

На правах рукописи



СЕМКИН АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ В  
ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ НА ОСНОВЕ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Специальность 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Орел – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева».

Научный руководитель -

**Новиков Александр Николаевич**  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

**Шевцова Анастасия Геннадьевна**  
доктор технических наук, доцент, директор  
института дополнительного образования  
ФГБОУ ВО «Белгородский  
государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова»

**Булатова Ольга Юрьевна**

кандидат технических наук, доцент, доцент  
кафедры «Организация перевозок и  
дорожного движения» ФГБОУ ВО  
«Донской государственный технический  
университет»

Ведущая организация -

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Воронежский  
государственный лесотехнический  
университет имени Г.Ф. Морозова»

Защита диссертации состоится «18» декабря 2024 г. в 11:00 час. на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.138.02 на базе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» по адресу: 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77, ауд. 426.

С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>) и в фундаментальной библиотеке по адресу: 302028, г. Орел, пл. Каменская, д. 1.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г. Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>) и на официальном сайте Министерства науки и высшего образования Российской Федерации ([www.vak.minobrnauki.gov.ru](http://www.vak.minobrnauki.gov.ru)).

*Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, в двух экземплярах направлять в диссертационный совет 99.2.138.02 по адресу: 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77, тел.: + 79208120727, e-mail: maxim.ka@mail.ru*

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
канд. техн. наук, доцент

Кулев М.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Транспортный комплекс является одним из основополагающих элементов народного хозяйства, обеспечивающий устойчивое развитие и стабильность страны. Для повышения эффективности его функционирования необходимо проведение ряда мероприятий, направленных на внедрение современных методов, технологий и подходов организации, моделирования и управления транспортными системами, процессами и транспортными средствами.

Решение поставленных задач достигается широким развитием интеллектуальных транспортных систем (ИТС) на всей территории Российской Федерации.

Практический этап внедрения ИТС в нашей стране вскрыл пласт проблем. Так, в частности, выявился низкий уровень разработки теоретических основ, методов и алгоритмов управления транспортной инфраструктурой городских агломераций (ГА) при помощи ИТС.

Всё это приводит к необходимости формирования базовых принципов построения физической и функциональной архитектуры различных подсистем ИТС и рассмотрения их не только как совокупности различного программного обеспечения (ПО), объединенного единой интеграционной платформой (ИП), а как гармонизированной экосистемы управления транспортными системами муниципальных образований РФ, объединенных в единую национальную ИТС.

**Степень разработанности темы.** Вопросам реализации ИТС в различных сферах транспортной инфраструктуры посвящены труды многих отечественных (К.А. Бодягин, С.А. Гараган, С.В. Жанказиев, В.М. Власов, В.В. Зырянов, В.В. Комаров, П.В. Куренков, И.Н. Маркелов, П.В. Метёлкин, А.Н. Новиков, Ю.Н. Ризаева, В.А. Персианов, А.Д. Пивоваров, И.Н. Пугачёв, В. Ю. Савченко-Бельский, И.В. Спирин, М.П. Улицкий, Л.С. Фёдоров, М.В. Хрущёв, А.Г. Шевцова) и зарубежных (Берножу П., Старри К., Пржибел П, Свитек М., Уильямс Б, Фрэнки С., Хатояма К.) ученых и исследователей.

Результатами работ, приведенных выше учёных, являлись разработки теоретических основ функционирования ИТС в отдельных видах транспортных систем. Работы приведенных авторов можно разделить по двум направлениям:

– рассматриваются вопросы совершенствования управления и функционирования транспортных систем за счёт внедрения ИТС, в которых особое внимание уделялось организации дорожного движения, а также управлению пассажирскими и грузовыми перевозками;

– рассматриваются организационно-экономические аспекты внедрения и эксплуатации ИТС.

Однако, в трудах этих учёных недостаточное внимание уделено развитию теоретических основ, методов и алгоритмов интеллектуализации решения прикладных задач управления транспортными системами, процессами и транспортными средствами.

**Цель** настоящей работы – разработка алгоритмов управления процессами перевозки пассажиров в городских агломерациях на основе интеллектуальных

транспортных систем. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Провести анализ тенденций совершенствования управления процессами перевозки пассажиров в городских агломерациях, а также современного опыта создания и развития ИТС.

2. Научно обосновать алгоритмы управления процессами перевозки пассажиров на основе ИТС, позволяющие решать прикладные задачи определения значений составляющих элементов маршрутного расписания городского пассажирского транспорта общего пользования (ГПТОП).

3. Провести экспериментальные исследования по установлению взаимозависимости фактического времени прохождения перегона улично-дорожной сети (УДС) подвижным составом (ПС) ГПТОП от средней скорости движения транспортного потока, фактических значений времени интервала движения ПС ГПТОП и времени посещения геозон, определенного глобальной навигационной спутниковой системой (ГНСС), а также параметров точности и качества технологий искусственного интеллекта (ИИ), применяемых для мониторинга и определения фактических значений времени прохождения ПС ГПТОП перегона УДС и интервала их движения.

4. Разработать программное обеспечение для управления процессами перевозки пассажиров в городских агломерациях.

5. Определить эффективность применения разработанных алгоритмов управления процессами перевозки пассажиров в городских агломерациях.

**Объект исследования** – интеллектуальные транспортные системы городских агломераций.

**Предмет исследования** – взаимосвязи подсистем ИТС, способствующих совершенствованию управления процессами перевозки пассажиров в условиях городских агломераций.

**Рабочая гипотеза** – процессы перевозки пассажиров необходимо рассматривать как элемент ИТС, на который оказывают влияние различные факторы, приводящие к вариативности параметров маршрутного расписания, что требует проведения мероприятий по обеспечению стабильного функционирования ГПТОП, выполняемых посредством ситуационного управления в штатном и нештатном режимах.

**Научная новизна** исследования:

– Научно обоснованы алгоритмы управления процессами перевозки пассажиров, которые на основе параметров состояния транспортного потока, данных ГНСС и применения технологий ИИ позволяют определять фактические значения времени прохождения ПС ГПТОП перегона маршрута, интервала движения ПС, и на их основе формировать время обратного рейса ПС ГПТОП.

– Впервые экспериментально установлены взаимозависимости фактического времени прохождения перегона УДС ПС ГПТОП от средней скорости движения транспортного потока, фактических значений времени интервала движения ПС ГПТОП и времени посещения геозон, определенного ГНСС, а также параметров точности и качества технологий ИИ, применяемых для

мониторинга и определения фактических значений времени прохождения ПС ГПТОП перегона УДС и интервала их движения.

**Теоретическая значимость** заключается в научном обосновании алгоритмов управления процессами перевозки пассажиров, установлении взаимозависимости фактического времени прохождения перегона УДС ПС ГПТОП от средней скорости движения транспортного потока, фактических значений времени интервала движения ПС ГПТОП и времени посещения геозон, определенного ГНСС, а также параметров точности и качества технологий ИИ, применяемых для мониторинга и определения фактических значений времени прохождения ПС ГПТОП перегона УДС и интервала их движения.

**Практическая значимость** заключается в разработке ПО и технических устройств для управления процессами перевозки пассажиров ГПТОП на основе реализации ситуационного управления в штатном и нештатном режимах.

Результаты исследования носят прикладной характер и нашли своё применение в процессе реализации Локальных проектов ИТС городских агломераций в различных регионах нашей страны. Так, в частности, результаты исследования внедрены ЗАО «Единая национальная диспетчерская система» (ЗАО «ЕНДС») в качестве алгоритмов мониторинга ГПТОП в городах Вологда и Орел, а также МКУ «Объединенный муниципальный заказчик г. Орла» при реализации ИТС Орловской городской агломерации (ОГА).

Результаты исследования внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» при подготовке студентов по направлению подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии» (направленность (профиль) «Интеллектуальные и информационные системы на транспорте») и специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» (специализация «Автомобильная техника в транспортных технологиях»), а также в учебный процесс Ассоциации по развитию цифровых технологий транспорта «Цифровая Эра Транспорта» при обучении по программе повышения квалификации «Внедрение интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях. Базовый курс».

**Методология и методы исследования.** Исследование проведено посредством разработки новых положений, сформированных на основе научной аргументации предложений научно-исследовательских трудов ряда отечественных и зарубежных исследователей в области ИТС, а также компиляции достижений предприятий реального сектора экономики.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Алгоритм управления процессами перевозки пассажиров на основе параметров состояния транспортного потока.
2. Алгоритм управления процессами перевозки пассажиров на основании данных глобальной навигационной спутниковой системы.
3. Алгоритм управления процессами перевозки пассажиров на основе применения технологий искусственного интеллекта.
4. Результаты экспериментальных исследований по установлению взаимозависимости фактического времени прохождения перегона УДС ПС ГПТОП от средней скорости движения транспортного потока, фактических

значений времени интервала движения ПС ГПТОП и времени посещения геозон, определенного ГНСС, а также параметров точности и качества технологий ИИ, применяемых для мониторинга и определения фактических значений времени прохождения ПС ГПТОП перегона УДС и интервала их движения.

5. Программное обеспечение для управления процессами перевозки пассажиров в условиях городских агломераций.

6. Эффективность применения алгоритмов управления процессами перевозки пассажиров.

#### **Степень достоверности.**

Принятые в диссертационной работе методология и методы исследования обеспечивают обоснованность и достоверность положений, выносимых на защиту, которые также подтверждаются широкой апробацией на международных научно-технических конференциях и выставках-форумах, и результатами внедрения в Локальные проекты ИТС городских агломераций в различных регионах нашей страны.

