток времени, которое представлено в виде критерия:

$$K_{\mathcal{E}_i} = \{\mathcal{E}_{(+)\text{Ц}}\} / \{Z\}, \quad (2)$$

где  $\mathcal{E}$  – суммарный полезный эффект от эксплуатации комплекса САФ;

$Z$  – затраты на производство и эксплуатацию комплекса САФ.

Для реализации системного подхода по оценке эффективности функционирования САФ разработаны этапы исследования, включающие: определение исходных данных, оценку воздействия функционирования САФ на БДД по абсолютным и косвенным параметрам (кол-во постановлений, кол-во комплексов и т.п.), на основе которых осуществляется выбор рационального варианта эффективного функционирования САФ при обеспечении БДД (рис. 3).

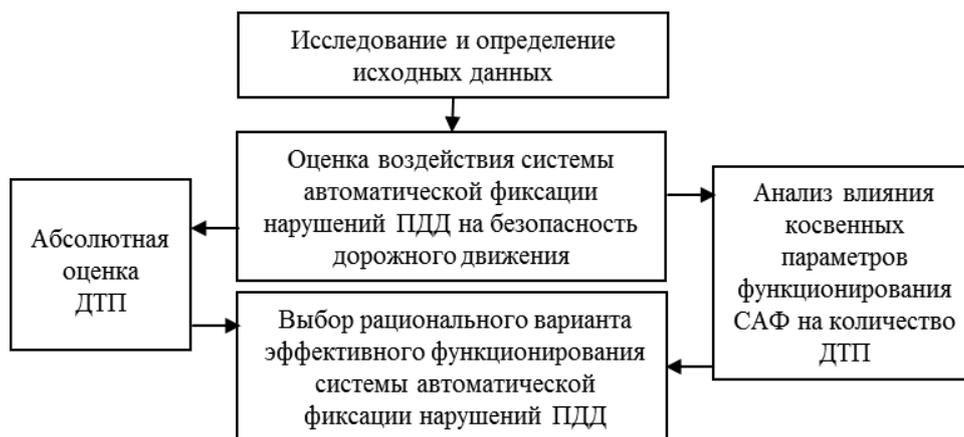


Рисунок 3 – Этапы исследования эффективности функционирования САФ при обеспечении БДД

В результате исследования были установлены следующие системообразующие факторы:  $x_1$  – количество вынесенных постановлений о нарушениях ПДД;  $x_2$  – сумма оплаченных штрафов;  $x_3$  – количество стационарных технических средств САФ;  $x_4$  – количество носимых технических средств САФ, шт.;  $x_5$  – количество передвижных технических средств САФ, шт.;  $x_6$  – количество мобильных технических средств САФ, шт.;  $x_7$  – наличие знака о действии САФ, шт.;  $x_8$  – плотность населения в регионе, чел./км.<sup>2</sup>;  $x_9$  – плотность транспорта в регионе, шт./км.<sup>2</sup>;  $x_{10}$  – протяжённость автомобильных дорог, км.;  $x_{11}$  – население региона, чел.;  $x_{12}$  – территория региона, км.<sup>2</sup>;  $x_{13}$  – количество ТС в регионе, ед.

**2. Разработана математическая модель функционирования системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения на БДД, позволяющая оценить степень её влияния на показатели аварийности.**

На основании теоретических исследований разработана математическая модель, которая позволяет оценить степень влияния функционирования САФ на показатели аварийности. Для формирования информационной базы использовались статистические данные функционирования САФ. При разработке математической модели были установлены наиболее значимые факторы, влияющие на БДД и создан массив исходных данных:

$$y = f(x_1; x_2; x_3 \dots x_{13}), \quad (3)$$

При применении программ Statgraphics и Excel получены регрессионные уравнения влияния рассматриваемых факторов на количество ДТП и разработана математическая модель функционирования системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения на БДД:

$$y = 2379,24 + 1543,63 \cdot x_1 - 3,9134 \cdot x_2 + 9,4035 \cdot x_3 + 1,0307 \cdot x_8, \quad (4)$$

В результате, из установленных факторов определены наиболее значимые по степени влияния на показатели аварийности, которыми являются:  $x_1$  – количество вынесенных постановлений о нарушениях ПДД;  $x_2$  – сумма оплаченных штрафов;  $x_3$  – количество стационарных технических средств САФ;  $x_8$  – плотность

населения в регионе, чел/км.<sup>2</sup>. Статистические характеристики полученной математической модели представлены в табл. 1.

Для подтверждения результатов теоретических исследований проведены экспериментальные исследования по взаимосвязи установленных факторов функционирования САФ и показателей аварийности по субъектам РФ.

Таблица 1 – Статистические характеристики математической модели

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	2379,24	377,889	6,29614	0,0243
x <sub>1</sub>	1543,63	193,139	7,99232	0,0153
x <sub>2</sub>	-3,91341	0,472106	-8,28924	0,0142
x <sub>3</sub>	9,40355	3,09578	3,03754	0,0934
x <sub>8</sub>	1,0307	0,153725	6,70487	0,0215

Для выполнения экспериментальных исследований была разработана программа и осуществлён подбор оборудования. Исследования проведены в местах повышенной аварийности Санкт-Петербурга с применением комплекса ФВФ «КРИС-П» (рис. 4). На основе метода экспертной оценки определен период времени исследования по применению технических средств САФ на участке УДС, который составляет три месяца. В течение этого периода были получены данные по количеству нарушений ПДД до и после установки комплекса (рис. 5).

