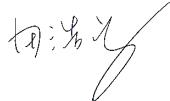


На правах рукописи

Тянь Хаотянь



**КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ
ТЕЛЕМАТИЧЕСКОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ
ДОСТАВКИ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ ТРАНСПОРТНЫМИ
СРЕДСТВАМИ**

***Специальность 2.9.8. Интеллектуальные транспортные
системы***

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2025

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Сафиуллин Равилл Нуруллович

Официальные оппоненты:

Макарова Ирина Викторовна

доктор технических наук, профессор, Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», кафедра сервиса транспортных систем, заведующий кафедрой;

Шаталова Наталья Викторовна

кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, лаборатория проблем организации транспортных систем, ведущий научный сотрудник.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России», г.Санкт-Петербург.

Защита диссертации состоится **25 июня 2025 г. в 13:30** на заседании диссертационного совета ГУ.12 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, **аудитория № 1171а**.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 25 апреля 2025.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета

ВАСИЛЬЕВА
Наталья Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Изменение качественных и количественных характеристик грузов в современных условиях, возрастание объемов и сложности перевозок опасных грузов (ОГ), иногда сопровождающими серьезными последствиями в аварийной ситуации требуют от организации перевозочного процесса транспортных средств максимальной эффективности и обеспечения безопасности их при минимальном времени на выполнение поставленных задач.

В связи с этим, исходя из существующих приоритетных направлений развития науки в области цифровых и информационно–телеинформационных технологий, определенных Указом Президента РФ № 529 от 18.06.2024 «Об утверждении приоритетных направлений научно–технологического развития и перечня важнейших научноемких технологий», «Европейским соглашением о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ)», национальным стандартом «Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте» и международный стандарт ISO «Структура совместных телематических приложений для регулируемых коммерческих грузовых транспортных средств (ТАИУС ДОГ ТС)», предопределена необходимость внедрения интегрированных интеллектуальных технологий в организацию и управление доставкой опасных грузов транспортными средствами на основе создания теоретических научно–обоснованных принципов построения подсистем ИТС на каждом уровне их функционирования.

Сложившаяся ситуация в сфере организации перевозок опасных грузов сопряжена со значительным возрастающим объемом выполняемых задач и риском опасности, что способствует созданию локальной телематической автоматизированной информационно–управляющей системы доставки опасных грузов транспортными средствами (ТАИУС ДОГ ТС) с учетом внедрения информационно–телеинформационных технологий, формирование которых только организационно–распорядительными методами без привлечения научного потенциала невозможно.

Построение системы требует научного анализа и поиска резервов повышения эффективности перевозок опасных грузов на

основе совершенствования системы управления мониторинга грузового транспорта посредством применения программно-аппаратных средств (ПАС). Однако, существующие системы управления не ведут официальную статистику о перевозке опасных грузов на государственном уровне, что осложняет анализ рисков и разработку превентивных мер, не в полной мере реализованы механизмы, обеспечивающие эффективную деятельность участников перевозки опасных грузов вследствие недостаточного использования современных инструментов, обеспечивающих мониторинг опасных грузов и отсутствие информационно-телекоммуникационной инфраструктуры, единой базы данных и элементов информационного взаимодействия участников перевозок, обеспечивающего высокоскоростную передачу, обработку и хранению информационных данных.

Степень разработанности темы исследования

По вопросу обеспечения эффективного управления транспортными системами, процессами и транспортными средствами с учётом применения автоматизированных, информационных и телематических технологий проведены обширные исследования отечественными и зарубежными учеными и специалистами, и рассматривались в работах: Жанказиева С.В., Малыгина В.И., Макаровой И.В., Гарагана С.А., Шаталовой Н.В., Сафиуллина Р.Р., Михеевой Т.И., Wang Xiaojing, Yang Xiaoguang, Ran Bin и др. Вопросы моделирования процесса перевозки грузов и управления процессом доставки опасных грузов отражены в работах: Зырянова В.В., Николаева Н.Н., Белого О.В., Королевой Л.А., Nikolai Holeczek, David Watling, GE Cantarella, Sun Jian, Qian Dalin, Shen Xiaoyan, Liu Hongli и др.

Несмотря на значительный объём теоретических и экспериментальных исследований, до настоящего времени нет научно-методического аппарата построения ТАИУС ДОГ ТС. Отсутствует обоснование конструктивных, схемных и программных решений по созданию программно-технических комплексов автоматизации и информатизации процесса доставки опасных грузов, отсутствует комплексная методика построения ТАИУС ДОГ ТС,

позволяющая уточнить структуру и порядок организации построения ТАИУС ДОГ ТС на основе оценки эффективности их применения.

Объектом исследования является система управления перевозочным процессом доставки опасных грузов транспортными средствами.

Предметом исследования являются управленческие и инфраструктурные решения по эффективному применению ПАС на основе разработанной комплексной методики построения ТАИУС ДОГ ТС.

Целью работы является повышение эффективности системы управления перевозочным процессом и обеспечения безопасности доставки опасных грузов в транспортно-логистических структурах за счет сформированной локальной телематической автоматизированной информационно-управляющей системы доставки опасных грузов транспортными средствами на основе частных методик и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений по ее построению.

Идея заключается в формировании научно-методического аппарата построения телематической автоматизированной информационно-управляющей системы доставки опасных грузов транспортными средствами с целью повышения эффективности и обеспечения безопасности доставки опасных грузов транспортными средствами.

Научная задача исследования заключается в разработке моделей, методик и алгоритмов для построения ТАИУС ДОГ ТС на основе применения ПАС, повышающих функциональные возможности системы управления перевозками опасных грузов транспортными средствами.

Задач исследований:

1. Провести анализ состояния вопроса исследования существующих теоретических, практических аспектов обеспечения процесса перевозки опасных грузов с учетом анализа наиболее значимых факторов, влияющих на этот процесс.

2. Сформировать математическую модель оценки влияния ТАИУС ДОГ ТС на безопасность и эффективность организации

перевозки опасных грузов, позволяющую объективно оценивать многокритериальную структуру требований к ПАС.

3. Разработать методику обоснования требований к программно-аппаратным средствам ТАИУС ДОГ ТС, позволяющую осуществить их рациональный выбор исходя из условий и специфики применения на дороге общего пользования.

4. Разработать методику оценки эффективности функционирования ТАИУС ДОГ ТС, удовлетворяющих требованиям по организации контроля перевозочного процесса опасных грузов.

5. Разработать комплексную методику построения ТАИУС ДОГ ТС, с целью определения ее структуры, порядка функционирования и организации её построения.

Научная новизна работы заключается в создании научно-обоснованного методического аппарата построения ТАИУС ДОГ ТС:

1. Установлены закономерности влияния параметров функционирования программно-технических средств ТАИУС ДОГ ТС на показатели безопасности и эффективности перевозочного процесса опасных грузов в условиях варьирования условий движения транспортных средств.

