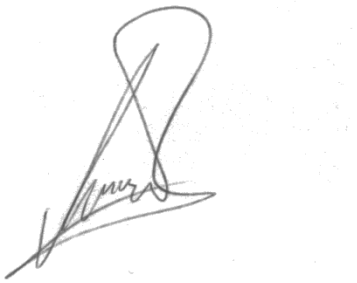
На правах рукописи



Сибиряков Максим Владимирович

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРАТИВНЫМИ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ

Специальность: 05.13.10 – Управление в социальных
и экономических системах (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в научно-образовательном комплексе организационно-управленческих проблем ГПС Академии Государственной противопожарной службы МЧС России.

Научный руководитель: **Соколов Сергей Викторович**,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры управления и экономики ГПС научно-образовательного комплекса организационно-управленческих проблем ГПС Академии ГПС МЧС России

Официальные оппоненты: **Таранцев Александр Алексеевич**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения АСР Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России

Тараканов Денис Вячеславович,
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры пожарной тактики и основ АСДНР учебно-научного комплекса пожаротушение ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России»

Ведущая организация: ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны» МЧС России

Защита состоится «06» июня 2018 года в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 205.002.01 в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4, зал диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии Государственной противопожарной службы МЧС России и на сайте http://academygps.ru/upload/iblock/837/837ae1ebd76399e7955021ce5dadb7af.pdf

Автореферат разослан «11» апреля 2018 г.

Отзыв на автореферат с заверенной подписью и печатью просим направить в Академию Государственной противопожарной службы МЧС России по указанному адресу.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук,
доцент Р.Ш. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Все системы обслуживания характеризуются двумя основными показателями, скоростью и качеством обслуживания. Основным критерием оценки эффективности функционирования экстренных служб является скорость их реагирования на различные деструктивные события.

В мегаполисах высокая загруженность дорожной сети является основным препятствием своевременного сосредоточения к месту вызова сил и средств экстренных служб. Сокращению времени реагирования экстренных служб в условиях города способствует эффективная система управления. Однако для ее совершенствования необходимо точно установить скоростные характеристики движения по экстренному вызову подразделений этих служб в различных условиях реагирования, а также их преимущество в транспортном потоке.

До настоящего времени в работах, касающихся изучения скоростных характеристик реагирования оперативных подразделений экстренных служб на вызовы, не использовались геоинформационные технологии ГЛОНАСС, позволяющие с высокой точностью определить исследуемые параметры.

Настоящая диссертационная работа посвящена изучению скоростных характеристик оперативных пожарно-спасательных подразделений во время экстренного выезда при помощи геоинформационных технологий, а также изучению преимущества движения оперативных пожарно-спасательных подразделений в транспортном потоке. Проведенное исследование направлено на развитие теоретических основ и получение новых данных для совершенствования оперативного и стратегического управления пожарно-спасательными подразделениями.

Степень разработанности темы исследования. Проблему оперативного и стратегического управления подразделениями пожарно-спасательной службы изучали следующие ученые: Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, Б.М. Пранов, Е.М. Алёхин, Н.Г. Топольский, Г.И. Абдурагимов, В.В. Роенко, В.А. Пряничников, А.А. Порошин, Ю.А. Матюшин, Ф.А. Исайкин, А.Н. Денисов, P. Wagner, P. Kolesar, N. Challands, J. F. Campbell и другие.

В этих работах рассмотрены вопросы оперативного и стратегического управления подразделениями пожарно-спасательной службы. Однако скоростные характеристики оперативных пожарно-спасательных подразделений при помощи геоинформационных технологий ранее не изучались, также не было изучено преимущество движения пожарно-спасательных подразделений в транспортном потоке.

Цели и задачи. Целью исследования является разработка методов и алгоритмов информационно-аналитической поддержки управления оперативными пожарно-спасательными подразделениями во время экстренного реагирования.

Для достижения цели сформулированы следующие **задачи**:

– провести анализ существующих автоматизированных систем управления экстренными службами для определения направления их совершенствования;

– произвести сбор и анализ геоинформационных данных о выездах оперативных пожарно-спасательных подразделений в целях установления влияния различных внешних факторов на скорость их следования к месту вызова;

– разработать метод ретроспективного сравнения геоинформационных данных движения спецтехники с движением транспортного потока, позволяющий определить преимущество спецтехники в транспортном потоке;

– разработать компьютерную программу для обработки и анализа геоинформационных данных, необходимую для уменьшения времени обработки и частичного анализа полученных данных;

– провести анализ статистических данных, характеризующих скоростные характеристики движения оперативных пожарно-спасательных подразделений к месту вызова в городских условиях и определить их статистические модели;

– определить коэффициент преимущества движения оперативных пожарно-спасательных подразделений в транспортном потоке и разработать мультипликативную модель определения скорости их следования с учетом загруженности дорог и влияния различных факторов;

– разработать алгоритм определения коэффициента преимущества движения в транспортном потоке для экстренных служб в различных условиях реагирования.

Объект исследования: оперативная деятельность пожарно-спасательных подразделений.

Предмет исследования: методы и алгоритмы информационно-аналитической поддержки управления оперативными пожарно-спасательными подразделениями во время экстренного реагирования.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– исследованы скоростные характеристики оперативных пожарно-спасательных подразделений в городских условиях с использованием геоинформационных данных, определены их зависимости от внешних факторов;

– разработан метод ретроспективного сравнения геоинформационных данных движения спецтехники с движением транспортного потока, позволяющий определить преимущество спецтехники в транспортном потоке;

– разработана компьютерная программа для обработки и анализа геоинформационных данных полученных во время реагирования оперативных пожарно-спасательных подразделений по экстренному вызову;

– определены статистические модели изменения скоростных характеристик оперативных пожарно-спасательных подразделений в зависимости от различных факторов;

– определен коэффициент преимущества движения оперативных пожарно-спасательных подразделений в транспортном потоке во время экстренного реагирования;

– создана мультипликативная модель определения скорости следования оперативных пожарно-спасательных подразделений с учетом загруженности дорог и влияния различных факторов;

– разработан алгоритм определения коэффициента преимущества движения в транспортном потоке для экстренных служб в различных условиях реагирования.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:

– предложенный метод ретроспективного сравнения геоинформационных данных движения спецтехники с движением транспортного потока позволяет определить преимущество спецтехники в транспортном потоке;

– полученные статистические модели позволяют повысить точность прогнозирования автоматизированными системами управления времени следования оперативных пожарно-спасательных подразделений к месту вызова;

– выявленные зависимости позволяют усовершенствовать математические модели, используемые для определения численности и мест дислокации оперативных пожарно-спасательных подразделений;

– разработанный алгоритм позволит определить коэффициент преимущества движения в транспортном потоке для экстренных служб в различных условиях реагирования.

Методология и методы исследования. В ходе проведения исследования были применены методы системного анализа, методы общей и математической статистики, методы математического моделирования.

Личный вклад автора. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в разработке и научном обосновании методов, моделей и алгоритмов информационно-аналитической поддержки управления оперативными пожарно-спасательными подразделениями.

В совместных публикациях результаты, связанные с анализом текущей ситуации в исследуемой области, разработкой метода, мультипликативной модели, алгоритма определения коэффициента, а также исследование скоростных характеристик оперативных пожарно-спасательных подразделений выполнены автором самостоятельно.

Положения, выносимые на защиту:

– метод ретроспективного сравнения геоинформационных данных движения спецтехники с движением транспортного потока;

– результаты исследования скоростных характеристик оперативных пожарно-спасательных подразделений во время выезда по экстренному вызову и статистические модели их изменения в зависимости от различных факторов;

– коэффициент преимущества движения оперативных пожарно-спасательных подразделений в транспортном потоке во время экстренного выезда;

– мультипликативная модель определения скорости следования оперативных пожарно-спасательных подразделений с учетом загруженности дорог и влияния различных факторов;

– алгоритм определения коэффициента преимущества движения в транспортном потоке для экстренных служб в различных условиях реагирования.