В результате обработки полученных данных экспериментального исследования на рассмотренных участках УДС зафиксировано изменение количества нарушений ПДД. Оценка уровня взаимосвязи экспериментальных показателей применения технических средств САФ и показателей аварийности выполнена с помощью следующих критериев: коэффициентов корреляции Пирсона и ранговой корреляция Спирмена. Коэффициент корреляции Пирсона выбран для выявления взаимосвязи между показателями работы технических средств САФ и показателями аварийности, коэффициент корреляции Спирмена выбран как дополнительный показатель, позволяющий подтвердить результаты корреляционного анализа по Пирсону.

Таковыми показателями, характеризующими эффективность функционирования САФ, являются: удельное количество штрафов в день на 1 млн зарегистрированных ТС –  $\text{Ш}_{\text{уд}}$  (формула (5)) и удельное кол-во ДТП по вине водителей в день на 1 млн зарегистрированных ТС –  $\text{ДТП}_{\text{уд}}$  (формула (6)), соответственно:

$$\text{Ш}_{\text{уд}} = N_{\text{ш}} / D_{\text{рг}} \cdot N_{\text{ТС}} \cdot 10^{-6}, \quad (5)$$

где  $N_{\text{ш}}$  – количество правонарушений, выявленных САФ в год;  $D_{\text{рг}}$  – количество календарных дней работы САФ в рассматриваемом году;

$$\text{ДТП}_{\text{уд}} = N_{\text{ДТПвод}} / D_{\text{г}} \cdot N_{\text{ТС}} \cdot 10^{-6}, \quad (6)$$

где  $N_{\text{ТС}}$  – количество зарегистрированных ТС, шт.;  $N_{\text{ДТПвод}}$  – количество ДТП по вине водителей ТС в год;  $D_{\text{г}}$  – количество календарных дней в году.

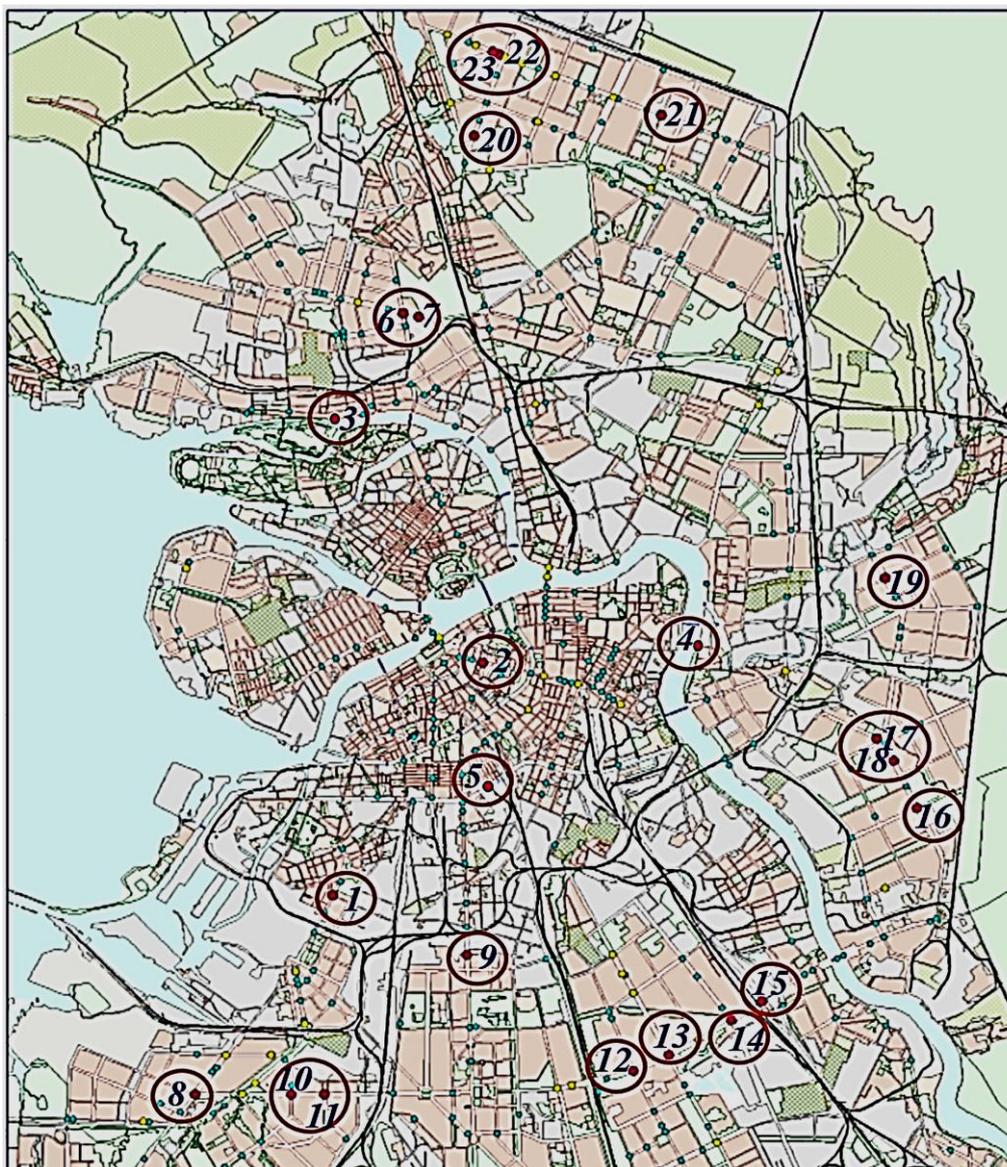


Рисунок 4 – Места дислокации комплекса «Крис» для сбора экспериментальных данных по Санкт-Петербургу