2. Предложена методика обоснования требований к программно-аппаратным средствам ТАИУС ДОГ ТС, позволяющая осуществить их рациональный выбор исходя из условий и специфики применения на дороге общего пользования, с учетом экспериментально установленного обобщенного критерия: степени идентификации состояния опасных грузов (P_i).

3. Разработана методика оценки эффективности функционирования ТАИУС ДОГ ТС, отличающаяся тем, что включает в себя модель и алгоритм оценки эффективности функционирования альтернативных вариантов систем управления контролем движения на дороге и рационального их выбора, защищённая свидетельствами программ для ЭВМ, которая заключается в научном обосновании использования новых технологических решений, удовлетворяющих требованиям по организации контроля перевозочного процесса опасных грузов, с учетом установленного критерия: коэффициента эффективности программно-аппаратных средств (δ_n).

4. Предложена комплексная методика построения ТАИУС ДОГ ТС, отличающаяся тем, что включает в себя модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений по уточнению структуры системы и порядка ее организации, защищённые патентами и свидетельствами программ для ЭВМ, с учетом фактических ограничений её использования в конкретных условиях движения транспортных средств с опасными грузами, повышающая эффективность перевозочного процесса опасных грузов.

Соответствие паспорту специальности. Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 2.9.8 «Интеллектуальные транспортные системы» по пунктам:

п.2. Разработка методов анализа и синтеза интеллектуальных транспортных систем, их архитектуры, алгоритмов создания, функционирования, диагностирования, восстановления работоспособности.

п.7. Теоретические основы и методы моделирования транспортных технологических процессов с целью автоматизированного поиска эффективных решений и интеллектуальных алгоритмов управления транспортными системами, объектами транспортной инфраструктуры, одиночными транспортными средствами.

п.10. Теоретические основы и прикладные методы анализа и повышения эффективности, надежности и безопасности функционирования интеллектуальных транспортных систем, их отдельных элементов на всех этапах жизненного цикла.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Обоснованы модели и методики построения программно-технического комплекса автоматизации перевозочного процесса, обеспечения безопасности и повышения эффективности доставки опасных грузов транспортными средствами на основе установленных закономерностей функционирования программно-технических средств ТАИУС ДОГ ТС в условиях варьирования условий движения транспортных средств.

2. Практическая значимость заключается в прикладном характере исследования, и возможности применения методик и алгоритмов построения предложенной ТАИУС ДОГ ТС для

совершенствования системы управления перевозочным процессом опасных грузов в транспортно-логистических структурах на региональных дорогах РФ. Использование технических решений, которые защищены патентами, позволяющие расширить функциональные возможности системы управления перевозочным процессом доставки опасных грузов транспортными средствами.

3. Результаты исследования, включая предложенные схемные технические решения, разработанные теоретические и практические рекомендации по организации локальной ТАИУС ДОГ ТС, были использованы в рамках деятельности МТУ Ространснадзора по СЗФО г. Санкт-Петербург, ООО «Сорож-Логистик» и ЧОУ ДПО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УКЦ АСМАП».

Методология и методы исследования. При решении поставленных задач использовались методы системного анализа, индукции и дедукции, математического и функционального моделирования, анкетного опроса, теории управления и принятия решений, математической статистики, наблюдения и измерения, эксперимента.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Установлены закономерности влияния факторов функционирования ТАИУС ДОГ ТС на показатели безопасности и эффективности перевозочного процесса опасных грузов в условиях варьирования условий движения транспортных средств, которые включают в себя наиболее значимые параметры, оказывающие наибольшее воздействие на эффективность опасных грузов, и представляют собой: оперативность управления, среднюю скорость движения транспортных средств и состояние опасных грузов.

2. Методика обоснования требований к программно-аппаратным средствам ТАИУС ДОГ ТС, которая включает в себя:

– алгоритм рационального выбора программно-аппаратных средств ТАИУС ДОГ ТС исходя из условий и специфики применения на дороге общего пользования;

– экспериментально установленный обобщенный критерий: степени идентификации состояния опасных грузов (P_i).

3. Методика оценки эффективности функционирования ТАИУС ДОГ ТС, которая включает в себя:

- модель и алгоритм оценки эффективности функционирования альтернативных вариантов систем управления контролем движения на дороге и рационального их выбора, удовлетворяющих требованиям по организации контроля перевозочного процесса опасных грузов;
- установленный коэффициент эффективности программно-аппаратных средств (δ_n).

4. Комплексная методика построения ТАИУС ДОГ ТС, которая включает в себя модели и алгоритмы поддержки принятия управлений решений по уточнению структуры системы и порядка ее организации, с учетом фактических ограничений её использования в конкретных условиях движения транспортных средств с опасными грузами.

Степень достоверности результатов исследования обеспечивается: корректностью постановки задач исследований; подтверждается непротиворечивостью ее результатов фундаментальным законам и результатам экспериментов.

Апробация результатов. Основные положения и результаты работы докладывались на следующих семинарах и конференциях: XVIII Международный форум–конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (май 2022, г. Санкт–Петербург); II международная конференция транспортная доступность Арктики: сети и системы (июнь 2022, г. Санкт–Петербург); XV Международная научно–практическая конференция «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (октябрь 2022, г. Санкт–Петербург); XIX Международный форум–конкурс студентов и Молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (май 2023, г. Санкт–Петербург); Международная научно–практическая конференция "Транспорт России: проблемы и перспективы – 2023" (ноябрь 2023, г. Санкт–Петербург); X Международная научно–практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте» (май 2024, г. Орёл); Международная научно–практическая конференция «Транспорт России: проблемы и перспективы–2024» (май 2024, г. Санкт–Петербург); Международная научно–практическая

конференция «Транспорт. Взгляд в будущее» (ноябрь 2024, г. Санкт–Петербург).

Личный вклад автора Автором выполнены теоретические и экспериментальные исследования, изложенные в диссертационной работе, в том числе сбор и обработка статистических данных, формирование методик, моделей и алгоритмов построения локальной телематической автоматизированной информационно-управляющей системы доставки опасных грузов транспортными средствами.

Публикации. Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 17 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получены 2 патента на изобретение.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка сокращений, списка литературы, включающего 210 наименований. Диссертация изложена на 139 страницах машинописного текста, содержит 56 рисунков и 15 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проводимых исследований. Сформулированы цель и задачи исследования, отражена научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе представлен анализ состояния и нормативно-регулирующих актов перевозочного процесса опасных грузов, рассмотрены характеристики и особенности факторов, влияющих на безопасность доставки и эффективность перевозочного процесса ОГ. Определены состояние и перспективы внедрения информационно-телематических технологий в организацию и управление доставкой опасных грузов транспортными средствами.