**Апробация результатов.** Результаты исследования представлены на международной научно-технической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орел, ОГУ имени И.С. Тургенева, 2015-2024 гг.), выставках-форумах «ИТС России» (Москва, 2021-2024 гг.), выставках-форумах «ИТС регионы» (2020-2024 гг.), VII Международной научно-технической конференции «Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2015)» (Курск, 2015г.) и научно-технической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» (Воронеж, 2015г.).

**Реализация результатов работы.** Теоретические, научно-методические, прикладные и экспериментальные исследования, связанные с управлением процессами перевозки пассажиров реализованы в различных регионах нашей страны.

**Информационная база исследования.** Законодательные и нормативные правовые акты, Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, федеральная программа «Безопасные качественные дороги», региональные целевые программы развития ИТС, материалы федеральных и региональных органов власти, управлений и ведомств, статистические данные.

**Личный вклад автора.** Автор осуществил формирование цели и задач диссертационного исследования, формализовал направления теоретических и экспериментальных исследований, а также провел эти исследования.

**Соответствие диссертационной работы паспорту специальности.** Выполненные исследования соответствуют формуле паспорта научной специальности 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы по пункту 1 «Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач управления транспортными системами, процессами и транспортными средствами» и пункту 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».

**Публикации.** Основные теоретико-методологические положения и результаты диссертационного исследования опубликованы в 7 печатных работах, в том числе 4 научные статьи в изданиях, из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций. По теме диссертации получены:

– свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Мультисервисная платформа совместного использования транспортных средств в городской среде «НАВИГАТОР-С2020» (свид. 2020614909 Российская Федерация);

– свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Единая платформа управления транспортной системой «НАВИГАТОР ИТС» (свид. 2020614815 Российская Федерация);

– патент на полезную модель № 95152. Многофункциональное терминальное устройство телематической системы : № 2010105538 : заявл. 16.02.2010 : опубл. 10.06.2010 / Семкин А.Н, Богданов А.А, Шайдабеков Э.О.;

– патент на полезную модель № 114200. Многофункциональное терминальное устройство телематической системы : № 2011117745 : заявл. 03.05.2011 : опубл. 10.03.2012 / Семкин А.Н, Богданов А.А, Загородних Н.А., Котов С.В, Леонов К.В., Загородних А.Н.;

– патент на полезную модель № 125006. Бортовой комплекс для системы сопровождения и управления наземными транспортными средствами : № 2012123506 : заявл. 06.06.2012 : опубл. 20.02.2013 / Семкин А.Н, Богданов А.А, Шайдабеков Э.О., Загородних Н.А., Леонов К.В.

В опубликованных работах автору принадлежат научные идеи, теоретические и расчётно-прикладные разработки, заключения и выводы.

**Структура и объём диссертации.** Структура и последовательность изложения результатов диссертационной работы определены целью и задачами исследования. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений, содержит 189 стр. текста, 9 табл., 117 рис. Литературный список включает 121 наименование.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыты научная новизна, практическая ценность и основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе «АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗКИ ПассажиРОВ В ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ НА ОСНОВЕ ИТС»** проведен анализ направлений совершенствования управления процессами перевозки пассажиров. В частности, значительное внимание уделяется внедрению в процессы управления транспортными системами цифровых технологий, и в первую очередь ИТС.

Анализ опыта создания и развития ИТС в нашей стране показал, что на современном этапе реализации региональных проектов наблюдается дисбаланс

между практическими разработками, теоретическими основами и нормативно-правовой документацией. Зачастую имеет место строительство подсистем ИТС, требования к которым разрабатывает заказчик (как правило органы региональной исполнительной власти) без учёта теоретических основ функционирования ИТС. Это приводит к тому, что подрядчик (разработчик ПО и оборудования для подсистем ИТС) производит строительство подсистем, имеющих физическую и функциональную архитектуру несовместимую с подсистемами других производителей, что негативно сказывается на возможности строительства региональных и национальных сетей ИТС.

Кроме того, превалирует узкоспециализированный подход к реализации подсистем ИТС. Однако, исходя из анализа направлений развития ИТС в нашей стране, уже нельзя ограничиваться развитием лишь одной из подсистем. Необходимо реализовывать комплексный подход к управлению транспортными процессами как на муниципальном, так и на вышестоящих региональном и федеральном уровнях, позволяющий реализовывать управление в штатных и нештатных ситуациях с применением современных технологий мониторинга и управления, в том числе и с использованием ИИ.

**Вторая глава «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ»** содержит теоретические модели алгоритмов управления процессами перевозки пассажиров на основе ИТС. В качестве направления совершенствования управления процессами перевозки пассажиров при помощи ИТС предложены мероприятия по совершенствованию алгоритмов анализа интервалов движения на остановочных пунктах (ОП) для целей формирования согласованного расписания движения маршрутного транспорта исходя из следующих принципов:

1. Интервалы движения ПС на совмещенных участках должны иметь равные значения или быть кратны меньшему из интервалов движения:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_2 = I_n, \\ I_n &= K \times I_{\min}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $I_1, I_2, I_n, I_{\min}$  – интервалы движения на маршруте, мин.;

$K$  – коэффициент кратности (целое положительное число).

2. Разность времени оборотного рейса должна равняться или быть кратной наименьшему интервалу на маршруте:

$$T_{об} = (2t_{p1} + t_{o1}) - (2t_{p2} + t_{o2}) = K \cdot I_{\min}, \quad (2)$$

где  $t_{p1}, t_{p2}$  – продолжительность рейса на согласуемых маршрутах, мин.;

$t_{o1}, t_{o2}$  – продолжительность отстоя ТС после выполнения рейса на согласуемых маршрутах, мин.

На основании определенного направления реализации диссертационного исследования сформирована физическая архитектура элементов ИТС ГА, оказывающих влияние на показатели функционирования ГПТОП имеющая следующий вид (Рисунок 1).



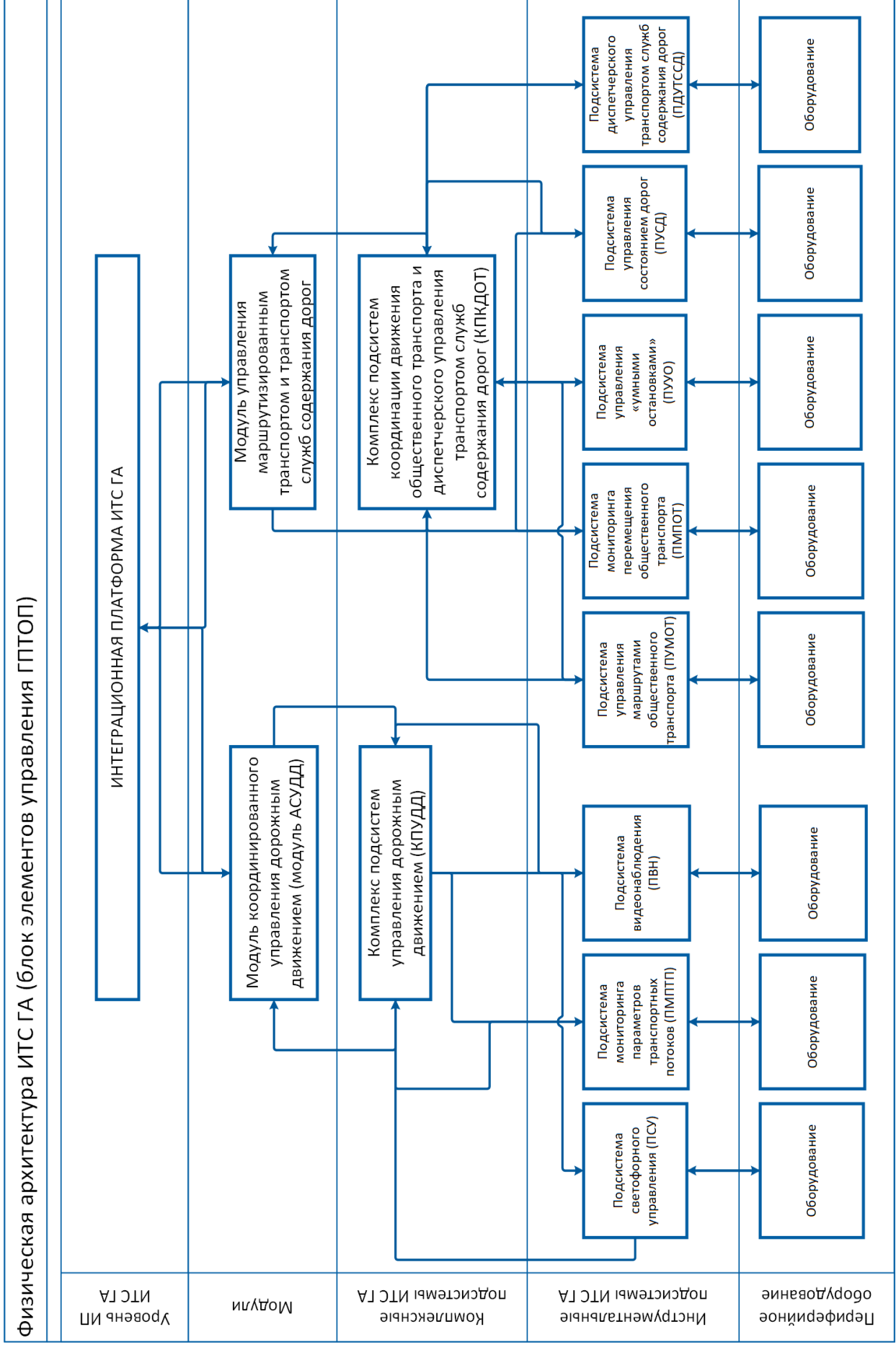


Рисунок 1 – Физическая архитектура ИТС ГА (блок элементов управления ГПТОП)

Основными источниками информации для КПКДОТ служат:

- данные о маршрутах движения ГПТОП;
- данные о ПС на маршрутах движения ГПТОП;
- данные от систем учёта пассажиропотоков на ПС;
- данные определения численности пассажиров на ОП;
- данные детектирования событий в ПС и на ОП;
- данные о состоянии УДС;
- данные о режимах функционирования УДС (скорость движения на перегонах).