Степень достоверности и апробация результатов, представленных в диссертационной работе, достигалась:

– использованием при получении данных современных поверенных измерительных приборов, измерительной аппаратуры и геоинформационных систем, обеспечивающих достаточную точность измерений;

– использованием апробированного математического аппарата;

– корректным использованием исходных данных;

– согласованностью полученных результатов с результатами работ других исследователей.

Основные результаты работы доложены на: международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (Москва, 2015 г.); международных научно-технических конференциях «Системы безопасности» (Москва, 2015, 2016 гг.); международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности» (Москва, 2015 г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 9 работ, из них 3 в изданиях, рекомендованных ВАК, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 3 работы опубликованы в единоличном авторстве.

Материалы диссертационной работы реализованы в:

– имитационной системе (КИС) КОСМАС предназначенной для исследования, экспертизы и проектирования экстренных и аварийно-спасательных служб города;

– учебном процессе Академии ГПС МЧС России при изучении дисциплины «Математические методы и модели управления ГПС и РСЧС»

– в работе ФКУ «ЦУКС ГУ МЧС России по г. Москве» для повышения точности прогноза времени сосредоточения сил и средств по экстренному вызову, а также при подготовке документов предварительного планирования действий оперативных пожарно-спасательных подразделений;

– в научно-исследовательской работе ФГБУ ВНИИПО МЧС России «Нормативно-аналитическая поддержка деятельности по оценке эксплуатации пожарных автомобилей, средств индивидуальной защиты, пожарно-технического вооружения и пожарных рукавов» за 2016 г.

Реализация результатов исследования подтверждена соответствующими актами.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка используемых сокращений (приложение Г), списка литературы и 4 приложений. Общий объем диссертационной работы – 141 страница. Работа иллюстрирована 66 рисунками и содержит 25 таблиц. Библиографический список включает в себя 115 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, определены объект и предмет исследования, поставлена цель и задачи диссертационной работы, представлены сведения о научных результатах и практической значимости исследования.

В первой главе «Анализ систем управления подразделениями экстренных служб. Состояние и перспективы развития» проведен обзор проблем обеспечения безопасности крупных городов, рассмотрены возможные деструктивные события, причины и вероятности их возникновения, а также методы борьбы с ними и минимизации их последствий.

Рассмотрен уровень автомобилизации населения России и других стран как один из факторов, оказывающих влияние на скорость транспортного потока и следования оперативных пожарно-спасательных подразделений (ОПСП) по экстренному вызову. Помимо уровня автомобилизации, был проведен анализ особенностей транспортных сетей в различных странах, рассмотрен отечественный и зарубежный опыт борьбы с пробками. Анализ показал, что основными проблемами дорожной сети мегаполисов являются: растущие темпы застройки, резкий рост автомобилизации населения, недостаточно развитая сеть общественного транспорта, нехватка парковок и т. д.

Следующим этапом исследования стал анализ нормативно-правовых документов, регламентирующих время реагирования экстренных и аварийно-спасательных служб (ЭАСС) в России и за рубежом. Эффективность работы всех ЭАСС зависит от скорости реагирования на различные деструктивные события, при этом наиболее высокие требования по времени реагирования предъявляются к оперативным пожарно-спасательным подразделениям. Например, отечественные нормативные документы регламентируют размещение подразделений таким образом, чтобы максимальное время прибытия первого подразделения к месту вызова в городских поселениях и городских округах не превышало 10 минут, а в сельских поселениях – 20 минут. Не смотря на жесткое нормирование времени реагирования, ни одна из экстренных служб не обеспечивает повсеместное выполнение установленных нормативов. В городах этому, как правило, препятствует высокая загруженность дорог.

Современные системы управления являются одним из инструментов сокращения времени реагирования подразделений ЭАСС на деструктивные события, в связи с этим в работе был проведен анализ системы управления ЭАСС (рисунок 1). Также были изучены современные системы диспетчеризации и автоматизированные системы управления, обеспечивающие высылку сил и средств ЭАСС. Далее был проведен анализ картографических сервисов, используемых в современных АСУ ЭАСС.

При помощи картографического сервиса Google maps была определена средняя скорость транспортного потока в городе Москве, в исследуемый период времени она составила 23,13 км/ч. Существует гипотеза о том, что скорость движения ЭАСС по экстренному вызову выше скорости транспортного потока, поскольку в соответствии с правилами дорожного движения водителям транспортных средств с включенными специальными сигналами дозволяется отступать от ряда требований, выполняющим неотложное служебное задание.

В исследованиях немецких ученых есть данные о средних скоростях транспортного потока и оперативных пожарно-спасательных подразделений при движении по экстренному вызову – они составляют 24,14 и 32 км/ч, соответственно. Данный факт указывает на преимущество движения оперативных подразделений по сравнению с транспортным потоком в 1,33 раза или на 33 %.

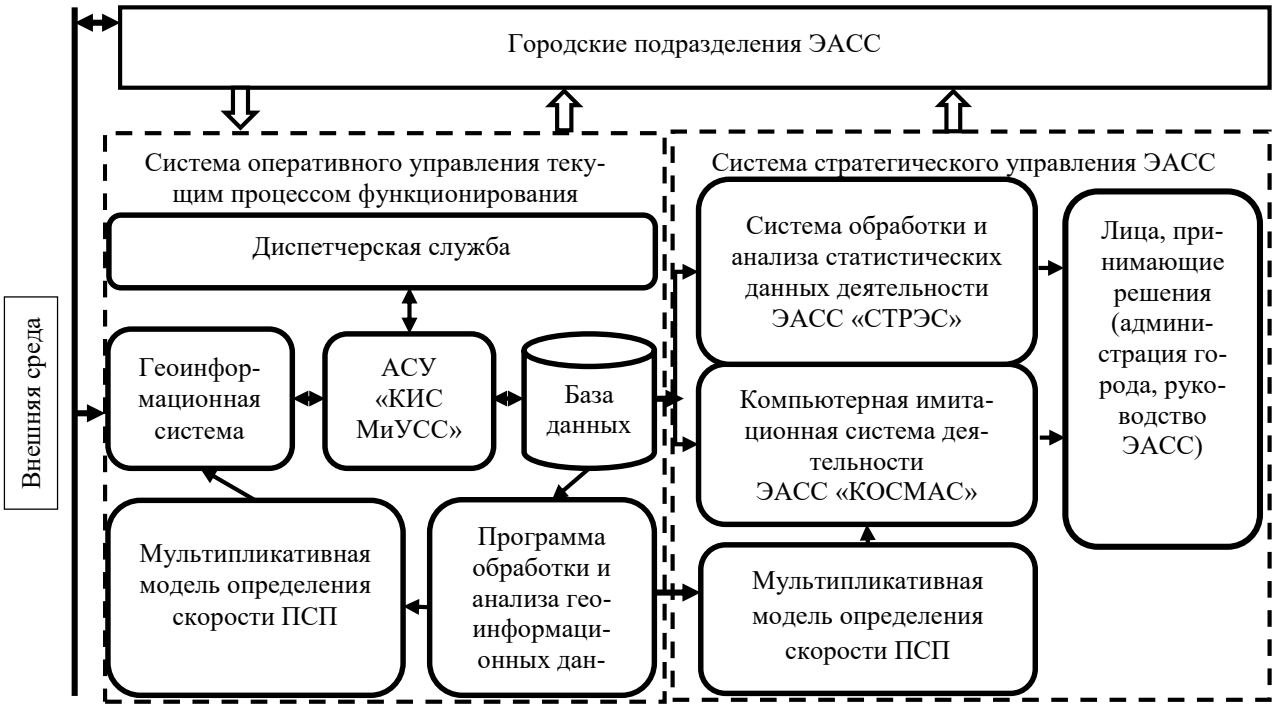


Рисунок 1 – Схема системы управления экстренных и аварийно-спасательных служб (ЭАСС)

В России преимущество движения ЭАСС в транспортном потоке мало изучено и не учитывается при оперативном и стратегическом управлении оперативными пожарно-спасательными подразделениями. В данном исследовании оперативное управление рассматривается с точки зрения использования автоматизированных систем управления оперативными пожарно-спасательными подразделениями, а стратегическое управление рассматривается в рамках применения математических моделей, используемых для определения численности и мест дислокации пожарно-спасательных подразделений.