Во второй главе представлена разработка моделей и алгоритмов поддержки принятия решений для построения ТАИУС ДОГ ТС. Установлены закономерности влияния параметров функционирования ТАИУС ДОГ ТС на показатели безопасности и эффективности перевозочного процесса ОГ. Предложена методика

обоснования требований к программно-аппаратным средствам ТАИУС ДОГ ТС. Разработана методика оценки эффективности функционирования ТАИУС ДОГ ТС.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований по обоснованию требований к программно-аппаратным средствам ТАИУС ДОГ ТС.

В четвертой главе обоснована архитектура построения ТАИУС ДОГ ТС на основе внедрения информационно-телематических технологий и технико-экономическая оценка предлагаемых решений.

В заключении изложены основные выводы по результатам проведенных исследований.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Установлены закономерности влияния факторов функционирования ТАИУС ДОГ ТС на показатели безопасности и эффективности перевозочного процесса опасных грузов в условиях варьирования условий движения транспортных средств, которые включают в себя наиболее значимые параметры, оказывающие наибольшее воздействие на эффективность опасных грузов, и представляют собой: оперативность управления, среднюю скорость движения транспортных средств и состояние опасных грузов.

В связи с тем, что аварии с опасными грузами часто приводят к серьезному социальному-экономическому и экологическому ущербу необходим строгий контроль за процессом доставки опасных грузов транспортными средствами. Для этого был проведен анализ нормативно-правовых актов регулирующих перевозку опасных грузов и определена модель процесса управления организацией перевозки опасных грузов (рисунок 1).

Сформирована структурная модель построения ТАИУС ДОГ ТС и определено её понятие - это комплекс аппаратно-технических и программно-информационных средств, обеспечивающих оперативный сбор и передачу по беспроводной связи в режиме реального времени информационных данных с устройств, размещенных на транспортных средствах и инфраструктуре, о

местоположении, движении и состоянии перевозимых опасных грузов, скорости и техническом состоянии транспортных средств и дорожных условиях на маршруте и т.д.

На основе системно-целевого подхода перевозочного процесса опасных грузов была разработана модель оптимизации функциональных возможностей ТАИУС ДОГ ТС (рисунок 2), исходя из этого определены оптимизационные задачи (формула 1, 2):

$$W = (y_1 y'_1 + y_2 y'_2 + \dots + y_n y'_n), \quad (1)$$

где W – общая задача функционирования ТАИУС ДОГ ТС; y_n – выполнение n -ой функции функционирования ТАИУС ДОГ ТС.

$$W_i = \sum P_n(T_n), T_n \rightarrow \min, \quad (2)$$

где W_i – оптимизационная задача ТАИУС ДОГ ТС; P_n – n -ая функциональная задача ТАИУС ДОГ ТС; T_n – оперативность выполнения n -й функции системы.

На основе моделирования функциональных возможностей ТАИУС ДОГ ТС (рисунок 3) был разработан рациональный состав подсистем по формуле 3.

$$W_i = \begin{cases} x_1 \cdot T_{x_1} + x_2 \cdot T_{x_2} + x_3 \cdot T_{x_3} + \dots + x_n \cdot T_{x_n} \\ y_1 \cdot T_{y_1} + y_2 \cdot T_{y_2} + y_3 \cdot T_{y_3} + \dots + y_n \cdot T_{y_n}, \\ z_1 \cdot T_{z_1} + z_2 \cdot T_{z_2} + z_3 \cdot T_{z_3} + \dots + z_n \cdot T_{z_n}, \\ d_1 \cdot T_{d_1} + d_2 \cdot T_{d_2} + d_3 \cdot T_{d_3} + \dots + d_n \cdot T_{d_n} \end{cases}, \quad (3)$$

где x_n, y_n, z_n, d_n - функции подсистем документального контроля ОГ, мониторинга ОГ, информирования ОГ, экстренного реагирования ОГ, $T_{x_n}, T_{y_n}, T_{z_n}, T_{d_n}$ – время выполнения соответствующих функций.

В связи с отсутствием методов анализа влияния различных факторов на функционирование ТАИУС ДОГ ТС, которые не имеют аналогов построения и не исследованы в полной мере, возникает необходимость в установлении закономерности их влияния на организацию перевозочного процесса доставки опасных грузов. Было проведено математическое моделирование влияния ТАИУС ДОГ ТС на транспортно-эксплуатационный показатель (ТЭП) дороги Y_1 - пропускную способность дороги (автомобилей в час) и показатель безопасности (Y_2 - число аварий и инцидентов с опасными грузами (раз/10 000 км). Оценивались следующие факторы: x_1 - объем груза (количество); x_2 - протяженность маршрута (км); x_3 - количество

транспортных средств, перевозящих опасные грузы; x_4 - количество ПАС; x_5 - степень автоматизации транспортных средств; x_6 - средняя скорость ТС (км/ч); x_7 - оперативность управления (время, затрачиваемое на проведение мероприятий по управлению, минуты); x_8 - состояние опасных грузов; x_9 - эксплуатационные характеристики ТС; x_{10} - количество ДТП (раз/год). Регрессионный анализ проводился посредством построения регрессионной модели с помощью языка программирования Python, с применением библиотек «import numpy as np», «import pandas as pd», «import statsmodels.api as sm». В результате были получены математические модели оценки влияния ТАИУС ДОГ ТС на безопасность и эффективность организации перевозки опасных грузов (формулы 4, 5):

$$Y_1 = 1520.34 - 0.48x_1 + 0.82x_4 + 2.45x_5 + 3.1x_6 - 4.12x_7 - 1.25x_9 - 1.48x_{10}, \quad (4)$$

$$Y_2 = 2.15 + 0.021x_1 + 0.032x_3 - 0.12x_4 - 0.06x_5 - 0.09x_6 + 0.16x_7 + 0.22x_8 - 0.28x_9 + 0.31x_{10}, \quad (5)$$

Результаты регрессионного статистического анализа, подтвержденные коэффициентом Кендалла и критерием Пирсона и имеют высокую согласованность. Выявлены наиболее значимые параметры, оказывающие наибольшее воздействие на безопасность и эффективность перевозки опасных грузов: оперативность управления движением ТС, средняя скорость ТС, состояние опасных грузов.

2. Методика обоснования требований к программно–аппаратным средствам ТАИУС ДОГ ТС, которая включает в себя: алгоритм рационального выбора программно–аппаратных средств ТАИУС ДОГ ТС исходя из условий и специфики применения на дороге общего пользования; экспериментально установленный обобщенный критерий: степени идентификации состояния опасных грузов (P_i).