**Алгоритм №1 (Управление процессами перевозки пассажиров на основе параметров состояния транспортного потока).** Рассмотрим случай формирования маршрутного расписания в условиях отсутствия объективной информации о фактическом времени проезда по перегонам маршрута. Как было установлено ранее, время оборотного рейса включает в себя время движения ( $t_p$ ) и время отстоя на конечных ОП ( $t_o$ ). Составляющие времени движения определены выражением (3).

$$t_p = t_{\text{дв}} + t_{\text{ос}} + t_{\text{пер}} + t_{\text{сл}} + t_{\text{вын}}, \quad (3)$$

где  $t_{\text{дв}}$  – время, затрачиваемое непосредственно на движение, мин.;

$t_{\text{ос}}$  – время, затрачиваемое на стоянки на ОП, мин.;

$t_{\text{пер}}$  – задержки ПС на перекрестках, мин.;

$t_{\text{сл}}$  – случайные задержки, мин.;

$t_{\text{вын}}$  – вынужденный простой ПС перед ОП, мин.

Оптимальным способом определения времени прохождения участка маршрута на первоначальном этапе формирования маршрутного расписания является получение данных от КПУДД, о средней скорости транспортного потока. Этот информационный поток формируется на основании данных детекторов транспорта (ДТ), с последующей обработкой КПУДД и переданной КПКДОТ через ИП ИТС.

При этом средняя скорость прохождения перегона определяется по формуле:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \times l_i \times V_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i \times l_i)}, \quad (4)$$

где  $l_i$  – протяженность  $i$ -го участка дороги, км;

$m_i$  – количество полос движения в одном направлении  $i$ -го участка дороги, ед.;

$V_i$  – текущая скорость ПС на  $i$ -ом участке дороги, км/ч.

Тогда среднее время прохождения перегона составит:

$$\bar{t}_{\text{пер}} = \frac{l_i}{\bar{V}_s}. \quad (5)$$

При использовании данного метода отсутствует возможность определения интервалов движения ПС.

Время стоянки ГПТОП на  $j$ -ом ОП определяется по формуле:

$$t_{j \text{ ст.н}} = t_{j \text{ откр}} + t_{j \text{ закр}} + t_{j \text{ нас}} \times N_j + t_{j \text{ зад}}, \quad (6)$$

где  $t_{j \text{ откр}}$  – время открытия двери ПС, с;

$t_{j \text{ закр}}$  – время закрытия двери ПС, с;

$t_{j \text{ нас}}$  – время посадки или высадки одного пассажира ПС, с;

$N_j$  – количество пассажиров, чел;

$t_{j \text{ зад}}$  – время задержки между высадкой и посадкой пассажиров, с.

Тогда выражение для определения времени обратного рейса по полученным данным параметров транспортного потока примет вид:

$$T_{об}^{на} = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\bar{V}_s} + \sum_{j=1}^k (t_{j \text{ откр}} + t_{j \text{ закр}} + t_{j \text{ нас}} \times N_j + t_{j \text{ зад}}) + t_o. \quad (7)$$

Численность единиц ПС на маршруте определяется по формуле:

$$A_M = \frac{T_{об} \times 60}{I} = \frac{2 \times L_M}{V_{\text{э}} \times I} = \frac{2 \times L_M \times Q_{ij \text{ max}}}{V_{\text{э}} \times q_{\text{расч}}} = \frac{Q_{ij \text{ max}}}{T_{об} \times q_{\text{расч}}}. \quad (8)$$

где  $Q_{ij \text{ max}}$  – максимальный пассажиропоток на участке маршрута, пасс./ч;

$I$  – интервал движения ПС (устанавливается на основании характеристик ПС ГПТОП, имеющегося в наличии), ч;

$T_{об}$  – время обратного рейса, ч;

$L_M$  – протяженность маршрута, км;

$V_{\text{э}}$  – эксплуатационная скорость ПС, км/ч.

При этом, минимально необходимое число ПС на маршруте определяется по формуле:

$$A_M^{\min} = \frac{\bar{V}_s \times T_{об}}{L_{cp}}, \quad (9)$$

где  $L_{cp}$  – средняя дальность поездки пассажира, км (м).

Физический смысл выражения (9) заключается в том, что максимальный плановый интервал между ПС не должен превышать времени, равного  $\frac{L_{cp}}{\bar{V}_s}$ . Из

этого следует, что общие затраты времени пассажира на передвижение, даже в случаях максимального значения интервалов движения (время ожидания) будет примерно в два раза меньше затрат времени на пешее перемещение.

При прохождении различных маршрутов через один и тот же ОП требуется корректировка интервалов движения ПС в соответствии с выражениями (1). Коэффициент кратности определяется в соответствии с выражением (2) по следующей формуле:

$$K = \frac{(2t_{p1} + t_{o1}) - (2t_{p2} + t_{o2})}{I_{\min}} \geq 1. \quad (10)$$

На основании полученных зависимостей строится алгоритм управления процессами перевозки пассажиров по данным средней скорости движения на перегоне в разрезе подсистем ИТС ГА (Рисунок 2).

В данном случае критерием штатности и нештатности функционирования системы ГПТОП будет являться отклонение текущего уровня обслуживания дорожного движения на перегоне от среднестатистических значений (уровни А...D).

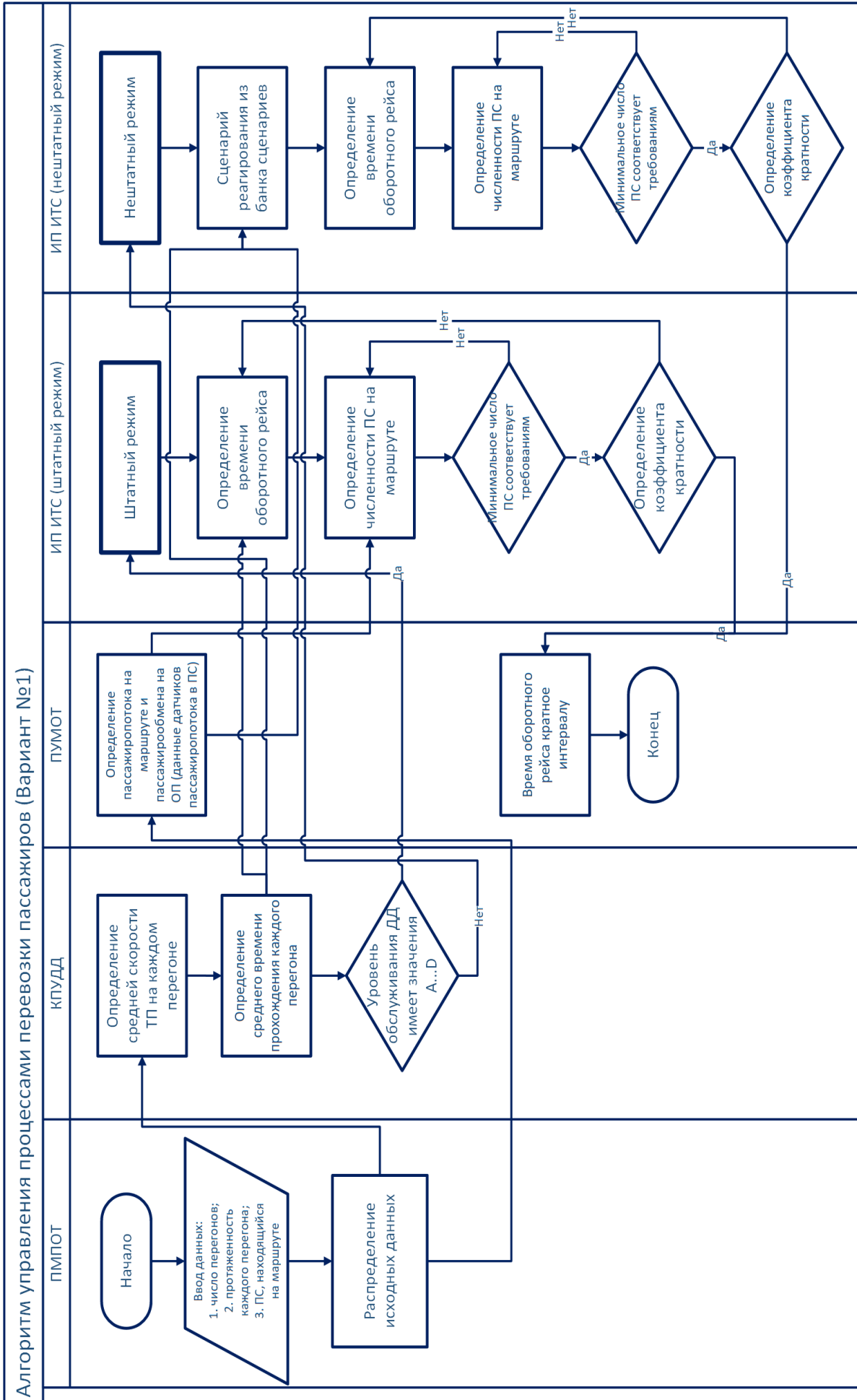


Рисунок 2 – Алгоритм управления процессами перевозки пассажиров по данным средней скорости движения на перегоне в разрезе подсистем ИТС ГА

**Алгоритм № 2 (Управление процессами перевозки пассажиров на основании данных глобальной навигационной спутниковой системы).** При использовании данных ГНСС текущее значение времени, затраченного на перемещение по перегону (включая время прохождения перегона, а также время на посадку и высадку пассажиров) ГПТОП определяется по формуле:

$$t_{неp} = t_{i+1} - t_i, \quad (11)$$

где  $t_i$  – время нахождения ПС в геозоне  $i$  – ого ОП;

$t_{i+1}$  – время нахождения ПС в геозоне  $i+1$  – ого ОП.