Исходя из цели работы, были определены ее научные задачи, а именно: в исследовании скоростных характеристик следования к месту вызова оперативных пожарно-спасательных подразделений и их преимущества движения в транспортном потоке при помощи современных геоинформационных технологий.

Используя массив геоинформационных данных, были определены статистические модели изменения скоростных характеристик оперативных пожарно-спасательных подразделений, следовавших к месту вызова в городских условиях от различных факторов: дистанции выезда, типа техники, дня недели и времени суток. Далее был определен коэффициент преимущества движения оперативных пожарно-спасательных подразделений в транспортном потоке, на его основе были определены коэффициенты влияния внешних факторов на преимущество

оперативных пожарно-спасательных подразделений в транспортном потоке. Коэффициенты, которые были определены в результате исследования, вошли в разработанную мультипликативную модель определения скорости следования оперативных пожарно-спасательных подразделений. В результате проведенного исследования был разработан алгоритм определения параметров статистических моделей скоростных характеристик движения по экстренному вызову для различных ЭАСС и условий реагирования.

Полученные результаты позволят повысить точность прогнозирования времени следования к месту вызова автоматизированными системами управления и усовершенствовать математические модели, используемые для определения численности и мест дислокации, оперативных пожарно-спасательных подразделений.

Во второй главе «Анализ скоростных характеристик оперативных пожарно-спасательных подразделений во время экстренного реагирования» для исследования скоростных характеристик движения оперативных пожарно-спасательных подразделений по экстренному вызову был проведён сбор и анализ геоинформационных данных. Для этого использовалась Комплексная информационная система мониторинга и управления силами и средствами (КИС МиУСС). Она была введена в работу в первой половине 2016 года на территории пожарно-спасательного гарнизона города Москвы. В данной автоматизированной системе управления реализована возможность контроля и записи изменения геопозиции пожарно-спасательных автомобилей. Это стало возможным благодаря оборудованию всего автопарка Московского пожарно-спасательного гарнизона телеметрическими ГЛОНАСС устройствами. С начала своей работы КИС МиУСС производит запись всех перемещений пожарно-спасательных автомобилей и хранит записанные данные на сервере. В результате был осуществлен сбор геоинформационных данных, записанных с момента выезда оперативных пожарно-спасательных подразделений на экстренный вызов до прибытия к месту вызова.

В записи геоинформационных данных принимали участие пожарно-спасательные автомобили территориального пожарно-спасательного гарнизона города Москвы: АБГ (пожарный автомобиль-база газодымозащитной службы), АСА (пожарный аварийно-спасательный автомобиль), АЦ (пожарная автоцистерна), АПК (пожарный коленчатый автоподъемник), АЛ (пожарная автолестница). Были получены более 3000 файлов формата GPX (текстовый формат хранения и передачи данных), записанные в период с 15 июля по 15 декабря 2016 г., в каждом из которых содержались геоинформационные данные о конкретном экстренном выезде. Каждый записанный файл GPX (трек) содержит в себе набор данных о геопозиции во время экстренного выезда: координаты (широта, долгота, высота над уровнем моря) и время в которое автомобиль находился в указанной точке.

Из всего полученного массива данных были исключены треки, содержащие ошибочные данные, и треки, содержащие менее 30 точек (геопозиций) на маршруте следования, поскольку данный объем информации не позволяет провести корректную обработку и анализ выезда. В результате были отобраны

1 350 треков, что позволило получить необходимую информацию о динамике движения ОПСП.

Помимо определения скоростных характеристик ОПСП, задачей данного исследования также является определение преимущества ОПСП в транспортном потоке. Для этого был разработан метод ретроспективного сравнения геоинформационных данных движения спецтехники с движением транспортного потока. Суть метода заключается в определении скорости транспортного потока на маршруте, пройденном оперативным подразделением непосредственно во время экстренного вызова и сравнение ее со скоростью оперативного пожарно-спасательного подразделения. Скорость транспортного потока была получена при помощи картографического сервиса Google maps. Данный сервис обладает функцией отображения загруженности дорог ретроспективно, при помощи этой функции было определено время необходимое для преодоления маршрута, пройденного ОПСП во время экстренного выезда с учетом загруженности дорог на момент выезда.

Зная расстояние до места вызова и время, за которое транспортный поток преодолеет это расстояние, была получена скорость транспортного потока на маршруте следования ОПСП по экстренному вызову, непосредственно в момент выезда.

Обработка записанных треков, а также получение информации о скорости транспортного потока из картографического сервиса Google maps в ручном режиме занимало значительное время, поскольку каждый выезд приходилось обрабатывать отдельно, как и при обработке записанных во время экстренных вызовов GPX-треков, что затрудняло процесс обработки большого массива данных. Для ускорения процесса обработки и частичного анализа данных была разработана компьютерная программа «Программа обработки и анализа ГЛОНАСС-данных о следовании к месту вызова пожарно-спасательных подразделений», при помощи которой как обработка записанных GPX треков, так и определение скорости транспортного потока по Google maps на данном маршруте следования выполняется в автоматическом режиме. Следует заметить, что количество одновременно обрабатываемых данных практически неограниченно, и этот факт значительно ускоряет процесс получения необходимой информации.

Программа обработки и анализа данных ГЛОНАСС о следовании к месту вызова ОПСП была написана на языках программирования HTML и PHP. Она предназначена для обработки геоинформационных данных записанных в формате GPX. В данном исследовании она применялась для обработки и частичного анализа геоинформационных данных, записанных во время экстренных выездов ОПСП. Программа определяет время следования и протяженность маршрута до места вызова по данным, полученным из файлов GPX, затем при помощи координат и времени записи данных координат содержащихся в записанном треке получает из картографического сервиса Google maps время, необходимое для преодоления того же маршрута со скоростью транспортного потока по оптимистичному прогнозу (движение с максимальной скоростью транспортного потока), по пессимистичному прогнозу (движение с минимальной скоро-

стью транспортного потока), и время, необходимое для преодоления этого маршрута в идеальных условиях, то есть с максимально разрешённой скоростью движения на данном участке дороги. Блок-схема компьютерной программы представлена на рисунке 2.

Все записанные треки импортировались в программу, после чего программа обрабатывала полученные данные в автоматическом режиме, в качестве примера представленные в таблице 1.