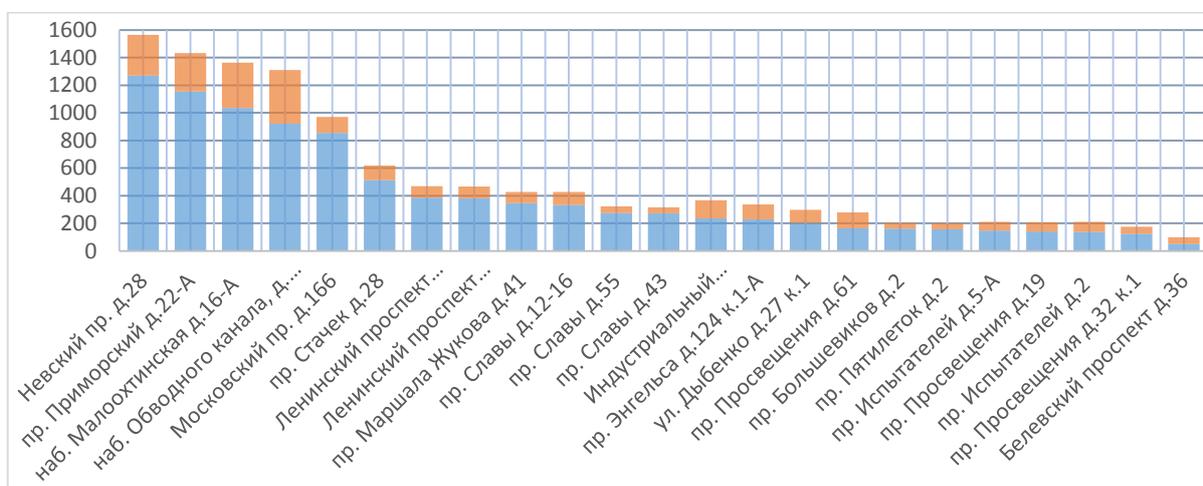


Рисунок 5 – Сравнительный анализ данных по нарушениям ПДД на исследуемых участках УДС

На основании экспериментального исследования установлены количественные оценки влияния параметров функционирования САФ в регионах РФ на показатели аварийности (рис. 6), которые подтверждают результаты теоретических исследований. Степень достоверности полученной математической модели – 95 %.

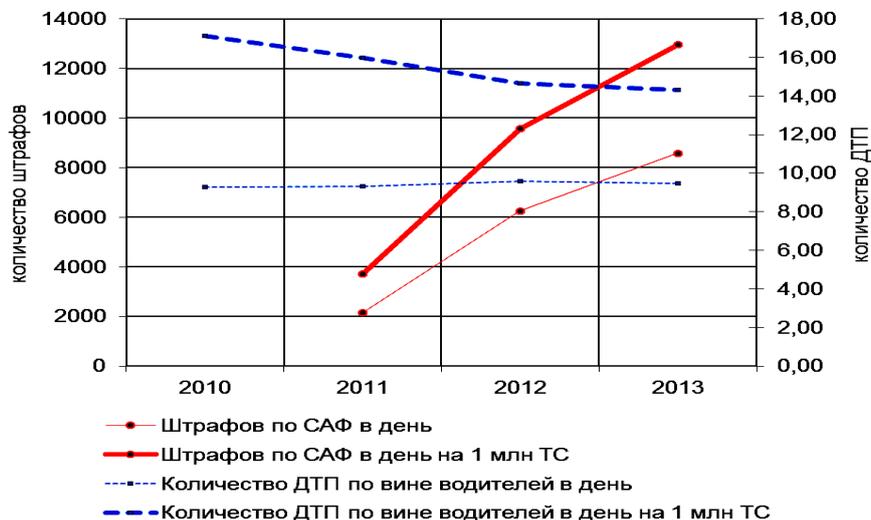


Рисунок 6 – Влияние показателей функционирования САФ на аварийность

### 3. Установлены закономерности и обоснован обобщённый критерий оценки влияния параметров функционирования САФ на безопасность дорожного движения.

В результате исследования получены расчетные значения показателей аварийности с учётом параметров функционирования САФ за период 2011-2018 годов (рис. 7) и установлена закономерность влияния систем автоматической фиксации на безопасность дорожного движения. На основании регрессионного анализа показателей аварийности (количество ДТП –  $y_1$  (7), раненых –  $y_2$  (8) и погибших –  $y_3$  (9)), разработан коэффициент оценки влияния параметров функционирования САФ на безопасность дорожного движения ( $\delta$ ).