Время фактического интервала движения определяется по формуле:

$$I = t_{j+1} - t_j, \quad (12)$$

где  $t_j$  – время нахождения  $j$  – го ТС ПС ГПТОП в геозоне  $i$  – ого ОП;

$t_{j+1}$  – время нахождения  $j+1$  – го ТС ПС ГПТОП в геозоне  $i$  – ого ОП.

В качестве идентификатора ТС ПС ГПТОП применяется государственный регистрационный знак (ГРЗ) и номер маршрута.

Таким образом, время обратного рейса при реализации данного алгоритма будет определяться по формуле:

$$T_{об}^{на} = \sum_{i=1}^n (t_{i+1} - t_i) + t_o. \quad (13)$$

После определения времени обратного рейса находим необходимую численность ПС на маршруте по формуле (8), с учётом требований формулы (9).

Данный алгоритм (Рисунок 3) позволяет строить прогнозы прибытия ПС на ОП, а также определять режим функционирования системы ГПТОП ГА. Для определения штатности и нештатности функционирования системы пассажирских перевозок в данном случае применяется метод оценки регулярности перевозок, реализуемый по следующим формулам:

$$\Delta I = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m_n} \Delta I_i, \quad (14)$$

$$k_{пу} = \frac{m_n}{m}, \quad (15)$$

$$S_{ну} = \sqrt{\frac{1}{m_n - 1} \sum_{i=1}^{m_n} (\Delta I_i - k_{пу} \Delta I)^2}. \quad (16)$$

где  $\Delta I_i$  – отклонение значения фактического интервала движения ГПТОП от планового (интервал по маршрутному расписанию);

$m$  – общее число интервалов движения ГПТОП;

$m_n$  – общее число случаев отклонения интервала движения ГПТОП от планового (интервал по маршрутному расписанию);

$k_{пу}$  – коэффициент регулярности движения (по интервалу);

$S_{ну}$  – среднеквадратичное отклонение превышений фактических значений интервалов движения над установленными;

$\Delta I$  – среднее отклонение фактического интервала движения ГПТОП от планового (интервал по маршрутному расписанию).

При этом, максимальное отклонение фактического времени отправления от планового расписания не должно превышать двух минут, а количество рейсов регулярных перевозок выполненных с опозданием более двух минут не должно превышать 15% от общего количества рейсов маршрутов регулярных перевозок для данного вида сообщений.



**Алгоритм № 3 (Управление процессами перевозки пассажиров на основе технологий искусственного интеллекта).** В диссертационной работе разработан механизм определения времени и интервалов движения между ОП, основанный на применении нейросетевых моделей. Основой реализации данного механизма является ПУУО (рисунок 1), которая оснащается камерами видеонаблюдения. В качестве первой нейросетевой модели применялась TrOCR. Наряду с моделью TrOCR применялась модель YOLOv7. Сбор данных для моделей производился в результате обработки видеоизображений ТС. Для обучения использовалась база данных, состоящая из 2500 фотографий.

При использовании технологий ИИ имеется возможность определения фактического времени прохождения перегона ПС, на основании данных о времени отбытия ПС от ОП и времени прибытия ПС к следующему ОП:

$$t_{\text{пер}} = t_{i+1}^{\text{приб}} - t_i^{\text{отпр}}, \quad (17)$$

где  $t_i^{\text{отпр}}$  – время отправления ПС от  $i$  – ого ОП;

$t_{i+1}^{\text{приб}}$  – время прибытия ПС на  $i+1$  – ый ОП.

В отличие от двух предыдущих алгоритмов управления процессами перевозки пассажиров, алгоритм на основе технологий ИИ позволяет определять время на посадку – высадку пассажиров, которое представляет собой разность между временем прибытия ПС на остановку (попадание ПС в зону детекции видеокамеры) и временем отправления от ОП (выход из зоны детекции видеокамеры) т.е.:

$$t_{\text{см.п}} = t_i^{\text{отпр}} - t_i^{\text{приб}}, \quad (18)$$

где  $t_i^{\text{отпр}}$  – время отправления ПС от  $i$ -ого ОП;

$t_i^{\text{приб}}$  – время прибытия ПС на  $i$ -ый ОП.

Таким образом, формула определения времени обратного рейса в данном случае примет вид:

$$T_{\text{об}}^{\text{пл}} = \sum_{i=1}^n (t_{i+1}^{\text{приб}} - t_i^{\text{отпр}}) + \sum_{i=1}^n (t_i^{\text{отпр}} - t_i^{\text{приб}}) + t_o. \quad (19)$$

После определения времени обратного рейса находим необходимую численность ПС на маршруте по формуле (8), с учётом требований формулы (9).

Значения фактического интервала движения определяется как разница между временем прибытия, текущего и предыдущего ТС ПС ГПТОП на ОП:

$$I = t_{j+1}^{\text{приб}} - t_j^{\text{приб}}, \quad (20)$$

где  $t_j^{\text{приб}}$  – время прибытия  $j$  – го ТС ПС ГПТОП на  $i$  – ый ОП;

$t_{j+1}^{\text{приб}}$  – время прибытия  $j+1$  – го ТС ПС ГПТОП на  $i$  – ый ОП.

В данном случае можно также использовать время отправления ПС от ОП. Тогда формула (20) примет вид:

$$I = t_{j+1}^{\text{отпр}} - t_j^{\text{отпр}}, \quad (21)$$

где  $t_j^{\text{отпр}}$  – время отправления  $j$  – го ТС ПС ГПТОП от  $i$  – ого ОП;

$t_{j+1}^{\text{отпр}}$  – время отправления  $j+1$  – го ТС ПС ГПТОП от  $i$  – ого ОП.

Схема предложенного алгоритма управления процессами перевозки пассажиров на основе технологий ИИ в разрезе подсистем ИТС приведена ниже (Рисунок 4).