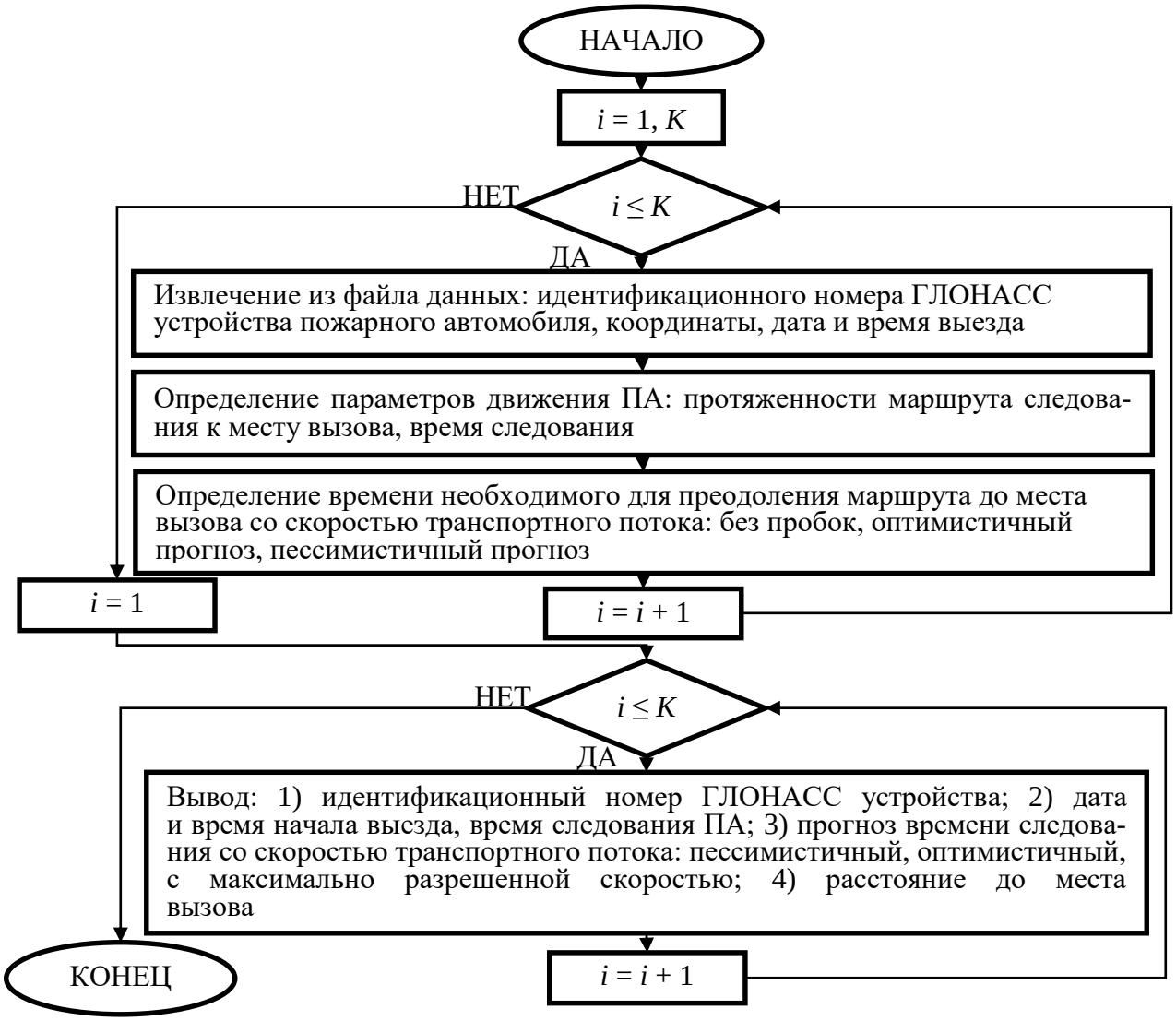


Рисунок 2 – Принципиальная блок-схема программы обработки и анализа ГЛОНАСС данных о следовании к месту вызова оперативных пожарно-спасательных подразделений:
i – счётчик; *K* – количество треков (файлы GPX)

Таблица 1 – Интерфейс программы обработки и анализа ГЛОНАСС данных о следовании к месту вызова пожарно-спасательных подразделений

Идентификационный номер ГЛОНАСС устройства	Дата и время выезда	Фактическое время следования ПА, с (чч:мм:сс)	Пессимистичный прогноз о времени следования, с (чч:мм:сс)	Оптимистичный прогноз о времени следования ТП, с (чч:мм:сс)	Прогноз времени следования ТП без пробок, с (чч:мм:сс)	Расстояние, м
1024082	09.08.2016 14:58:00	445 (00:07:25)	1114 (00:18:34)	603 (00:10:03)	553 (00:09:13)	6221

После обработки записанных треков был проведен анализ скоростных характеристик ОПСП по времени реагирования на экстренные вызовы. Для получения представления о распределении выездов по продолжительности и протяженности следования до места вызова весь массив данных был отсортирован по количеству выездов на каждую минуту следования и на каждый километр расстояния пройденного ОПСП. В результате распределения выездов были построены гистограммы (рисунки 3–4).

Представленные распределения частоты выездов ОПСП по экстренному выезду достаточно хорошо описываются распределением Эрланга различных порядков и коррелируются с данными полученными другими способами и другими исследователями.

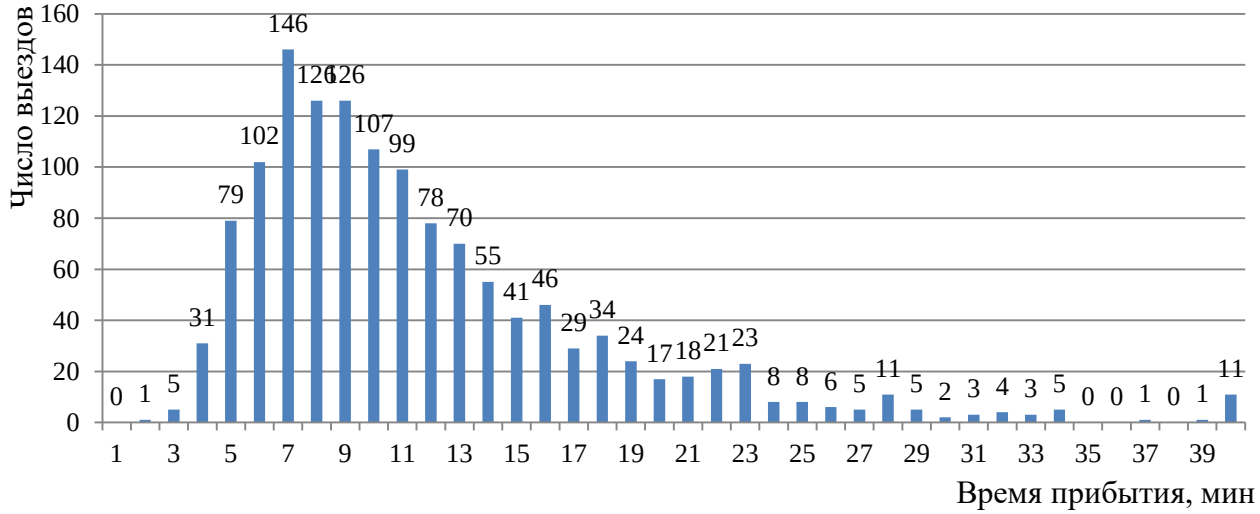


Рисунок 3 – Число выездов по минутам прибытия для всего массива данных

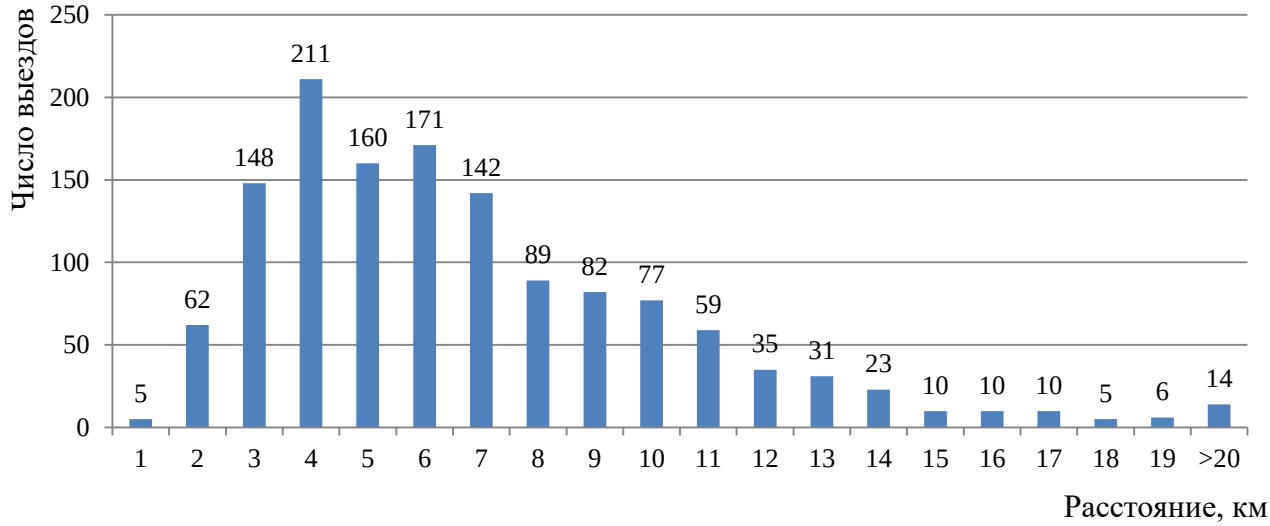


Рисунок 4 – Число выездов на каждый километр расстояния до места вызова

Следующим этапом стало исследование факторов, оказывающих влияние на скоростные характеристики ОПСП, следующих по экстренному вызову.