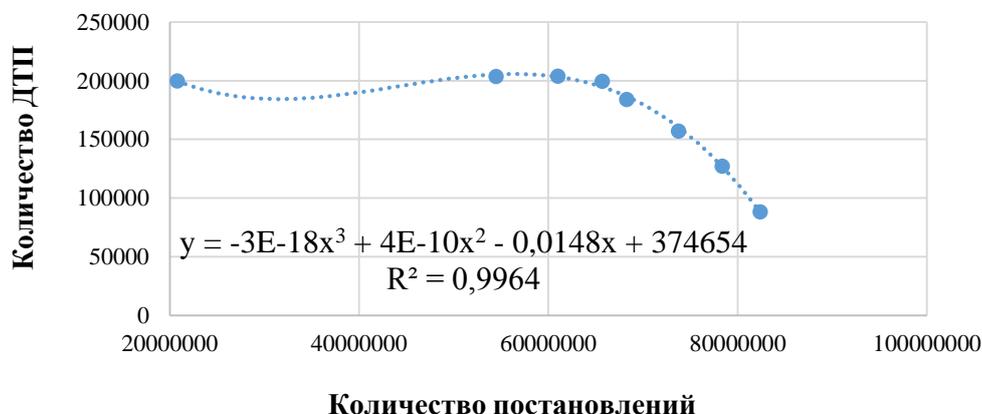


Рисунок 7 – Расчётные значения изменения количества ДТП от показателей функционирования САФ:

$$y_1 = 5,2189x^{-1,344}, \quad (7)$$

$$y_2 = 7,2131x^{-1,486}, \quad (8)$$

$$y_3 = 14,654x^{-1,943}, \quad (9)$$

В соответствии с задачами ФЦП «Повышение безопасности дорожного движения в 2013-2020 гг.», определены расчётные значения коэффициента оценки влияния параметров функционирования систем автоматической фиксации нарушений ПДД на БДД –  $\delta$ , на период 2011-2020 гг. (табл. 2).

Таблица 2 – Расчётные значения  $\delta$  – коэффициента оценки влияния параметров функционирования САФ на безопасность дорожного движения

Показатель	$\delta_1$ (2011 г.)	$\delta_2$ (2012 г.)	$\delta_3$ (2013 г.)	$\delta_4$ (2014 г.)	$\delta_5$ (2015 г.)	$\delta_6$ (2016 г.)	$\delta_7$ (2017 г.)	$\delta_8$ (2018 г.)	$\delta_9$ (2019 г.)	$\delta_{10}$ (2020 г.)
ДТП	5,218	2,055	1,192	0,809	0,600	0,469	0,381	0,319	0,272	0,236
Раненых	7,2131	2,5750	1,4096	0,9193	0,6598	0,5032	0,4	0,328	0,275	0,235
Погибших	14,654	3,811	1,733	0,991	0,642	0,4508	0,3341	0,2577	0,205	0,167

На основании полученных значений по показателям аварийности построена зависимость изменения коэффициента оценки влияния параметров функционирования САФ на безопасность дорожного движения по количеству погибших (рис. 8).

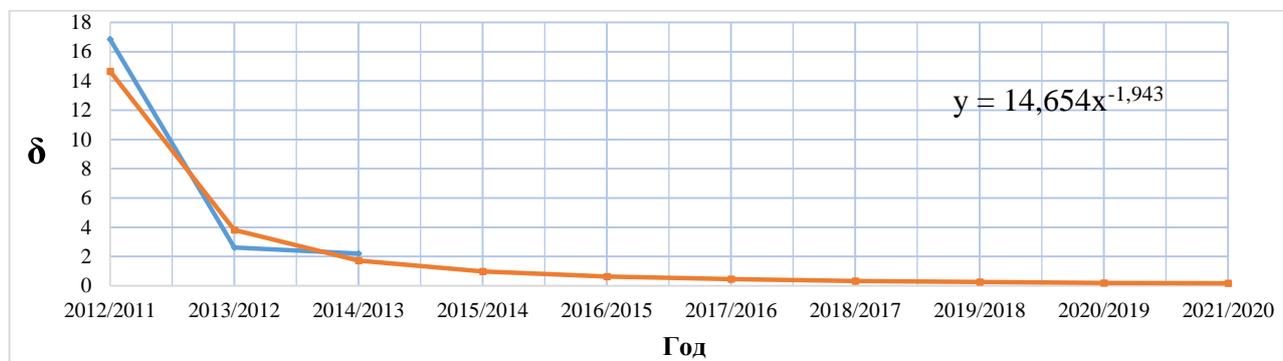


Рисунок 8 – Зависимость коэффициента оценки влияния параметров функционирования САФ на БДД по количеству погибших

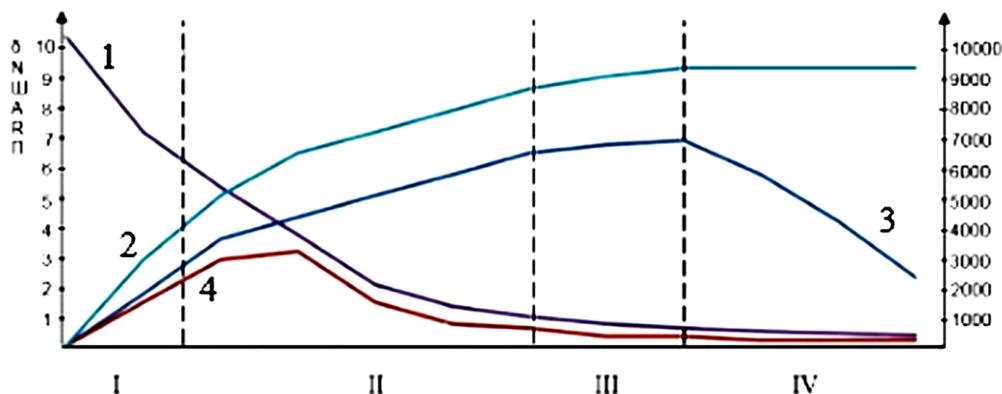
С учётом разработанного коэффициента –  $\delta$  получены эмпирические зависимости, позволяющие определить влияние функционирования САФ на показатели аварийности (по количеству ДТП (10), числу раненых (11) и погибших):