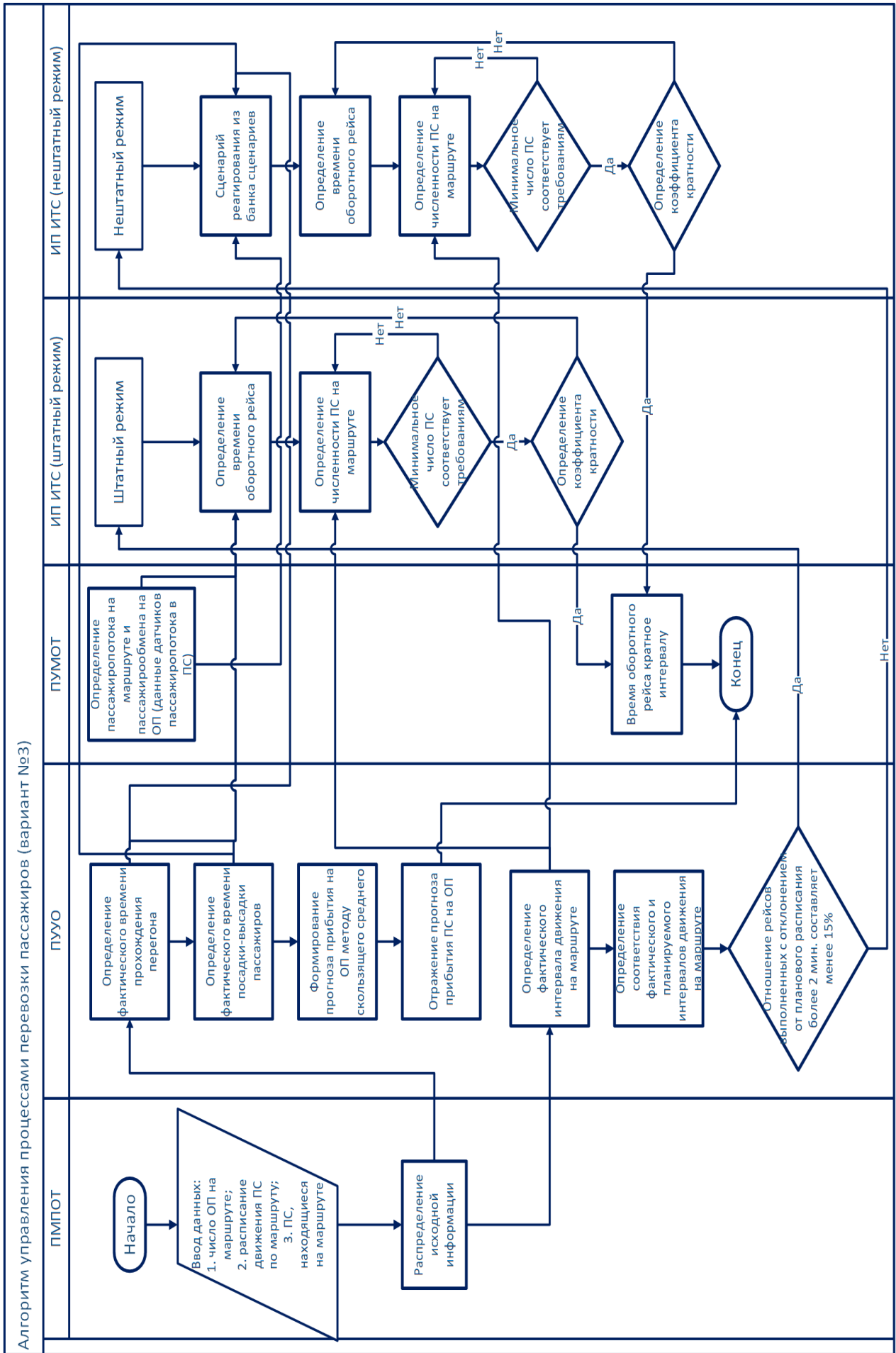


Рисунок 4 – Алгоритм управления процессами перевозки пассажиров на основе технологий ИИ в разрезе подсистем ИТС ГА



В качестве идентификатора ПС применяется ГРЗ и номер маршрута. Критерием определения режима функционирования системы пассажирских перевозок, аналогично алгоритму №2, является отклонение фактического расписания движения от планируемого, определяемого в соответствии с формулами (14), (15) и (16), а критериями выбора режимов функционирования системы пассажирских перевозок являются требования Социального стандарта транспортного обслуживания населения.

Предложенные в диссертационной работе алгоритмы управления процессами перевозки пассажиров оперируют функциональными характеристиками различных подсистем ИТС. Выбор конкретного алгоритма управления процессами перевозки пассажиров обусловлен номенклатурой периферийного оборудования ИТС, расположенного на УДС ГА и ПС ГПТОП.

**Третья глава «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ НА ОСНОВЕ ИТС»** посвящена тестированию предложенных алгоритмов управления процессами перевозки пассажиров.

Результаты сравнения данных, полученных при помощи разработанного алгоритма управления процессами перевозки пассажиров на основе параметров состояния транспортного потока приведены ниже (рисунок 5 – рисунок 6). Исследования производили по нескольким временным интервалам. Для этого выбрали даты в марте, апреле и мае 2024 г. На рисунках 5 и 6, в качестве примера приведены результаты исследования от 10.04.2024 г.

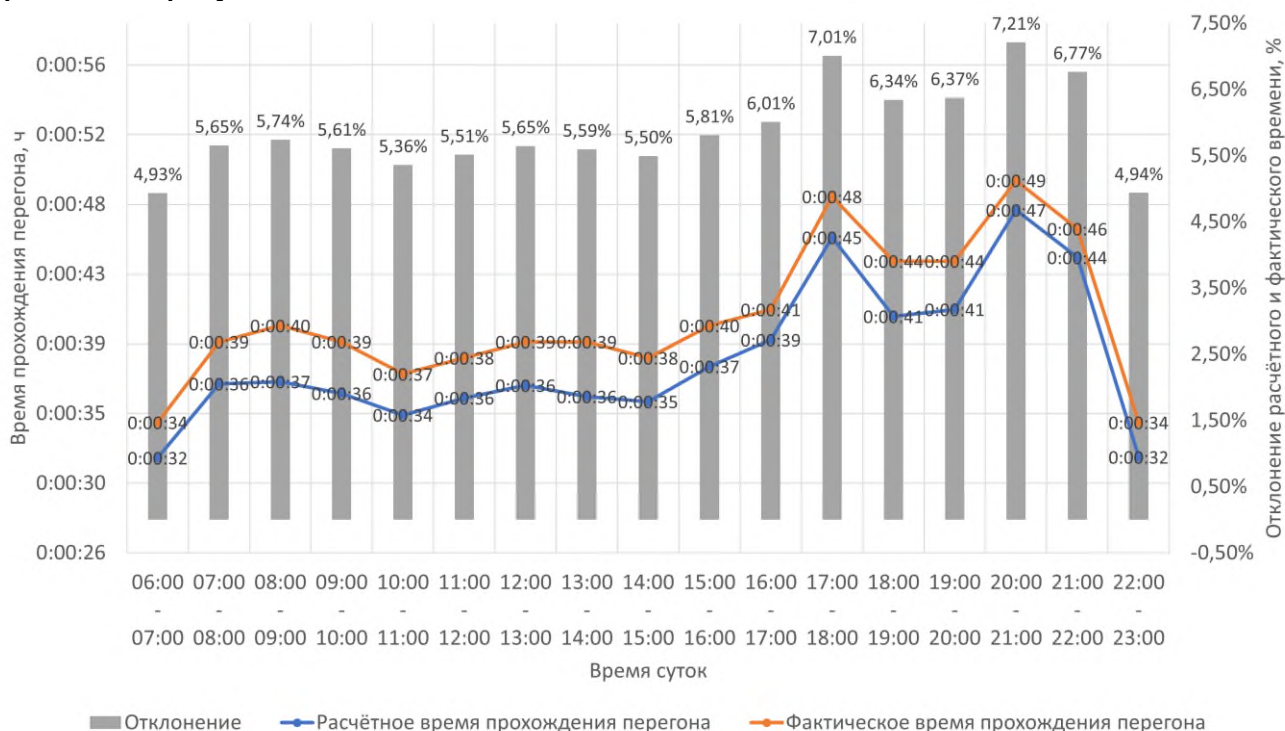


Рисунок 5 – Результаты сравнения данных, полученных при помощи разработанного алгоритма управления процессами перевозки пассажиров на основе параметров состояния транспортного потока ОГА (перегон ул. Матвеева – ул. Октябрьская, дата: 10.04.2024г.)

На основании выполненных экспериментальных исследований можно сделать вывод о достоверности предложенного алгоритма управления процессами перевозки пассажиров на основе параметров состояния транспортного потока.

Выявлена корреляционная связь между значениями среднего времени прохождения перегона, определенного на основании параметров транспортного потока и фактического времени прохождения перегона ПС (Рисунок 7).

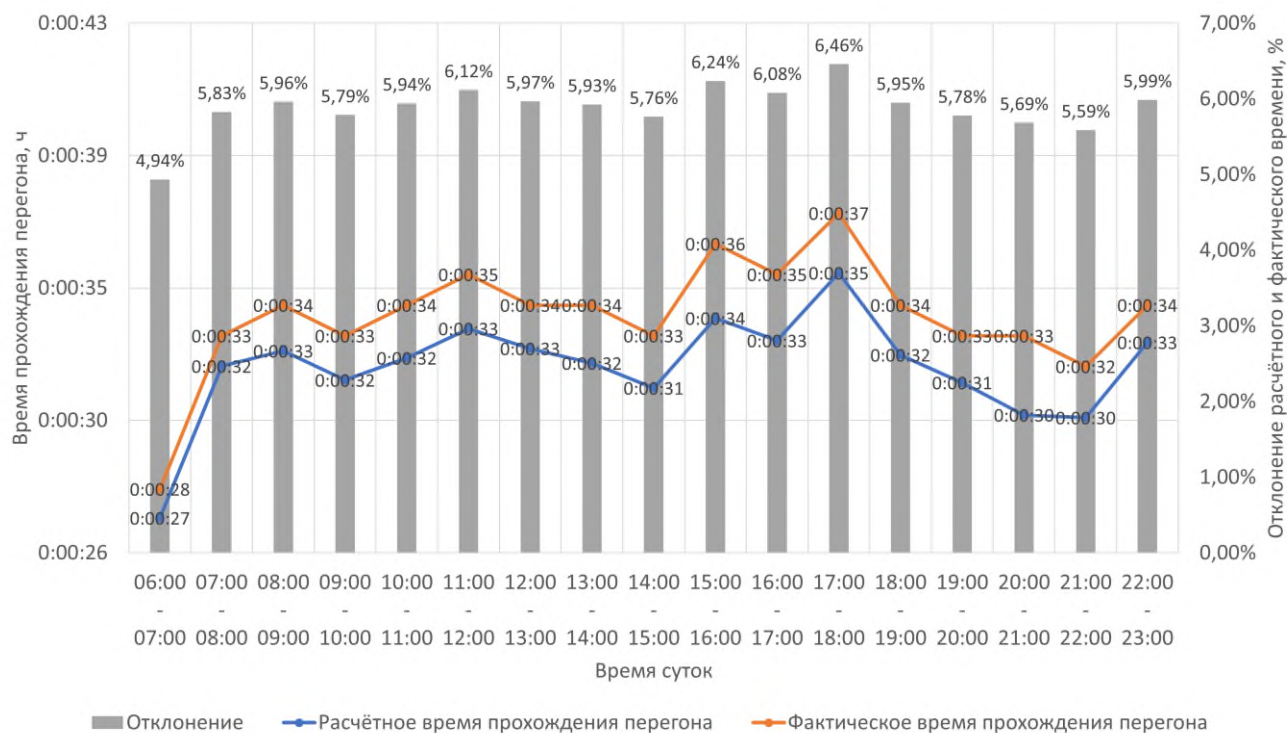


Рисунок 6 – Результаты сравнения данных, полученных при помощи разработанного алгоритма управления процессами перевозки пассажиров на основе параметров состояния транспортного потока ОГА (перегон ул. Октябрьская - ул. Матвеева, дата: 10.04.2024г.)