Разработана архитектура показателей для рационального выбора ПАС с учетом экспериментально установленного обобщенного критерия - степени идентификации состояния опасных грузов (P_i), на основе которого был разработан алгоритм (метод Парето), устанавливающий последовательность определения оптимальных значений характеристик ПАС (рисунок 4) (свидетельство на ПЭВМ №2021614874 от 31.03.2021г: Методика

обоснования потребности технических средств автоматизированного контроля транспортных средств на автомобильных дорогах). Определена степень идентификации состояния опасных грузов по формуле 6 с учетом вероятностей эффективности решения k -й задачи идентификации за промежуток времени, в соответствии с требуемой (P_k^*) и вероятностью полученного решения оценки (P_k):

$$P_i = P_k^* - P_k, \text{ если } P_k^* \geq P_k; P_i = 0, \text{ если } P_k^* < P_k, \quad (6)$$

Общая оценка степени идентификации состояния опасных грузов определяется по зависимости 7:

$$P_i = \frac{1}{\sum_{k=1}^N q_k}, \text{ если } \sum_{k=1}^N q_k \neq 0, \quad (7)$$

где N – общее количество задачи идентификации; q_k - вероятность решения k -й задачи идентификации.

Итоговая оценка эффективности ПАС определяется по частным показателям с учетом весов частных факторов (формула 8):

$$R(g) = \sum_{i=1}^n B_i * n_i, \quad (8)$$

где $R(g)$ - итоговая оценка реализуемости в баллах; B_i - оценка i -го фактора реализуемости; n_i - вес i -го фактора.

Экспериментальное исследование по оценке влияния факторов на эффективность функционирования ПАС в перевозочном процессе опасных грузов транспортными средствами контроля с использованием QR-кодов было проведены на базе созданного на кафедре автоматизированного комплекса ОМТС-Q1 и программного обеспечения DesignExpert на основе метода поверхности отклика. На 95% доверительном уровне было получено значение F-критерия, равное 17,32, свидетельствует о значимости модели. Получена экспериментально установленная зависимость определения степени идентификации состояния опасных грузов (формула 9):

$$\begin{aligned} Y = & 107.445 + 0.180304A + 1.93546B - 1.02543C + 1.54444D + \\ & 0.00871AB + 0.000089AC + 0.0142857AD - 0.0015625BC + \\ & 0.25BD - 0.03125 CD - 0.00182247A^2 - 0.0543252B^2 + \\ & 0.0100292C^2 - 7.02805D^2, \end{aligned} \quad (9)$$

где Y – степень идентификации QR-кода, A – расстояние считывания, B – размер кода, C – кодированные символы, D – скорость движения.

Установлена последовательность влияния различных факторов на степень идентификации QR-кода (рисунок 5): скорость

движения > расстояние считывания > размер QR-кода > количество символов. Основные факторы (расстояние считывания и скорость движения) оказывают значительное влияние на ответ ($P < 0,05$). Определены оптимальные параметры считывания техническими средствами контроля: расстояние считывания – 141,45 мм, размер кода – 34,58 мм, объем закодированных символов – 100 байт, скорость движения – 2,98 м/мин. При этом значении параметров среднее значение читаемости QR-кода составило 95%.

3. Методика оценки эффективности функционирования ТАИУС ДОГ ТС, которая включает в себя: модель и алгоритм оценки эффективности функционирования альтернативных вариантов систем управления контролем движения на дороге и рационального их выбора, удовлетворяющих требованиям по организации контроля перевозочного процесса опасных грузов; установленный коэффициент эффективности программно-аппаратных средств (δ_n).

Сформирована модель жизненного цикла ПАС (рисунок 6), с учетом определения уровней перехода в стадии стагнации, при которой дальнейшее их использование нецелесообразно. В связи с этим, определены зависимости оценки эффективности функционирования ТАИУС ДОГ ТС в процессе его эксплуатации.

$W(T_n) = \delta_1 T_1 + \Delta\delta_1(T_1 + \Delta T_1) + \dots + \Delta\delta_{n-1}(T_1 + \Delta T_2 + \dots + \Delta T_{n-1}),$ (10)
где $W(T_n)$ – показатель эффективности ТАИУС ДОГ ТС;
 $\delta_1, \delta_2, \delta_3 \dots \delta_n$ - коэффициент эффективности ПАС (учитывающий влияние ПАС на ТЭП дороги и работы ТС); $\Delta\delta$ – изменение коэффициента эффективности ПАС.

Установлено, что эффективность ТАИУС ДОГ ТС зависит от времени и функциональных возможностей ПАС. В связи с этим предложена методика оценки эффективности функционирования ТАИУС ДОГ ТС, представляющая из себя алгоритмы определения и расчета критериев оценки программно-аппаратных средств ТАИУС ДОГ ТС (рисунок 7), которые защищены свидетельствами государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа оценки эффективности функционирования телематической автоматизированной системы контролем движения транспортных средств на автомобильной дороге» (Св-во №2022610886 от

17.01.2022г.) и «Программа расчета транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог при применении телематических автоматизированных систем управления контролем движения транспортных средств» (Св-во №2022666496 от 05.09.2022г.).

4. Комплексная методика построения ТАИУС ДОГ ТС, которая включает в себя модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений по уточнению структуры системы и порядка ее организации, с учетом фактических ограничений её использования в конкретных условиях движения транспортных средств с опасными грузами.

Сформирована архитектура построения ТАИУС ДОГ ТС (рисунок 8), позволит обеспечить эффективное управление перевозочным процессом ОГ за счет оперативной передачи информации между основными элементами системы: управление периферийными техническими средствами, размещенными на дороге и базами данных в центре обработки информации. Для построения аппаратно-технического обеспечения ТАИУС ДОГ ТС была определена структура БИУС, элементы которого разработаны и защищены патентами №2786297 от 19.12.2022г. и №2792386 от 21.03.2023г. На основании проведенного исследования определена последовательность организации построения ТАИУС ДОГ ТС (рисунок 9) и установлен характер воздействия ТАИУС ДОГ ТС на ТЭП показатели автомобильной дороги общего пользования на величину коэффициента δ_p , учитывая это влияние, который показывает повышение пропускной способности дороги общего пользования на 20% и средней скорости движения на 14%.

При проведении технико-экономической оценки предлагаемых решений было установлено, что внедрение ТАИУС ДОГ ТС позволит снизить среднее время доставки ОГ на 20%. Экономическая эффективность внедрения ТАИУС ДОГ ТС определена параметрами снижения социально-экономических потерь и экологического ущерба, а также сокращением заторов и пробега за счет оптимизации маршрутов, снижения расхода топлива и выбросов углекислого газа. Расчет эффективности ТАИУС ДОГ ТС (формула 11):

$$E = \frac{\Pi_c}{Z_c}, \quad (11)$$

где Π_c – полезный эффект ТАИУС ДОГ ТС за нормативный срок его службы (за 5 лет составит около 700 млн рублей); Z_c – совокупные затраты за жизненный цикл ТАИУС ДОГ ТС, руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов проведенных исследований изложены научно обоснованные методический подход и технические решения по формированию ТАИУС ДОГ ТС с расширенными функциональными возможностями для поддержки принятия рациональных управленческих решений при организации перевозок ОГ. Реализация результатов исследований вносит существенный вклад в совершенствование системы управления перевозочным процессом опасных грузов в транспортно-логистических структурах, обеспечение безопасности и повышение эффективности доставки ОГ транспортными средствами.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. Проанализировано состояние вопроса исследования, существующие теоретические и практические аспекты обеспечения перевозочного процесса опасных грузов, а также характеристики и особенности факторов, влияющих на перевозку опасных грузов на автомобильных дорогах. Результаты анализа свидетельствует о необходимости создания ТАИУС ДОГ ТС.