$$A_2 = \delta \cdot A_1 (C_1/C_2)^2, \quad (10); \quad R_2 = \delta \cdot R_1 (C_1/C_2)^3, \quad (11); \quad П_2 = \delta \cdot П_1 (C_1/C_2)^4, \quad (12)$$

где  $C_1$  – кол-во постановлений о нарушениях ПДД, вынесенных в предыдущий период;  $C_2$  – кол-во постановлений о нарушениях ПДД, вынесенных в последующий период;  $A_1$  – кол-во ДТП, совершённых в предыдущий период ( $R_1$ ,  $П_1$  – кол-во раненых и погибших);  $\delta$  – коэффициент оценки влияния параметров функционирования САФ на БДД в регионе.

Данные зависимости имеют высокую практическую значимость для оценки эффективности применения технических средств САФ органами МВД, ГИБДД РФ и другими организациями.

С учётом разработанного коэффициента представлен жизненный цикл САФ (рис. 9), в котором описывается 4 этапа их функционирования. Он показывает, что реализация мероприятий по ОБДД позволит решить задачу по снижению аварийности на автомобильных дорогах. При I этапе жизненного цикла «Локальное влияние на аварийность» устанавливаются значительное количество комплексов ФВФ и формируются организации, обеспечивающие функционирование САФ. При этом периоде снижается аварийность в местах установки САФ, что влияет на общую аварийность. На II этапе «Начало системного влияния на аварийность» система автоматической фиксации нарушений ПДД выходит в активную фазу её работы, в связи с чем происходит снижение аварийности на участках УДС, оснащенных комплексами ФВФ. Для повышения эффективности САФ необходимо периодическое перемещение комплексов ФВФ. На III этапе «Период роста системного влияния функционирования САФ на аварийность» постепенно снижается количество постановлений о нарушениях ПДД в связи с влиянием САФ на БДД. Как следствие, происходит стабилизация снижения аварийности в регионе. При реализации IV этапа «Период стабильной работы системы» происходит значительное сокращение количества постановлений, в результате чего наращивание количества комплексов ФВФ нецелесообразно.



- 1 –  $\delta$  – коэффициент оценки влияния САФ на БДД;  
 2 – N – комплексы ФВФ; 3 – Ш – количество постановлений;  
 4 – A, R, П – показатели аварийности (ДТП, раненые, погибшие)

Рисунок 9 – Этапы жизненного цикла САФ

Таким образом, при реализации этапов жизненного цикла происходит насыщение регионов комплексами ФВФ, а эффективность функционирования САФ снижается в силу объективных причин, и, соответственно, должны быть предусмотрены изменения целей и задач дальнейшего использования технических средств САФ с учётом расширения возможностей как самой системы, так и её отдельных элементов.

В результате, при анализе этапов функционирования САФ и её влияния на аварийность выявлено следующее:

– признаком эффективного функционирования САФ является снижение показателей аварийности, при этом количество постановлений о нарушениях ПДД в регионе также снижается до определенного минимального уровня;

– наращивание количества технических средств САФ целесообразно до необходимого уровня. Дальнейшая необходимость увеличения количества комплексов ФВФ может быть связана только с расширением УДС.

#### **4. Разработан алгоритм выбора структуры и обоснования параметров системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения.**

При разработке алгоритма выбора структуры и обоснования параметров САФ нарушений ПДД использованы эксплуатационные, технические и экономические критерии функционирования технических средств САФ (рис. 10). Разработанный алгоритм выбора структуры и обоснования параметров системы автоматической фиксации нарушений ПДД представлен на рис. 11. Структура алгоритма формируется на основании исходных данных САФ и требований к техническим средствам, а также их возможностей для реализации поставленной цели с учётом полученных знаний от реализованных проектов. С учётом которых производятся выбор альтернативных вариантов и их технико-экономическая оценка.



Рисунок 10 – Критерии выбора технических средств САФ

На первом этапе выбирают функциональные возможности САФ, которые по своим техническим характеристикам (возможностям) и качеству соответствуют целям и задачам выбора. Основными показателями, которые необходимо учитывать при выборе подходящего технического средства САФ, могут быть: режим сбора данных, использование устройств для сбора данных. На втором этапе выполняют технико-экономические расчеты и определяют экономическую целесообразность применения альтернативных вариантов техники, выбранной на первом этапе.

С учётом предложенного алгоритма и на основе установленного критерия осуществляется выбор рационального варианта САФ.