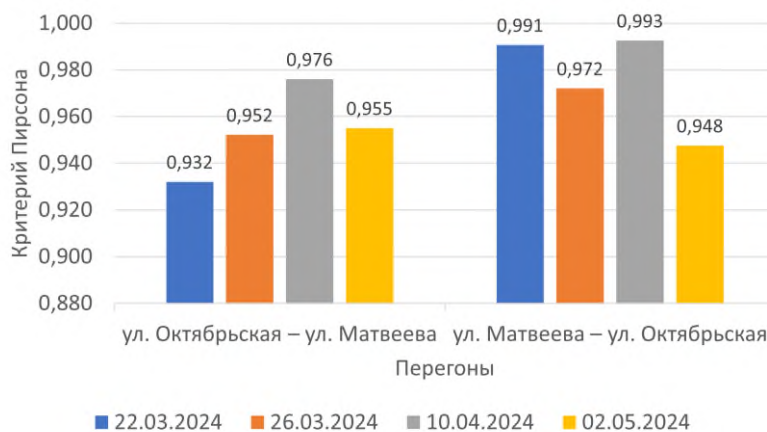
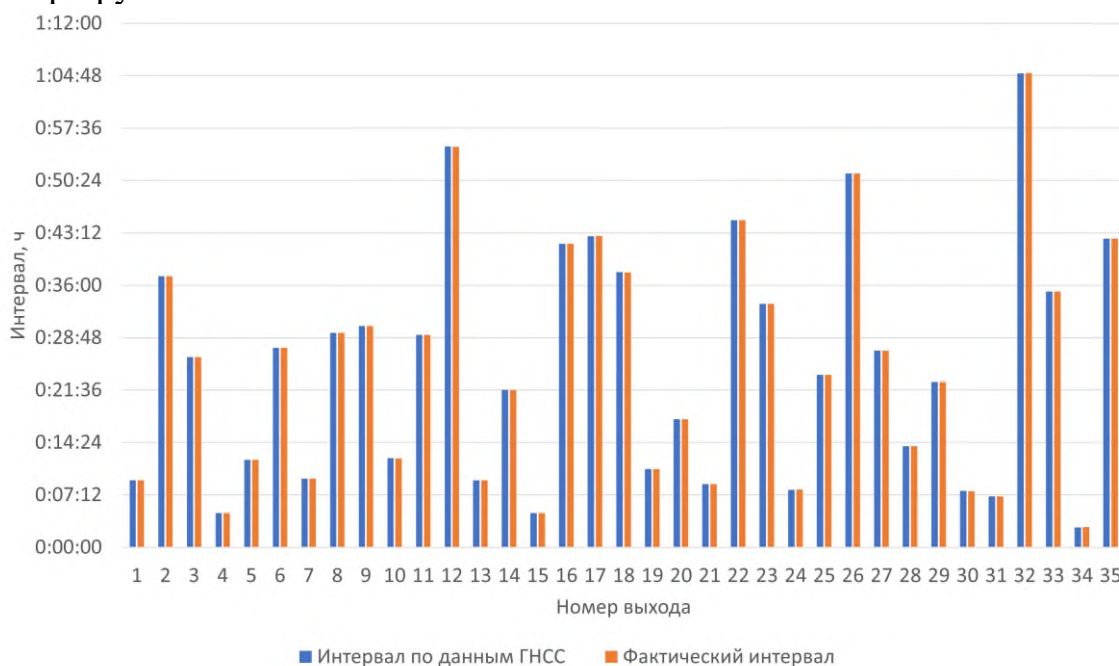


Рисунок 7 – Значения критерия Пирсона для экспериментальных данных

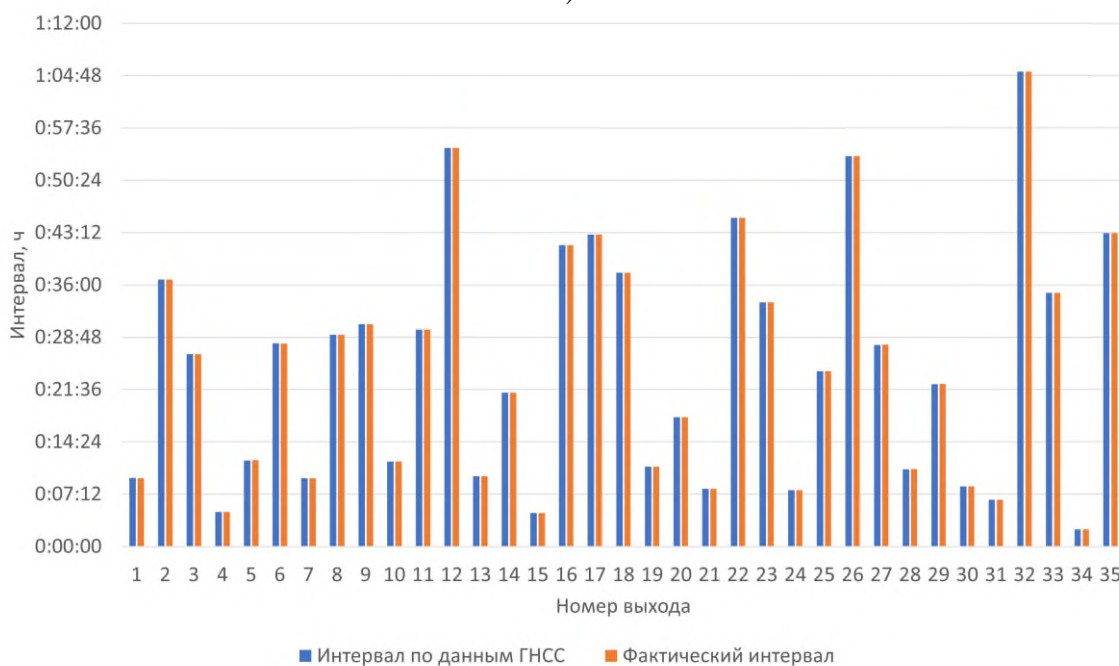
При реализации алгоритма управления процессами перевозки пассажиров по данным ГНСС достаточно проблематично определить время движения ПС на перегоне и время на посадку и высадку пассажиров, поэтому заключение о достоверности разработанного алгоритма производилось по значениям интервалов движения ПС на маршруте, определенных при помощи данных ГНСС и полученных в ходе натурных исследований на двух ОП маршрутной сети ОГА: ОП «Автошкола ДОСААФ» (г. Орёл, Карачевское шоссе, 41) и ОП «Ветеринарная лечебница» (г. Орёл, Карачевское шоссе, 69).

Были обследованы три маршрута ГПТОП ОГА: №8 «ул. Высоковольтная – Наугорское шоссе», №9 «микрорайон Зареченский – санаторий «Лесной» и № 20 «микрорайон Зареченский – ул. Космонавтов». Результаты экспериментальных исследований по маршруту №20 «микрорайон Зареченский – ул. Космонавтов» приведены на рисунке 8.

Полученные результаты показывают высокую точность ГНСС, которая позволяет использовать данный алгоритм для определения интервалов движения ПС на маршруте.



а)



б)

Рисунок 8 – Сравнение интервалов движения ТС маршрута № 20 «микрорайон Зареченский – ул. Космонавтов»: а) – на ОП «Автошкола ДОСААФ»; б) – на ОП «Ветеринарная лечебница»

Разработанный в диссертационной работе алгоритм управления процессами перевозок пассажиров на основе применения технологий ИИ предполагает анализ прибытия и отбытия ПС на ОП и функционирует по принципам натурального обследования показателей работы пассажирского транспорта.

В этом случае, тестирование алгоритма производится по показателям качества систем искусственного интеллекта (СИИ). Результаты тестирования моделей ИИ по метрике Accuracy приведены на рисунке 9. На основании этих данных принято решение об использовании в разработанном алгоритме управления процессами перевозки пассажиров на основе применения технологий ИИ модели YOLOv7.

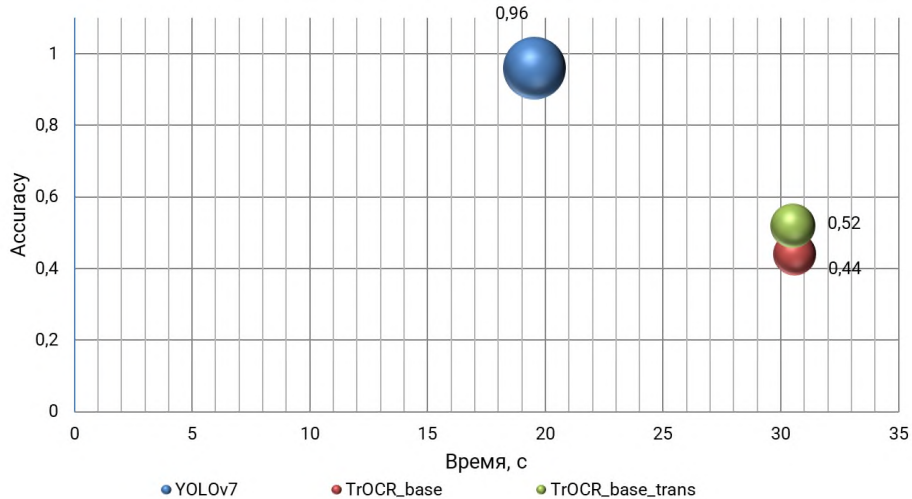


Рисунок 9 – Результаты определения значения метрики Accuracy для моделей TrOCR и YOLOv7

Определение количества эпох обучения модели YOLOv7 производилось экспериментальным путем по метрикам качества СИИ: Precision, Recall, Confidence, F-score. Обучение модели YOLOv7 производилось на 20, 55 и 100 эпохах. Уже при обучении на 20 эпохах модель показывала высокие показатели точности на матрице ошибок и по значениям метрик качества модели. Однако, при анализе значения функций потерь отмечено, что значения этих функций варьируются в зависимости от количества эпох обучения (Рисунок 10 - Рисунок 12).