2. Сформированы математические модели оценки влияния ТАИУС ДОГ ТС на показатели безопасности и эффективности перевозочного процесса опасных грузов в условиях варьирования условий движения транспортных средств и определены основные влияющие факторы, что позволяет объективно оценивать многокритериальную структуру требований к ПАС.

3. Предложена методика обоснования требований к программно-аппаратным средствам ТАИУС ДОГ ТС, позволяющая осуществить их рациональный выбор исходя из условий и специфики применения на дороге общего пользования, с учетом экспериментально установленного обобщенного критерия: степени идентификации состояния опасных грузов (P_i).

4. Разработана методика оценки эффективности функционирования ТАИУС ДОГ ТС, отличающуюся тем, что

включают в себя модель и алгоритм оценки эффективности функционирования альтернативных вариантов систем управления контролем движения на дороге и рационального их выбора, защищённые свидетельствами программ для ЭВМ, которая заключается в научном обосновании использования новых технологических решений, удовлетворяющих требованиям по организации контроля перевозочного процесса опасных грузов, с учетом установленного критерия: коэффициента эффективности программно-аппаратных средств (δ_n).

5. Предложена комплексная методика построения ТАИУС ДОГ ТС, отличающаяся тем, что включает в себя модели и алгоритмы поддержки принятия управленийских решений по уточнению структуры системы и порядка ее организации, защищённые патентами и свидетельствами программ для ЭВМ, с учетом фактических ограничений её использования в конкретных условиях движения транспортных средств с опасными грузами, повышающая эффективность перевозочного процесса опасных грузов.

6. Установлено, что внедрение ТАИУС ДОГ ТС приведет к улучшению ТЭП АД: пропускная способность автомобильной дороги увеличилась на 20%, средняя скорость движения транспорта на 14%, что позволяет повысить основные показатели эффективности перевозочного процесса доставки опасных грузов: среднее время доставки опасных груза снижается на 20%, средняя скорость транспортного средства повышается на 16 %. Определение экономического эффекта от применения предлагаемых решений основано на снижения экономических, социальных и экологических ущербов, вызванных опасными грузами.

7. Перспективным направлением развития темы исследования является разработка моделей, методик и алгоритмов реализации интегрированных интеллектуальных технологий в организацию и управление доставкой опасных грузов транспортными средствами.

Таким образом, **научная задача**, заключающаяся в разработке моделей, методик и алгоритмов для построения ТАИУС ДОГ ТС с учетом применения ПАС, повышающих функциональные возможности системы управления перевозками опасных грузов транспортными средствами, **выполнена, цель работы,**

заключающаяся в совершенствовании системы управления перевозочным процессом доставки опасных грузов в транспортно-логистических структурах на основе разработанных моделей, методик и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений по формированию ТАИУС ДОГ ТС, достигнута.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Сафиуллин, Р.Н. Адаптивно-управляемый подход к формированию автоматизированной информационно-управляющей системы перевозки опасных грузов транспортными средствами / Р. Н. Сафиуллин, **Х. Тянь**, Р. Р. Сафиуллин // Вестник НЦБЖД. – 2024. – № 2(60). – С. 156-163.
2. Сафиуллин, Р.Н. Метод построения комплексной автоматизированной системы документального контроля перевозки опасных грузов транспортными средствами / Р. Н. Сафиуллин, Р. Р. Сафиуллин, **Х. Тянь**, А. М. Комиссарова // Вестник НЦБЖД. – 2024. – № 4(62). – С. 141–150.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus:

3. Safiullin, R. Method of Effective Implementation of Intelligent Hardware Complexes in the Management of Passenger Transportation Processes within Urban Agglomerations / R. Safiullin, **H. Tian** // Open Transportation Journal. – 2024. – Vol. 18, No. 1. – DOI 10.2174/0126671212272101231128060918.
4. **Tian, H.** Integral Evaluation of Implementation Efficiency of Automated Hardware Complex for Vehicle Traffic Control / **H. Tian**, R. N. Safiullin, R. R. Safiullin // International Journal of Engineering. – 2024. – Vol. 37, No. 8. – P. 1534-1546. – DOI 10.5829/ije.2024.37.08b.07.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

5. Патент № 2786297 Российская Федерация, МПК G01M 15/04. Автоматизированная система функциональной диагностики двигателя внутреннего сгорания. Заявка № 2022107951 : заявл. 25.03.2022 : опубл. 19.12.2022 / Р.Н. Сафиуллин, А.С. Афанасьев, Р.Р. Сафиуллин, **Х. Тянь**, Д.С. Коновалов; заявитель Федеральное

государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт–Петербургский горный университет".

6. Патент № 2792386 Российской Федерации, МПК G01M 15/05. Автоматизированная система удаленной диагностики технического состояния транспортных средств на основе матричного QR-кода. Заявка № 2023101363: заявл. 24.01.2023: опубл. 21.03.2023 / Р.Н. Сафиуллин, Р.Р. Сафиуллин, А.А. Унгефук, **Х. Тянь**, К.В. Сорокин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт–Петербургский горный университет".

Основные публикации в прочих изданиях:

7. Safiullin, R. N., Belikova, D.D., **Tian, H.** System–target logistic approach to the formation of integrated automated control systems for weight control of vehicles. AIP Conf. Proc. 16 May 2023; 2476 (1): 030039. <https://doi.org/10.1063/5.0105105>.

8. Marusin A, **Tian H**, Safiullin R., Marusin A. Integral Evaluation of the Effectiveness of the Implementation of Automated Technical Means of Controlling the Movement of Vehicles on the Road //2022 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH). – IEEE, 2022. – С. 1-4. doi: 10.1109/EMCTECH55220.2022.9934048.

9. Сафиуллин, Р.Н. Адаптивно-управляемый подход формирования и оценки автоматизированных систем оперативного управления движением транспортных средств / Р. Н. Сафиуллин, Р. Р. Сафиуллин, А. В. Марусин, **Х. Тянь** // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3-5(78). – С. 104-111. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-5(78)-3-104-111.

10. **Тянь, Х.** Методика построения физической архитектуры автоматизированной системы управления перевозками опасных грузов транспортными средствами / **Х. Тянь**, Р. Н. Сафиуллин, Р. Р. Сафиуллин // Транспорт России: проблемы и перспективы - 2022 : Материалы Международной научно–практической конференции, Санкт-Петербург, 09–10 ноября 2022 года / ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук. Том 1. – Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2022. – С. 271-275.