Рисунок 11 – Алгоритм выбора структуры и обоснования параметров системы автоматической фиксации нарушений ПДД

**5. Разработана методика оценки эффективности функционирования системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения, которая представляет собой совокупность подходов и методов решения задач, обеспечивающих на достижение цели диссертационного исследования.**

Для реализации поставленных в диссертационном исследовании задач разработана методика оценки эффективности функционирования системы автоматической фиксации нарушений ПДД (рис. 12), которая позволяет определить рациональные показатели функционирования САФ, при реализации установленных этапов. В разработанной методике оценки эффективности функционирования системы автоматической фиксации нарушений ПДД представлен порядок расчёта затрат на обслуживание, монтаж и поддержание работоспособности технических средств САФ, капитальных вложений, а также показатель изменения общих потерь от ДТП до и после начала функционирования САФ на участке УДС.

На первом этапе методики определяются исходные данные функционирования САФ, выполняются расчёты ежегодного ТО, стоимости монтажа технических средств САФ и расходов на поддержание их работоспособности, рассчитываются капитальные вложения и определяется выбор альтернативных вариантов технических средств САФ. На втором этапе с учётом обобщённого критерия, оценки влияния параметров функционирования САФ на безопасность дорожного движения по показателям аварийности (ДТП, раненых и погибших), рассчитываются количественные показатели потерь от ДТП до начала и после функционирования САФ, определяются показатели стоимостных оценок потерь от одного ДТП до начала и после функционирования САФ и показатели изменения общих потерь от ДТП.

На основании разработанной методики оценки эффективности функционирования САФ выполнен сравнительный расчёт технико-экономической эффективности функционирования САФ за счёт снижения потерь от ДТП. Результаты технико-экономической оценки включают стоимостную оценку потерь от одного ДТП до и после начала функционирования САФ, их разницу и уровень снижения общих потерь от ДТП. Выполнен сравнительный расчёт по стоимости монтажа и расходам на поддержание работоспособности технических средств САФ:

$$C_{VU} = [(C_D Q) + C_{ТО}][i(l + i)^n / (l + i)^n - 1] + nC_M. \quad (13)$$

где  $C_{VU}$  – расходы на поддержание работоспособности устройства во время всего срока службы, руб.;  $C_D$  – стоимость одного комплекса, руб.;  $Q$  – количество используемых технических средств;  $C_M$  – стоимость монтажа, включая трудозатраты и прочие материалы, руб.;  $i$  – процентная ставка;  $n$  – срок службы, г.;  $C_{ТО}$  – стоимость ежегодного ТО, руб. в год.

Разработанная методика оценки эффективности функционирования системы автоматической фиксации нарушений ПДД позволяет оценить на практике эффективность использования различных технических средств САФ, а

также степень их влияния на показатели аварийности. Реализация данной методики позволит снизить общие потери от ДТП на 1160 тыс. руб. в год при снижении количества дорожно-транспортных происшествий на 15,6 %.