При обучении на 20 эпохах отмечается, что значения функций потерь box и classification не минимальны (Рисунок 10), и поэтому имеет смысл в дальнейшем увеличении эпох обучения. При обучении на 55 эпохах значения функций потерь минимальны (Рисунок 11). На графиках валидации функции потерь box и val objectness, при обучении на 100 эпохах, имеет место ухода функций от минимального значения в конце процесса обучения, что свидетельствует о переобучении модели (Рисунок 12).

Таким образом, наиболее эффективной технологией ИИ для применения в разработанном алгоритме управления процессами перевозки пассажиров основе применения технологий ИИ является YOLOv7, обученная на 55 эпохах, т.к. на 20 эпохах имеет место высокие значения функций потерь, а при обучении на 100 эпохах имеет место переобучение модели.

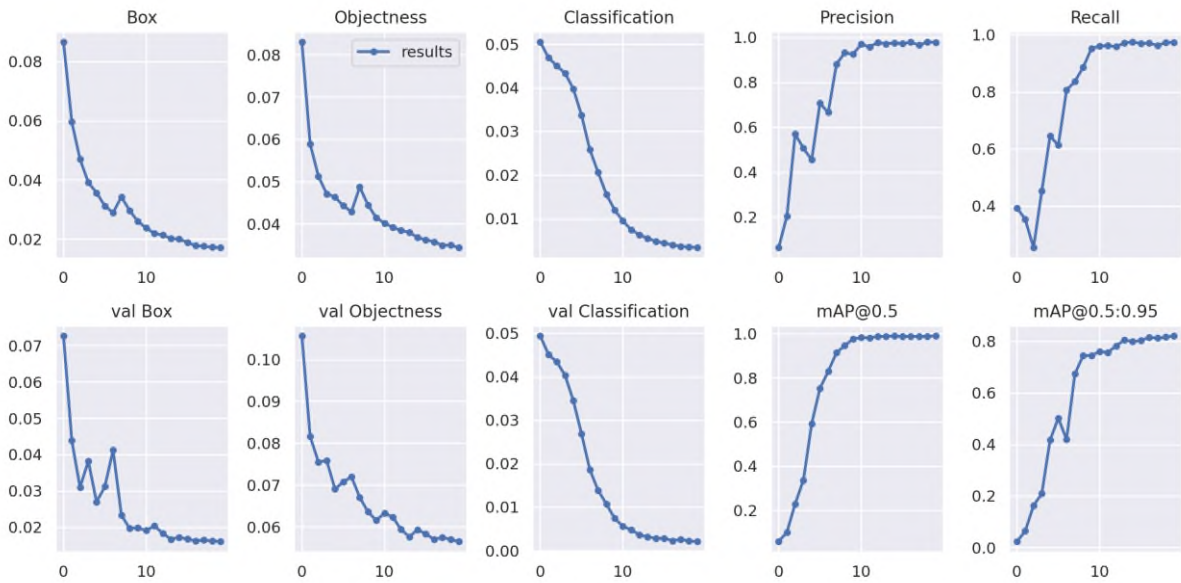


Рисунок 10 – Значения функций потерь при обучении на 20 эпохах

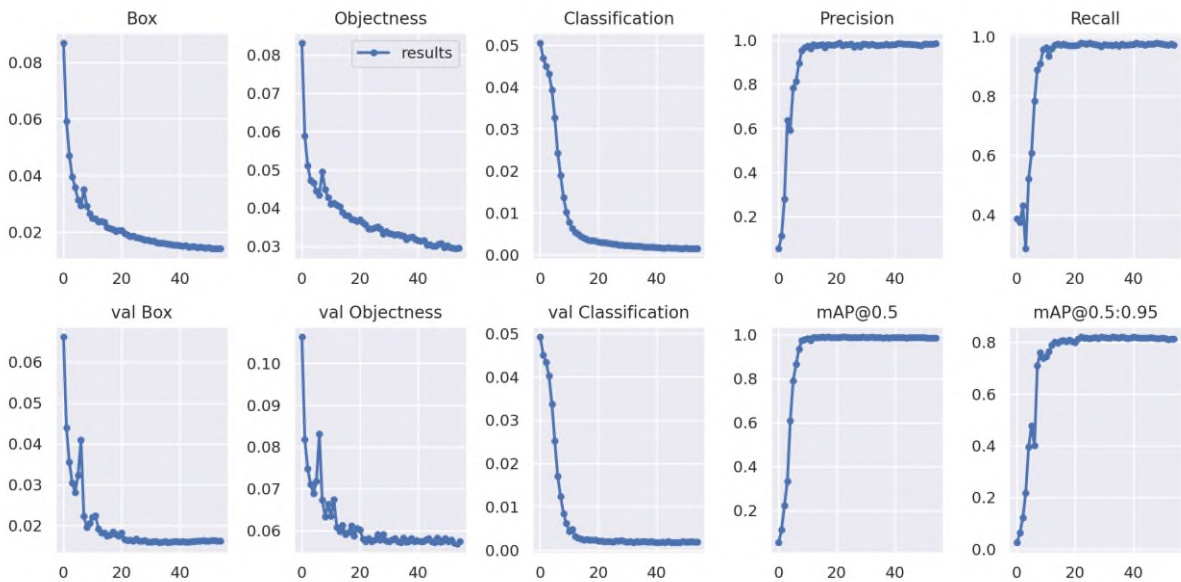


Рисунок 11 – Значения функций потерь при обучении на 55 эпохах

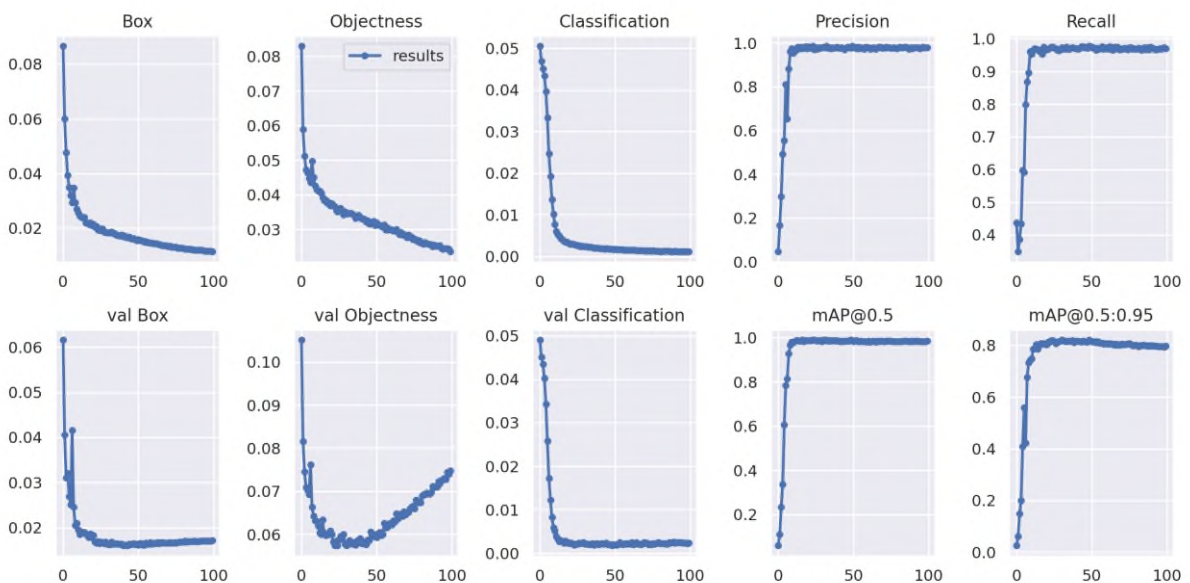


Рисунок 12 – Значения функций потерь при обучении на 100 эпохах

**Четвертая глава «ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ»** посвящена разработке специализированного ПО для реализации разработанных алгоритмов, состоящего из двух блоков комплексных подсистем (рисунок 1):

- комплекс подсистем координации движения общественного транспорта и диспетчерского управления транспортом служб содержания дорог;
- комплекс подсистем управления дорожным движением.

В частности, для разработанного ПО спроектированы схемы архитектуры комплексных подсистем.

Описаны сервисы взаимодействия компонентов ПО, а также основные протоколы взаимодействия. Для реализации ситуационного управления транспортными процессами ГА предусмотрено информационное взаимодействие с КПУДД посредством ИП ИТС. ИП соответствует второму технологическому уровню, предусматривающему ситуационное управление ИТС агломерации в режиме реального времени.