Рисунок 1 – Модель процесса управления организацией перевозки опасных грузов

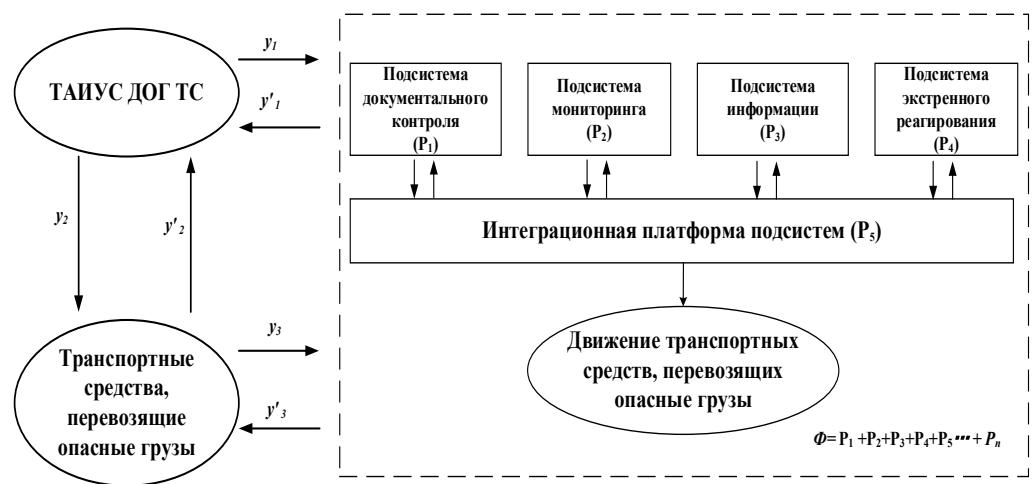


Рисунок 2 – Модель оптимизации функциональных возможностей ТАИУС ДОГ ТС



Рисунок 3 – Моделирование функциональных возможностей подсистем ТАИУС ДОГ ТС

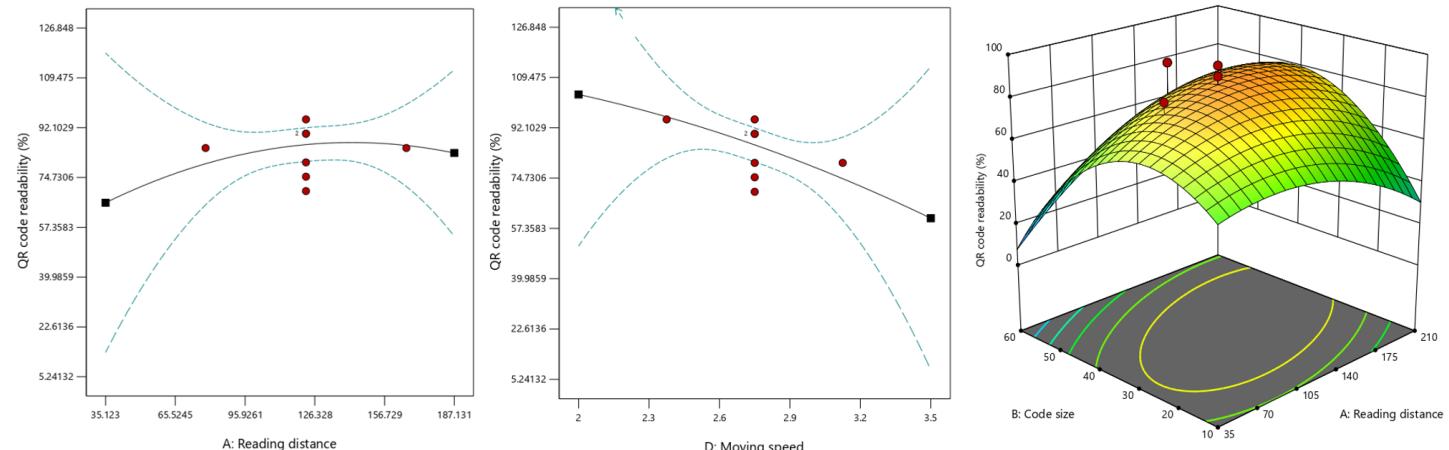
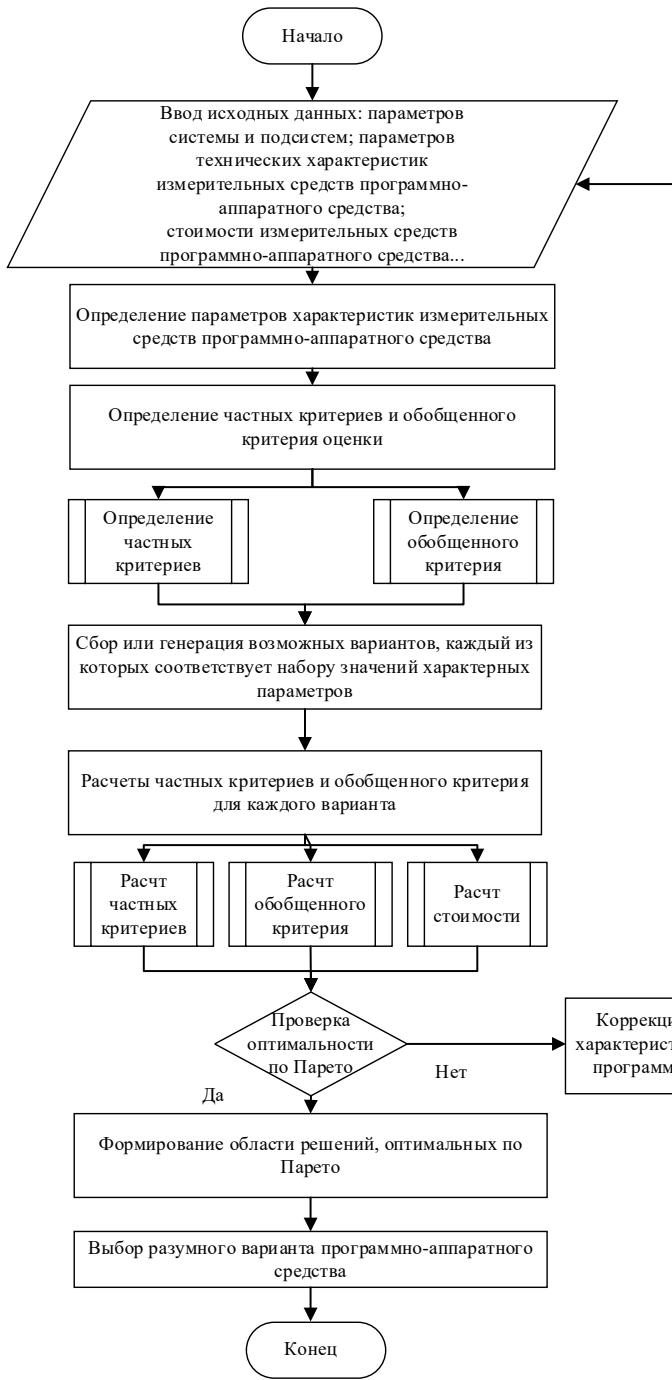