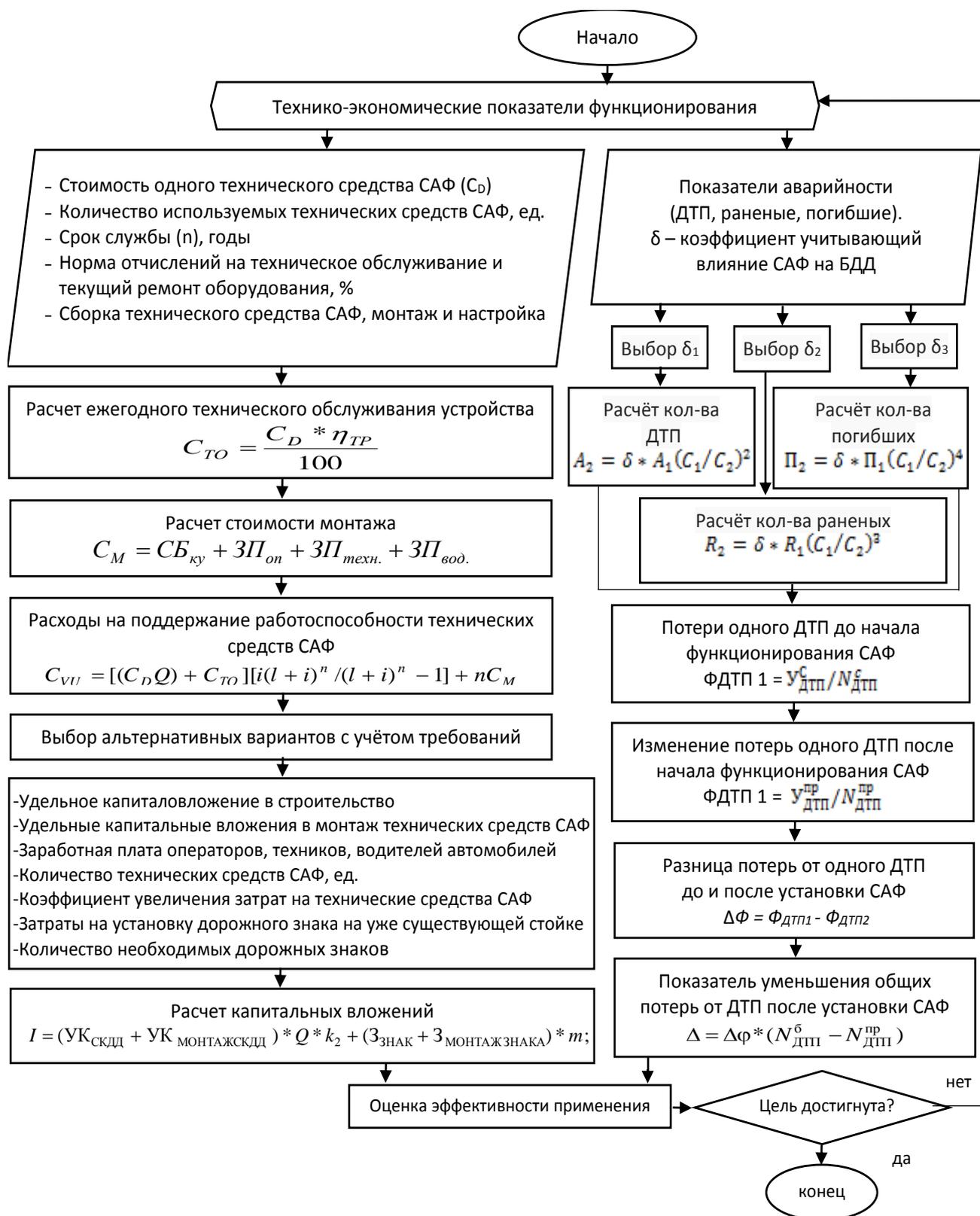


Рисунок 12 – Алгоритм оценки эффективности функционирования САФ

### III. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Итогом диссертационного исследования являются следующие результаты:*

1. В рамках исследования определены параметры функционирования системы автоматической фиксации нарушений ПДД и установлены системообразующие факторы, влияющие на безопасность дорожного движения, а именно:  $x_1$  – количество вынесенных постановлений о нарушениях ПДД;  $x_2$  – сумма оплаченных штрафов;  $x_3$  – количество стационарных технических средств САФ;  $x_4$  – количество носимых технических средств САФ, шт.;  $x_5$  – количество передвижных технических средств САФ, шт.;  $x_6$  – количество мобильных технических средств САФ, шт.;  $x_7$  – наличие знака о действии САФ, шт.;  $x_8$  – плотность населения в регионе, чел/км.<sup>2</sup>;  $x_9$  – плотность транспорта в регионе, шт./км.<sup>2</sup>;  $x_{10}$  – протяжённость автомобильных дорог, км.;  $x_{11}$  – население региона, чел.;  $x_{12}$  – территория региона, км.<sup>2</sup>;  $x_{13}$  – количество ТС в регионе, ед.

2. Разработана математическая модель функционирования системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения на БДД:  $y = 2379,24 + 1543,63 \cdot x_1 - 3,9134 \cdot x_2 + 9,4035 \cdot x_3 + 1,0307 \cdot x_8$ , где  $x_1$  – количество вынесенных постановлений о нарушениях ПДД;  $x_2$  – сумма оплаченных штрафов;  $x_3$  – количество стационарных технических средств САФ;  $x_8$  – плотность населения в регионе, чел/км.<sup>2</sup>.

Сравнение расчётных показателей и экспериментальных данных влияния САФ на БДД показывает, что среднее отклонение между полученными значениями составляет не более 5 %.

3. На основании установленных закономерностей влияния САФ на безопасность дорожного движения в РФ и регрессионного анализа показателей аварийности, полученных в ходе исследования, разработан обобщённый критерий оценки влияния параметров функционирования САФ на безопасность дорожного движения, а также определены его численные значения на период до 2020 года. Предложены эмпирические зависимости для оценки эффективности применения систем автоматической фиксации нарушений ПДД:  $A_2 = \delta \cdot A_1 (C_1/C_2)^2$ ;  $R_2 = \delta \cdot R_1 (C_1/C_2)^3$ ;  $\Pi_2 = \delta \cdot \Pi_1 (C_1/C_2)^4$ . Данные зависимости имеют прикладной характер для оценки эффективности применения технических средств САФ органами МВД ГИБДД РФ и другими организациями.

4. Разработан алгоритм выбора структуры и обоснования параметров системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения, обеспечивающий оценку эффективности её функционирования по установленному критерию. С учётом разработанного алгоритма обеспечивается выбор наилучшего варианта САФ для реализации её целей и задач.

5. Разработана методика оценки эффективности функционирования системы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения, которая позволяет установить целесообразность использования различных технических средств системы автоматической фиксации нарушений ПДД, а также степень их влияния на показатели аварийности.

Полезный эффект от эксплуатации технических средств системы автоматической фиксации нарушений ПДД оценивается на основе критериального подхода и заключается прежде всего в социальной значимости указанных средств и может быть оценен уровнем снижения ДТП на аварийно-опасном участке дороги.

Реализация методики оценки эффективности системы автоматической фиксации нарушений ПДД на участке УДС в Санкт-Петербурге позволит снизить общие потери от ДТП на 1160 тыс. руб. в год при снижении количества дорожно-транспортных происшествий на 15,6 %.

#### **IV ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:**

**Научные статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных изданиях из перечня, размещённого на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии и приравненные к ним:**

1. **Марусин А. В.** Рациональное применение средств автоматической фиксации административных правонарушений // Успехи современной науки: Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8. Т. 4. С. 11-12.

2. **Марусин А. В.** К вопросу оценки эффективности применения средств автоматической фиксации правонарушений с целью повышения уровня БДД // Успехи современной науки: Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 10. Т. 2. С. 117-119.