Зависимость изменения скорости следования от расстояния до места вызова представлена на рисунке 5. На графике видно, что с увеличением расстояния до места вызова наблюдается увеличение скорости следования, данная зависимость описывается статистической моделью следующего вида:

$$V_{\text{СРПА}} = -0{,}1181 \cdot S^2 + 3{,}4948 \cdot S + 17{,}76. \quad (1)$$

Коэффициент корреляции при этом составляет $R^2 = 0{,}901$.

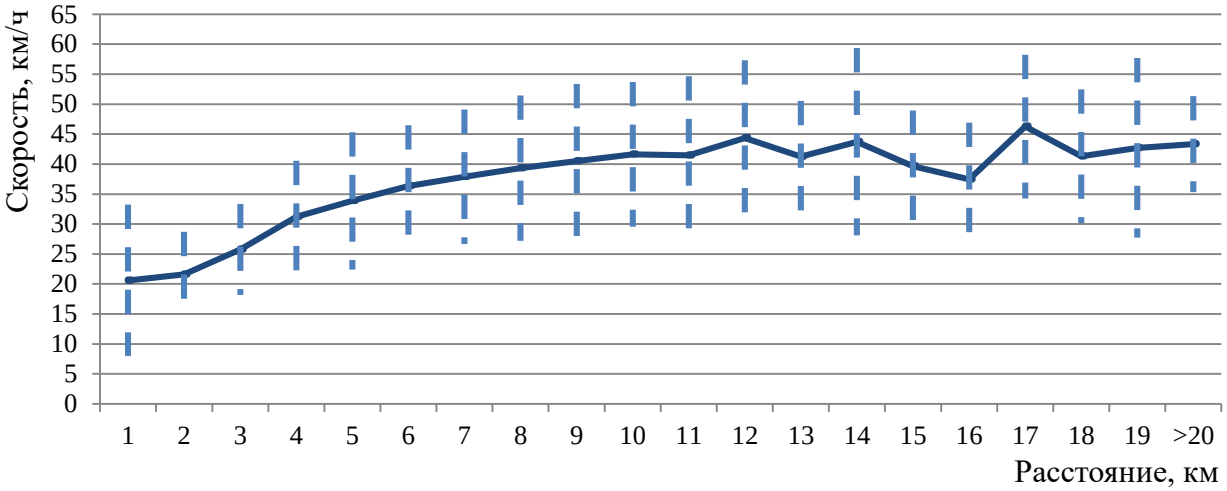


Рисунок 5 – Зависимость изменения средней скорости следования оперативных пожарно-спасательных подразделений от расстояния до места вызова (пунктирными линиями обозначено среднеквадратичное отклонение – по средним значениям на каждый километр)

В следующей части анализа было исследовано влияние типа пожарно-спасательного автомобиля на скорость следования подразделений к месту вызова. В пожарной охране применяются пожарные автомобили различных типов, которые обладают различными техническими характеристиками и особенностями применения, что не может не сказаться на их скоростных характеристиках. Данные, полученные в результате анализа, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Средние показатели по типам пожарно-спасательных автомобилей

Тип ПА	Число выездов	Среднее расстояние, км	Средняя скорость, км/ч
АЦ	504	5,27	33,69
АСА	687	7,46	36,91
АБГ	25	9,23	38,25
АЛ и АПК	134	4,57	31,02
Всего	1350	6,40	35,13

Высокая скорость следования автомобилей газодымозащитной службы объясняется тем, что количество данных автомобилей по сравнению с другими типами пожарно-спасательных автомобилей, представленными в Московском гарнизоне, незначительно, в связи с этим массив записанных данных составляет 25 выездов. Детальный анализ данных вызовов показал, что расстояние до мест вызовов было выше среднего, а так как расстояние до места вызова оказывает значительное влияние на скорость следования ПА, средняя скорость следования АБГ составила 38,25 км/ч.

Влияние дня недели на скорость транспортного потока очевидна, поскольку в будни загруженность транспортной сети увеличивается за счет того, что значительная часть населения следует к месту работы и обратно на личных транспортных средствах. Как показал анализ, загруженность дорог в будни оказывает негативное влияние и на скорость следования ОПСП, невзирая

на имеющееся преимущество движения в транспортном потоке. Зависимость скорости ОПСП от дня недели представлена на рисунке 6.

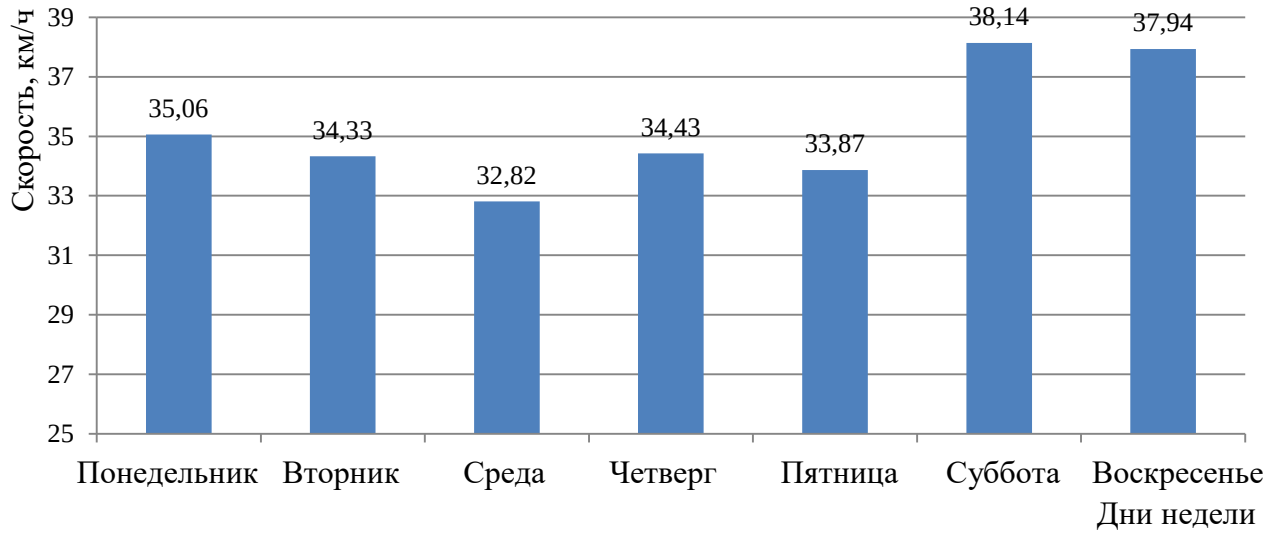


Рисунок 6 – Распределение средней скорости ПА по дням недели

Время суток аналогично, как и день недели оказывает влияние на степень загруженности дорог. Наиболее сильно загруженность транспортной сети увеличивается в часы пик. На рисунке 7 представлена диаграмма, отражающая влияние времени суток на скорость следования ОПСП.

Рисунок 7 – Распределение средней скорости ПА по времени суток

Логичным продолжением исследования степени влияния различных факторов было бы исследование влияния времени года на скорость оперативных пожарно-спасательных подразделений во время следования по экстренному вызову (период записи данных составляет полгода).

В записанных выездах, помимо координат (широта и долгота), содержалась информация об изменении высоты во время следования оперативных пожарно-спасательных подразделений. Для изучения скоростных характеристик ОПСП во время подъемов и спусков была использована программа обработки

и анализа данных GPSLog Labs. Было проведено исследование влияния перепадов высот на скорость ОПСП – анализ показал, что прямой зависимости скорости следования от количества и продолжительности подъемов и спусков нет.

Возможно, подобный факт можно объяснить рельефом местности в Москве: редко встречающимися продолжительными подъемами и спусками.

Результат обработки полученных геоинформационных данных представлен в таблице 3, данные об изменении высоты во время следования ПА по экстренному вызову представлены в таблице 4.