Рисунок 5 - Взаимосвязь между значимыми факторами и степенью идентификации: а – зависимость расстояния считывания и степени идентификации; б – зависимость скорости перемещения и степени идентификации; в – поверхность отклика, зависящая от расстояния считывания, размера кода и степени идентификации QR-кода

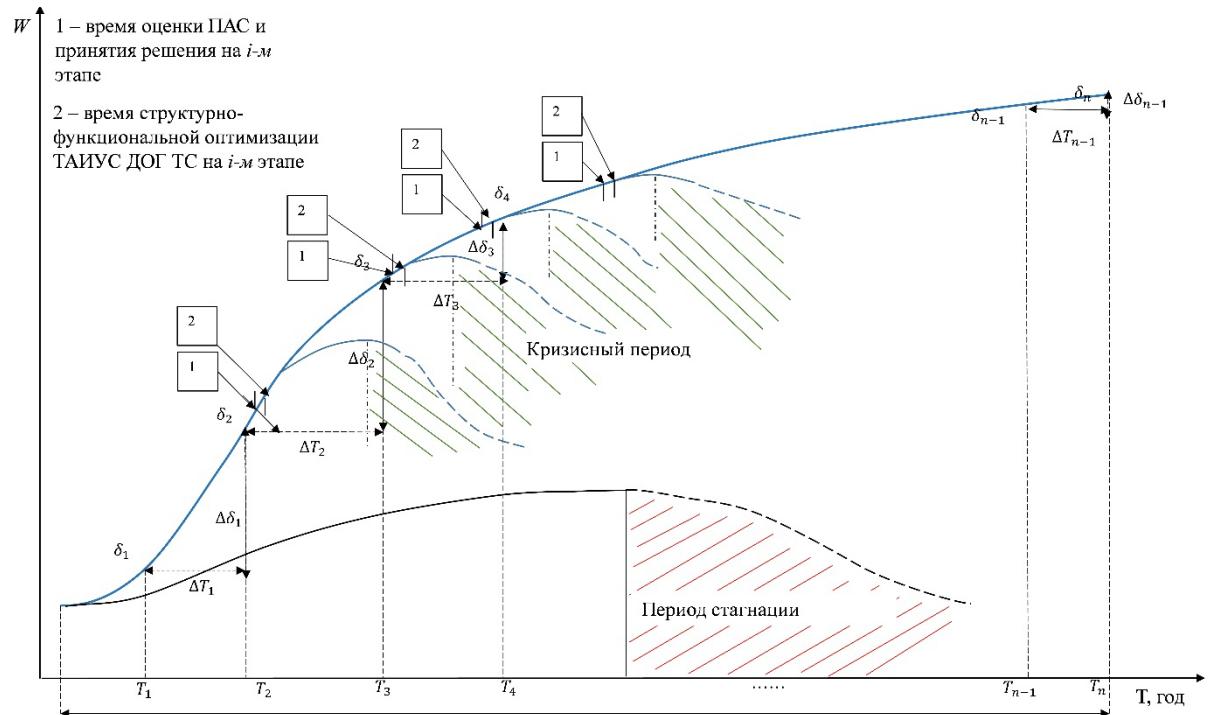


Рисунок 4 - Последовательность определения оптимальных значений
характеристик ПАС