3. **Marusin A.** Evaluation of Functional Efficiency of Automated Traffic Enforcement Systems / Mukhtar Kerimov, Ravil Safiullin, **Alexey Marusin**, Alexander Marusin // Organization and Traffic Safety Management in Large Cities SPbOTSIC-2016: 12th International Conference, St. Petersburg, Russia, 28-30 September 2016. С. 288-294.

4. **Марусин А. В.**, Сафиуллин Р. Н., Керимов М. А. Повышение эффективности системы фотовидеофиксации административных правонарушений в дорожном движении // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 233-237.

5. **Марусин А. В.**, Керимов М. А., Сафиуллин Р. Н., Черняев И. О. Методологические основы выбора средств автоматической фиксации нарушений ПДД // «Известия Тульского государственного университета» Всероссийская заочная научно-техническая конференция «Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта». Тула, 2015 г. Ч. 1 стр. 107-110.

6. **Марусин А. В.**, Керимов М. А., Сафиуллин Р. Н., Беликова Д. Д. Методологические основы эффективного функционирования систем автоматической фиксации нарушений ПДД с целью повышения безопасности дорожного движения // «Известия Тульского государственного университета» Всероссийская заочная научно-техническая конференция «Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта». Тула, 2015 г. Ч. 1 стр. 100-107.

7. **Марусин А. В.**, Ворожейкин И. В., Котиков Ю.Г. Обоснование выбора средств автоматической фиксации контроля нарушений правил дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. СПб.: СПбГАСУ, 2016. № 6 (59). С. 238-241.

**Публикации в других изданиях:**

8. **Марусин А. В.**, Керимов М. А., Сафиуллин Р. Н. Модель системы автоматизированной фотовидеофиксации правонарушений // Развитие теории и практики грузовых автомобильных перевозок, транспортной логистики: Междунар. науч.-практ. конф. к юбилею ФГБОУ ВПО «СибАДИ». 02-03 декабря 2015 г. Омск, 2015. С. 55-62.

9. **Марусин А. В.**, Керимов М. А., Сафиуллин Р. Н. О моделировании дорожно-транспортной аварийности при использовании технических средств контроля нарушений ПДД // PŘEDNÍ VĚDECKÉ NOVINKY 2015: XI Междунар. науч.-практ. конф. Прага, 22-30 августа 2015 г. Praha: Publishing House «Education and Science» s.r.o, 2015. С. 17-22.

10. **Марусин А. В.**, Керимов М. А., Сафиуллин Р. Н., Черняев И. О. Анализ эффективности применения систем автоматической фиксации нарушений ПДД // Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов III международной научно-практической конференции. Том I, 2015. 142 с. 2015 г. с.135-138.

11. **Марусин А. В.**, Глазков В. Ф., Сафиуллин Р. Н., Керимов М. А., Марусин А. В. К обоснованию модели выбора средств автоматической фиксации нарушений ПДД // Актуальные проблемы безопасности дорожного движения: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов. СПб, СПбГАСУ. 2015 г. стр. 166-169.

12. **Марусин А. В.**, Сафиуллин Р. Н., Марусин А. В., Карапетян А. А. Теоретические основы эффективного функционирования систем автоматической фиксации нарушений ПДД с целью повышения безопасности дорожного движения в РФ // Актуальные проблемы безопасности дорожного движения: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов. СПб, СПбГАСУ. 2015 г. стр. 104-110.

13. **Марусин А. В.**, Сафиуллин Р. Н. К вопросу повышения безопасности дорожного движения при использовании технических средств контроля нарушений ПДД // Актуальные проблемы безопасности дорожного движения: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов. в 3 ч.; СПбГАСУ. – СПб., 2015. – Ч. 2. – 222 с. Стр. 120-124.

14. **Марусин А. В.**, Керимов М. А., Сафиуллин Р. Н. Оценка влияния системообразующих факторов на дорожно-транспортную безопасность // Автотранспортное предприятие Издательство: НПП Транснавигация (Москва) 2015 г. № 10, стр. 34-36.

15. **Марусин А. В.**, Ворожейкин И. В. Сущность функционирования средств автоматической фотовидеофиксации контроля нарушений правил дорожного движения как фактор обеспечения безопасности дорожного движения // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж ФГБОУ ВО «ВГЛУ», 2016. №5 часть 3 (25-3). – С. 294-299.

16. **Марусин А. В.**, Керимов М. А., Сафиуллин Р. Н. Марусин А. В. Моделирование влияния различных факторов, определяющих функционирование систем контроля дорожного движения в регионах РФ // Актуальные вопросы транспорта в

современных условиях: сборник научных статей по материалам II Международной научно-практической конференции. – Саратов: Издательский дом «Райт-ЭКСПО», 2016. – С 187-190.

17. **Марусин А. В.**, Сафиуллин Р. Н. Марусин А. В. Модель создания и развития эффективной автоматизированной системы фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения в Российской Федерации // Актуальные вопросы транспорта в современных условиях: сборник научных статей по материалам II Международной научно-практической конференции. – Саратов: Издательский дом «Райт-ЭКСПО», 2016. – С 225-227.

18. **Марусин А. В.**, Сафиуллин Р. Н. Черняев И. О., Марусин А. В. Разработка методики оптимального выбора технических средств контроля ПДД с целью снижения аварийности в регионах РФ // Актуальные вопросы транспорта в современных условиях: сборник научных статей по материалам II Международной научно-практической конференции. – Саратов: Издательский дом «Райт-ЭКСПО», 2016. – С 228-233.