Таблица 3 – Данные, полученные в результате анализа экстренных выездов

Тип пожарно-спасательных автомобилей	АЦ	АСА	АЛ и КП	АБГ и ДЗ	**Всего**
Массив данных	504,00	687,00	134,00	25,00	**1350,00**
Общее расстояние, км.	2657,78	5118,14	611,90	230,66	**8618,48**
Максимальное расстояние, км	33,22	26,52	18,7	24,82	**33,22**
Минимальное расстояние, км	0,70	0,92	1,18	2,42	**0,70**
Среднее расстояние, км	5,27	7,46	4,57	9,23	**6,40**
Максимальная скорость, км/ч	139	159	131	90	**159,00**
Средняя скорость, км/ч	33,67	36,91	31,02	38,25	**35,13**
Максимальное время, мин	51,63	49,22	31,42	44,08	**51,63**
Минимальное время, мин	2,58	1,30	2,42	5,55	**1,30**
Среднее время, мин	9,41	12,96	9,06	15,49	**11,32**
Максимальная остановка, мин	8,50	13,93	8,77	4,35	**13,93**
Средняя остановка, мин	0,75	1,36	0,63	0,57	**1,05**

Таблица 4 – Данные, полученные в результате анализа изменения высот

Максимальный подъем, км	2,47
Максимальный спуск, км	1,71
Средний подъем, км	0,45
Средний спуск, км	0,32
Максимальная скорость вовремя подъема, км/ч	40,59
Максимальная скорость вовремя спусков, км/ч	36,38
Максимальное время подъема, мин	4,23
Максимальное время спуска, мин	2,5
Средняя продолжительность подъема, мин	0,71
Средняя продолжительность спуска, мин	0,58
Максимальный набор высоты, м	222,00
Средний набор высоты, м	32,83

В результате обработки геоинформационных данных была получена информация о скоростных характеристиках следования оперативных подразделений к месту вызова. Следующим этапом исследования является определение преимущества оперативных подразделений в транспортном потоке и определение степени влияния различных внешних факторов.

В третьей главе «Определение и исследование преимущества движения оперативных пожарно-спасательных подразделений в транспортном потоке» была разработана мультипликативная модель определения скорости следования ОПСП. Для учета в ней преимущества движения ОПСП в транспортном потоке при помощи метода ретроспективного сравнения геоинформационных данных движения спецтехники с движением транспортного потока был

определен коэффициент преимущества, также были определены коэффициенты влияния различных факторов. Разработан алгоритм определения коэффициента преимущества движения служб экстренного реагирования в транспортном потоке и предложены рекомендации по совершенствованию математических моделей, имитирующих функционирование экстренных служб.

Для определения скорости следования ОПСП $V_{ПА}$ была разработана мультипликативная модель:

$$V_{ПА} = V_{ТП} K_{СРПР} K_{ВЛ}, \quad (2)$$

где $V_{ПА}$ – скорость следования ОПСП; $V_{ТП}$ – скорость транспортного потока; $K_{СРПР}$ – средний коэффициент преимущества; $K_{ВЛ}$ – коэффициент влияния различных факторов.

Для вычисления скорости следования ОПСП было необходимо определить вышеуказанные значения. Скорость транспортного потока была определена разработанной программой обработки и анализа геоинформационных данных при помощи картографического сервиса.

Для определения преимущества ОПСП в транспортном потоке (коэффициента преимущества $K_{ПР}$) был применен метод ретроспективного сравнения геоинформационных данных движения спецтехники с движением транспортного потока. Сначала было проведено сравнение распределений времени следования до места вызова, для этого весь массив данных был отсортирован по количеству выездов на каждую минуту следования. В результате распределения выездов были построены графики, представленные на рисунке 8.

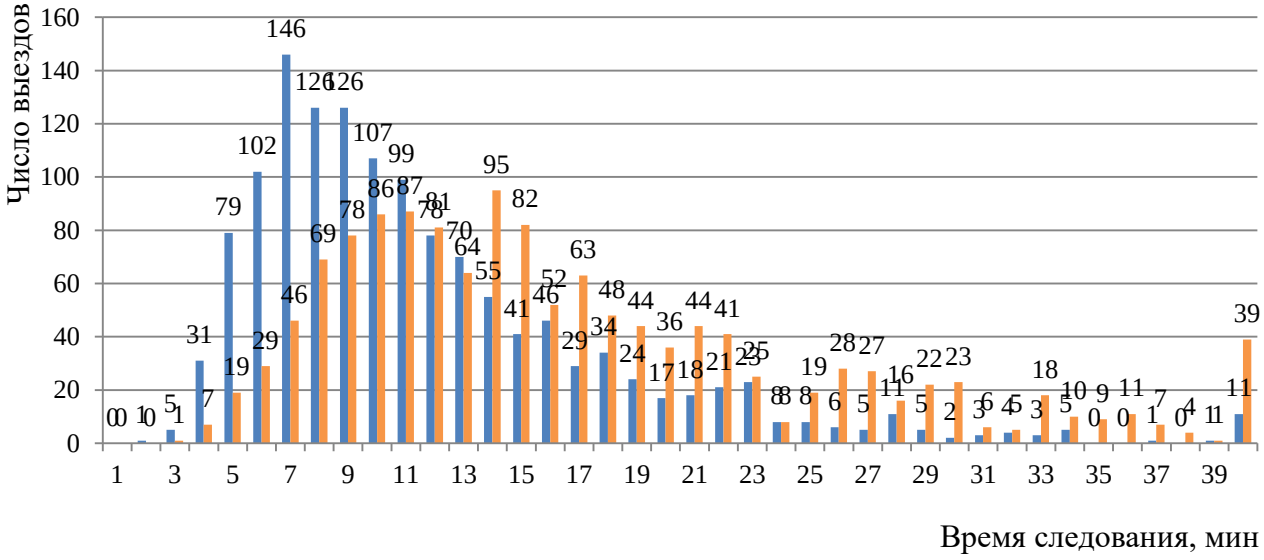


Рисунок 8 – Распределение числа выездов по минутам времени следования:
– время следования ПА, км/ч;
– время следования со скоростью транспортного потока, км/ч

Так как время следования является относительным показателем, в дальнейшем анализе сравнивались только показатели средней скорости следования. Результаты анализа по всему массиву данных показали, что средняя скорость транспортного потока составляет 23,13 км/ч, в то время как средняя скорость ОПСП составила 35,13 км/ч, что на 52 % выше скорости транспортного потока.

Преимущество движения ОПСП в транспортном потоке можно выразить через коэффициент преимущества:

$$K_{\text{СРПР}} = \frac{V_{\text{СРПА}}}{V_{\text{СРТП}}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{СРПР}}$ – средний коэффициент преимущества, он составляет 1,52; $V_{\text{СРПА}}$ – средняя скорость ОПСП по всему массиву данных; $V_{\text{СРТП}}$ – средняя скорость транспортного потока по всему массиву данных.

Для того чтобы коэффициент преимущества менялся в полном диапазоне, в мультипликативной модели применяется коэффициент влияния различных факторов $K_{\text{ВЛ}}$ на преимущество ОПСП в транспортном потоке. Данный коэффициент рассчитывается как произведение коэффициентов каждого внешнего фактора, оказывающего влияние на изменение преимущества ОПСП в транспортном потоке:

$$K_{\text{ВЛ}} = K_{\text{Р}} K_{\text{ПА}} K_{\text{М}} K_{\text{ДН}} K_{\text{ВС}}, \quad (4)$$

где $K_{\text{Р}}$ – коэффициент влияния расстояния до места вызова; $K_{\text{ПА}}$ – коэффициент влияния типа ПА; $K_{\text{М}}$ – коэффициент влияния месяца; $K_{\text{ДН}}$ – коэффициент влияния дня недели; $K_{\text{ВС}}$ – коэффициент влияния времени суток.

Поскольку сбор данных проводился в течение полугода, по полученному массиву данных нет возможности определения $K_{\text{М}}$.