ПО имеет свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Мультисервисная платформа совместного использования транспортных средств в городской среде «НАВИГАТОР-С2020» (свид. 2020614909 Российская Федерация) и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Единая платформа управления транспортной системой «НАВИГАТОР ИТС» (свид. 2020614815 Российская Федерация).

**Пятая глава «ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ»** посвящена оценке эффективности рассматриваемых алгоритмов, которая рассмотрена как получение социального эффекта от сокращения затрат времени пассажира на одну поездку на примере маршрута № 20 «микрорайон Зареченский – ул. Космонавтов» маршрутной сети ОГА. Так, в частности, затраты времени на маршруте, при обеспечении кратности интервалов движения ПС сократятся на 25,13 мин (0,42 ч).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Решена научная задача, имеющая значение для развития знаний в области применения интеллектуальных транспортных систем для управления процессами перевозки пассажиров в условиях городских агломераций. В частности:

1. Установлено, что одним из наиболее эффективных методов совершенствования управления являются организационные мероприятия по внедрению современных цифровых технологий, и в первую очередь ИТС. ИТС на данный момент является динамично развивающейся областью экономики нашей страны, впитавшей в себя современные достижения науки и техники. Однако, в данной отрасли явно ощущается недостаток разработанных теоретических основ и нормативно-правовой документацией в области использования ИТС в процессах управления процессами перевозок.

2. Научно обоснованы алгоритмы управления процессами перевозки пассажиров на основе ИТС:

- Алгоритм управления процессами перевозки пассажиров на основе параметров состояния транспортного потока, позволяющий по данным средней

скорости движения на перегоне определить показатели работы ПС на маршруте (время обратного рейса):

$$T_{об}^{nl} = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{V_s} + \sum_{j=1}^k (t_{откр} + t_{закр} + t_{нас} \times N + t_{зад}) + t_o.$$

При реализации данного алгоритма, определяется режим функционирования системы ГПТОП (штатный или нештатный) по параметру отклонения текущего уровня обслуживания дорожного движения на перегоне от среднестатистических значений (уровни А...D), с целью реализации сценарных планов управления процессами перевозки пассажиров.

– Алгоритм управления процессами перевозки пассажиров на основании данных глобальной навигационной спутниковой системы, позволяющий определять фактические значения времени прохождения ПС ГПТОП перегона маршрута, интервала движения ПС, и на их основе определять время обратного рейса:

$$T_{об}^{nl} = \sum_{i=1}^n (t_{i+1} - t_i) + t_o.$$

Режим функционирования системы пассажирских перевозок определен методом оценки регулярности перевозок по значению среднего превышения (математического ожидания превышения) интервала движения ПС на маршруте от установленного, значению коэффициента регулярности движения по интервалу и среднеквадратичному отклонению превышений установленных интервалов движения ПС. На основании определения режимов функционирования системы пассажирских перевозок реализуется сценарный план управления процессами перевозки пассажиров.

– Алгоритм управления процессами перевозки пассажиров на основе применения технологий искусственного интеллекта, позволяющий также определять фактические значения времени прохождения ПС перегона маршрута, интервала движения ПС, и на их основе определять время обратного рейса:

$$T_{об}^{nl} = \sum_{i=1}^n (t_{i+1}^{nриб} - t_i^{omnp}) + \sum_{i=1}^n (t_i^{omnp} - t_i^{nриб}) + t_o.$$

Критериями определения режима функционирования системы пассажирских перевозок, аналогично предыдущему алгоритму, являются показатели, оценивающие регулярность движения ПС на маршруте и влияющие на сценарии управления процессами перевозки пассажиров.

3. Проведено тестирование разработанных алгоритмов управления процессами перевозки пассажиров на основе ИТС:

– на основании выполненных экспериментальных исследований можно сделать вывод о достоверности предложенного алгоритма управления процессами перевозки пассажиров на основе параметров состояния транспортного потока. Выявлена взаимосвязь между фактическим временем прохождения перегона УДС ПС ГПТОП и значениями среднего времени прохождения перегона УДС, определенного на основании параметров транспортного потока (средней скорости движения транспортного потока). Значения критерия Пирсона для всех сравнительных экспериментов варьируется в пределах 0,932...0,993.

– приведенные результаты выполненных экспериментальных исследований тестирования алгоритма управления процессами перевозок пассажиров на основе данных ГНСС показывают высокую точность ГНСС, которая позволяет использовать данный алгоритм для определения интервалов движения ПС ГПТОП на маршруте. Выявлена взаимозависимость фактических значений времени интервала движения ПС ГПТОП и времени посещения геозон.

– результаты тестирования алгоритма управления процессами перевозок пассажиров на основе технологий ИИ показали, что наиболее эффективной технологией ИИ для применения в разработанном алгоритме управления процессами перевозок пассажиров на основе применения технологий искусственного интеллекта является модель YOLOv7, обученная на 55 эпохах.

4. Научно обоснованные алгоритмы управления процессами перевозок пассажиров реализованы в разработанном программном обеспечении, которое реализует ситуационное управление путем информационного взаимодействия с различными подсистемами ИТС посредством ИП ИТС и включает в себя две комплексные подсистемы: комплекс подсистем координации движения общественного транспорта и диспетчерского управления транспортом служб содержания дорог, а также комплекс подсистем управления дорожным движением, которые имеют микросервисную архитектуру и допускают как интеграцию с программными компонентами, так и возможность выступать в качестве программного компонента в информационной архитектуре других систем.

5. Эффективность алгоритмов управления процессами перевозки пассажиров на основе ИТС рассмотрена с точки зрения социального эффекта от сокращения затрат времени пассажира на одну поездку на примере маршрута № 20 «микрорайон Зареченский – ул. Космонавтов» маршрутной сети ОГА. Так, в частности, затраты времени на маршруте сократятся на 25,13 мин (0,42 ч).

#### **Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов для опубликования основных научных результатов диссертаций (ВАК)**

1. Семкин, А. Н. Перспективы внедрения подсистемы обеспечения приоритетного проезда транспортных средств в ИТС городских агломераций / А.Н. Семкин // Мир транспорта и технологических машин. - 2024. - №2-2(85). - С. 123-130.

2. Семкин, А. Н. Совершенствование алгоритмов информирования пассажиров на остановочных пунктах городских агломераций / А.Н. Семкин // Мир транспорта и технологических машин. - 2024. - №2-1(85). - С. 127-135.

3. Семкин, А. Н., Шевляков А. Н. Опыт внедрения систем координации движения общественного транспорта на примере Орловской городской агломерации / А.Н. Семкин, А. Н. Шевляков // Мир транспорта и технологических машин. - 2023. - №1-1(80). - С. 50-59.

4. Семкин, А. Н. Современные подходы к управлению перевозками грузов автомобильным транспортом / А. Н. Новиков, А. А. Катунин, А. Н. Семкин // Мир транспорта и технологических машин. - 2015. - № 1 (48). - С. 119-126.



**Объекты интеллектуальной собственности**

5. Семкин, А. Н. Свид. 2020614909 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Мультисервисная платформа совместного использования транспортных средств в городской среде «НАВИГАТОР-С2020» / А. Н. Семкин; заявитель и правообладатель Закрытое акционерное общество Группа компаний «Навигатор» (RU). – №2020613633; заявл. 26.03.2020; опубл. 29.04.2020, Реестр программ для ЭВМ.

6. Семкин, А. Н. Свид. 2020614815 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Единая платформа управления транспортной системой «НАВИГАТОР ИТС» / А. Н. Семкин; заявитель и правообладатель Закрытое акционерное общество Группа компаний «Навигатор» (RU). – №2020613381; заявл. 22.04.2020; опубл. 25.04.2020, Реестр программ для ЭВМ.

7. Семкин, А. Н. Патент на полезную модель № 95152. Многофункциональное терминальное устройство телематической системы : № 2010105538 : заявл. 16.02.2010 : опубл. 10.06.2010 / Семкин А. Н., Богданов А. А., Шайдабеков Э. О.

8. Семкин, А. Н. Патент на полезную модель № 114200. Многофункциональное терминальное устройство телематической системы : № 2011117745 : заявл. 03.05.2011 : опубл. 10.03.2012 / Семкин А. Н., Богданов А. А., Загородних Н. А., Котов С. В., Леонов К. В., Загородних А. Н.

9. Семкин, А. Н. Патент на полезную модель № 125006. Бортовой комплекс для системы сопровождения и управления наземными транспортными средствами : № 2012123506 : заявл. 06.06.2012 : опубл. 20.02.2013 / Семкин А. Н., Богданов А. А., Шайдабеков Э. О., Загородних Н. А., Леонов К. В.

**Публикации в изданиях, входящих в базы РИНЦ**

10. Семкин, А. Н. Управление перевозками грузов автомобильным транспортом в современных условиях / А. Н. Новиков, А. А. Катунин, А. Н. Семкин // Информационные технологии и инновации на транспорте. - Орел. - 2015. - С. 247-252.

11. Семкин, А. Н. Современное состояние обеспеченности процесса управления грузовыми перевозками автомобильным транспортом / А. А. Катунин, В. В. Васильева, А. Н. Семкин // Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2015): сборник статей VII Международной научно-технической конференции. Курск, 2015. С. 73-76.

12. Семкин, А. Н. Интеллектуальная система управления грузовыми перевозками / А. Н. Новиков, А. А. Катунин, А. Н. Семкин, В. В. Васильева // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2015. - Т. 3. - № 5-3 (16-3). - С. 151-159.