Рисунок 6 - Модель жизненного цикла ПАС

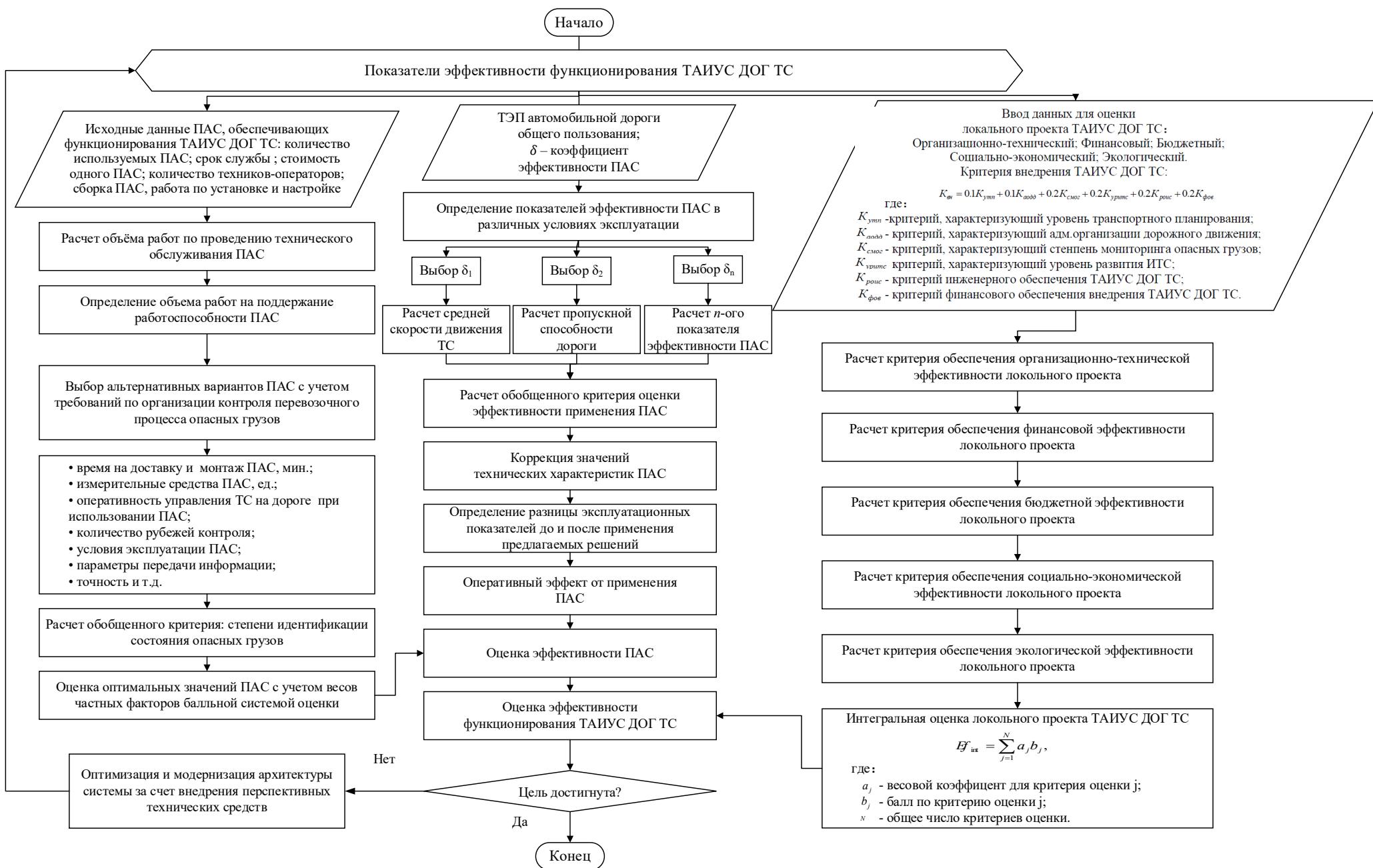


Рисунок 7 - Алгоритм оценки эффективности функционирования ТАИУС ДОГ ТС

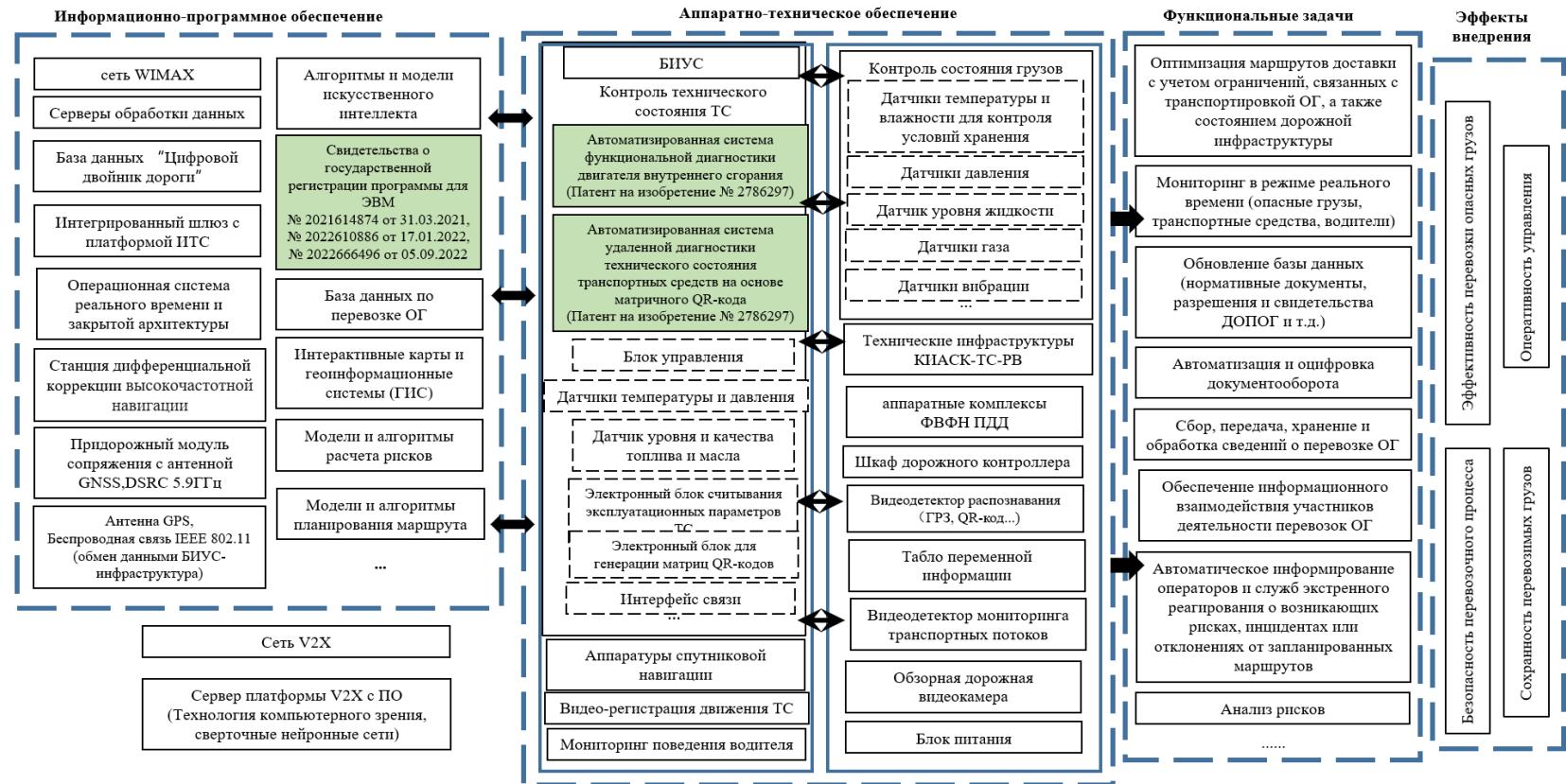


Рисунок 8 - Архитектура построения ТАИУС ДОГ ТС

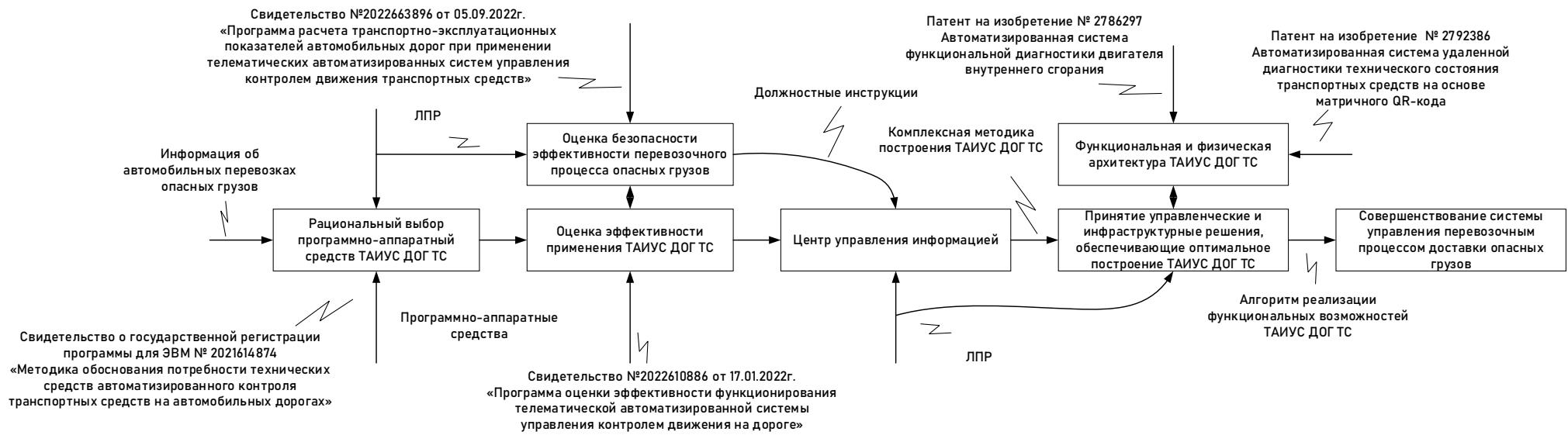


Рисунок 9 – Модель построения ТАИУС ДОГ ТС