В самом начале данного исследования анализировалось влияние расстояния, для этого было проведено сравнение скорости движения ОПСП по экстренному вызову и скорости транспортного потока в зависимости от расстояния до места вызова. Была произведена сортировка всего массива данных по расстоянию до места вызова (по километрам), затем было получено среднеарифметическое значение скорости во время выезда для каждого километра. Полученный результат представлен на рисунке 9.

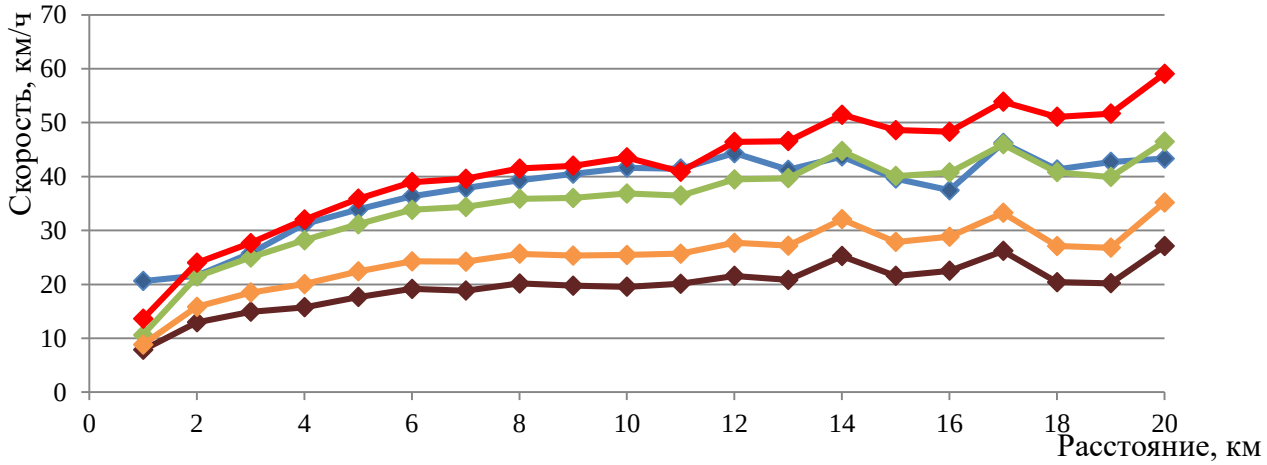


Рисунок 9 – Зависимость средней скорости следования от расстояния до места вызова по средним значениям на каждый километр:

– скорость следования ПА, км/ч;

– скорость следования транспортного потока, км/ч (средняя);

– скорость следования ТП, км/ч (без пробок, с максимально разрешённой скоростью);

– скорость следования транспортного потока, км/ч (оптимистичный прогноз);

– скорость следования транспортного потока, км/ч (пессимистичный прогноз)

С увеличением расстояния увеличивается скорость ПА, следующего по экстренному вызову, на расстоянии от 1 до 20 км его средняя скорость увеличивается более чем в 2 раза, но так как скорость транспортного потока с увеличением расстояния так же увеличивается, было принято решение рассчитывать коэффициенты влияния в зависимости от коэффициента преимущества ПА в транспортном потоке. Для определения коэффициента влияния расстояния на преимущество ОПСП в транспортном потоке была произведена сортировка коэффициентов преимущества для каждого вызова по каждому километру дистанции до места вызова и получены средние значения, затем среднеарифметическое среди значений коэффициента преимущества для каждого километра расстояния было взято за единицу, после чего был произведен расчет коэффициента влияния для каждого километра расстояния до места вызова.

Коэффициент влияния определяется следующим образом: среднее значение коэффициента преимущества для каждого километра было разделено на средний коэффициент преимущества, взятый за единицу, таким образом, был определен коэффициент влияния для каждого километра расстояния до места вызова. Диапазон изменения коэффициента преимущества и коэффициента влияния расстояния представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Коэффициент влияния расстояния до места вызова

Параметр	Число выездов	Коэффициент преимущества	Коэффициент влияния
Среднее	67,5	1,59	1,00000
Max	211,0	2,59	1,63053
Min	5,0	1,32	0,80503

По такому же алгоритму были определены коэффициенты влияния для остальных внешних факторов. В результате были получены значения для коэффициентов влияния, которые вошли в мультипликативную модель определения скорости следования ОПСП. Коэффициенты влияния служат поправочными коэффициентами для среднего коэффициента преимущества, для того чтобы фактор, оказывающий положительный эффект на преимущество ОПСП, имеющий значение коэффициента влияния больше единицы, увеличивал средний коэффициент преимущества, а фактор, оказывающий отрицательный эффект на преимущество ОПСП, имеющий значение коэффициента влияния меньше единицы, уменьшал средний коэффициент преимущества.

В пожарной охране применяются пожарные автомобили различных типов, которые обладают различными техническими характеристиками и особенностями применения. Был проведен сравнительный анализ скорости движения различных типов ПА и скорости транспортного потока (ТП). Диаграммы скорости ПА и ТП изображены на рисунке 10, коэффициенты, определенные в результате анализа, представлены в таблице 6.

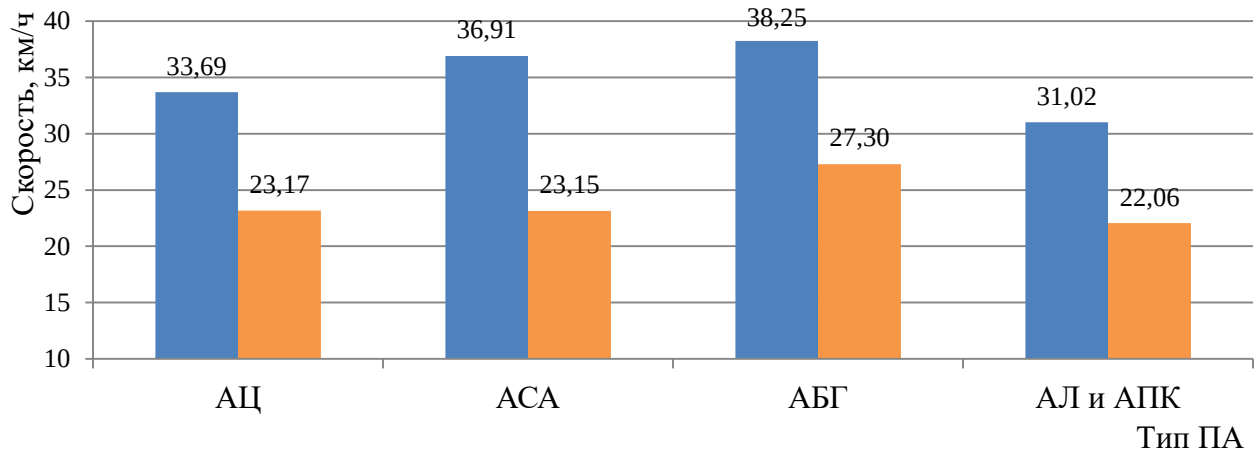


Рисунок 10 – Изменение средней скорости следования к месту вызова
в зависимости от типа ПА:
– средняя скорость ПА, км/ч; – средняя скорость ТП, км/ч

Таблица 6 – Коэффициент влияния типа пожарно-спасательного автомобиля

Параметр	Число выездов	Коэффициент преимущества	Коэффициент влияния
Среднее	337,3	1,53	1,00000
Max	686,0	1,63	1,06584
Min	25,0	1,44	0,94406

Поскольку загруженность дорог в мегаполисах меняется в зависимости от дня недели и времени суток, было проведено сравнение скорости ПА и ТП в зависимости от данных параметров и определены коэффициенты преимущества ПА в ТП, а также коэффициенты влияния дня недели и времени суток (таблицы 7–8; рисунки 11–12).

Таблица 7 – Коэффициент влияния дня недели

Параметр	Число выездов	Коэффициент преимущества	Коэффициент влияния
Среднее	192,7	1,58	1,00000
Max	211,0	1,65	1,04401
Min	158,0	1,52	0,95998

Таблица 8 – Коэффициент влияния времени суток

Параметр	Число выездов	Коэффициент преимущества	Коэффициент влияния
Среднее	56,1	1,54	1,00000
Max	111,0	1,77	1,14415
Min	19,0	1,34	0,86445

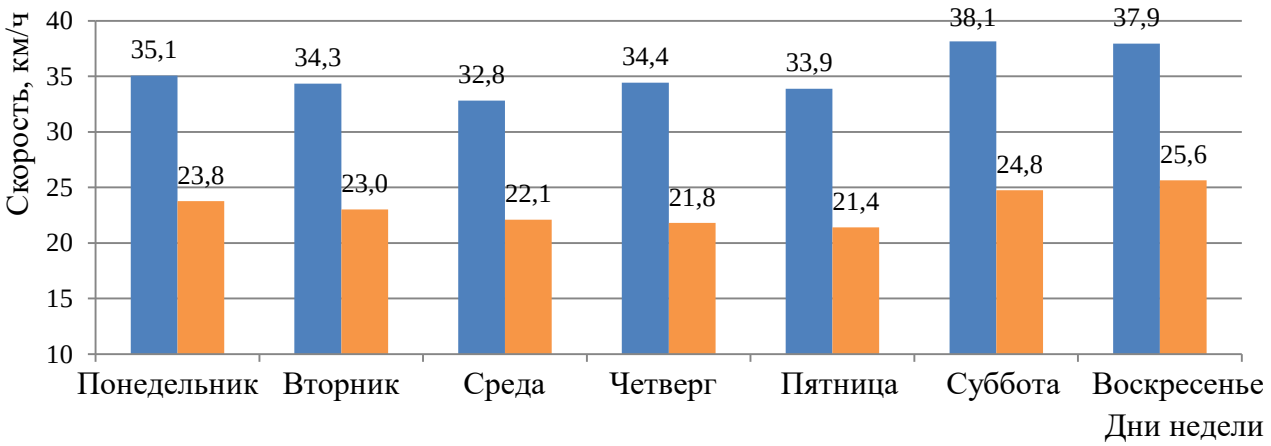


Рисунок 11 – Изменение средней скорости в зависимости от дня недели:
– средняя скорость ПА, км/ч; – средняя скорость ТП, км/ч

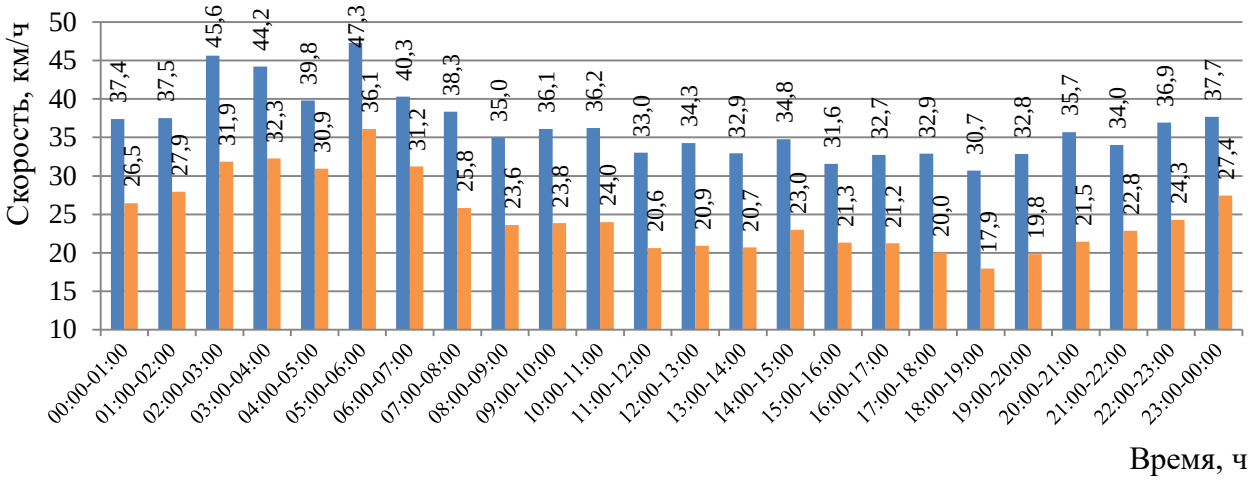


Рисунок 12 – Изменение средней скорости в зависимости от времени суток:
■ – средняя скорость ПА, км/ч; ■ – средняя скорость ТП, км/ч

Также в исследовании была проверена гипотеза о том, что коэффициент преимущества зависит от степени загруженности дорог:

$$K_{\text{ЗД}} = \frac{V_{\text{БП}}}{V_{\text{СРТП}}}, \tag{5}$$

где $K_{\text{ЗД}}$ – коэффициент загруженности дороги; $V_{\text{БП}}$ – скорость транспортного потока без пробок, $V_{\text{СРТП}}$ – средняя скорость транспортного потока.

Данная зависимость представлена на рисунке 13. Зависимость коэффициента преимущества от коэффициента загруженности дорог наиболее точно описывается следующей функцией:

$$K_{\text{ПР}} = 1{,}3369\text{e}^{0{,}0364 \cdot K_{\text{ЗД}}}, \tag{6}$$

которая является экспоненциальной аппроксимацией полученных значений, коэффициент корреляции при этом составляет $R = 0{,}7771$.

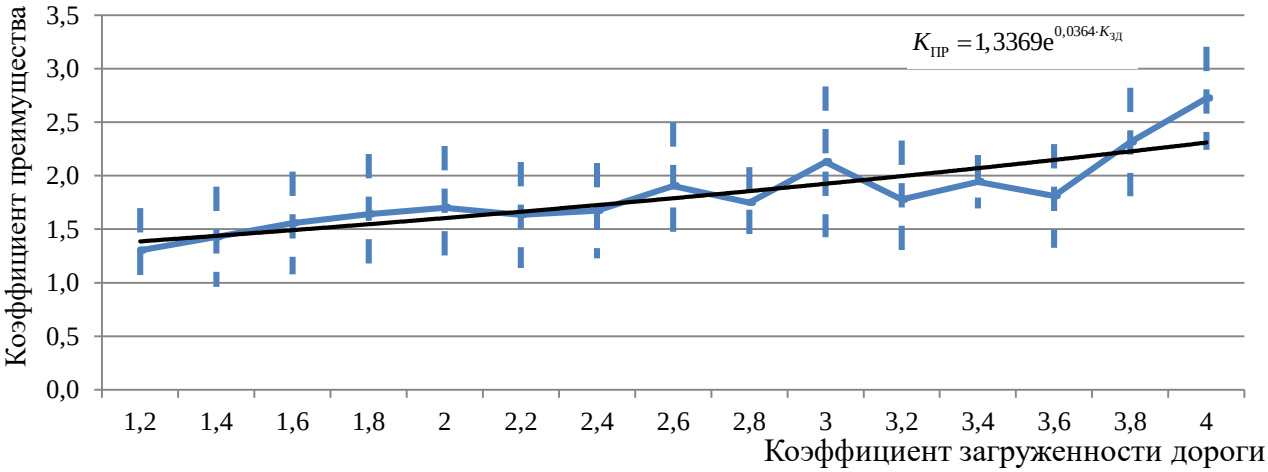


Рисунок 13 – Зависимость коэффициента преимущества от коэффициента загруженности дорог (пунктирными линиями обозначено среднеквадратичное отклонение)

В результате проведенного исследования были определены количественные показатели преимущества ОПСП в транспортном потоке и разработана мультипликативная модель определения скорости ОПСП в зависимости от раз-

личных факторов, что позволит рассчитать скорость и время следования по экстренному выезду ОПСП в различных условиях (в зависимости от степени влияния различных внешних факторов). Учитывая то, что принципиального отличия в системах реагирования по экстренному вызову других экстренных служб нет, был предложен алгоритм определения коэффициента преимущества движения служб экстренного реагирования в транспортном потоке (рисунки 14–15).

Блок записи, отправки и хранения телеметрических данных

Блок обработки и частичного анализа геоинформационных данных при помощи разработанной программы

Блок анализа, определения зависимостей и коэффициентов

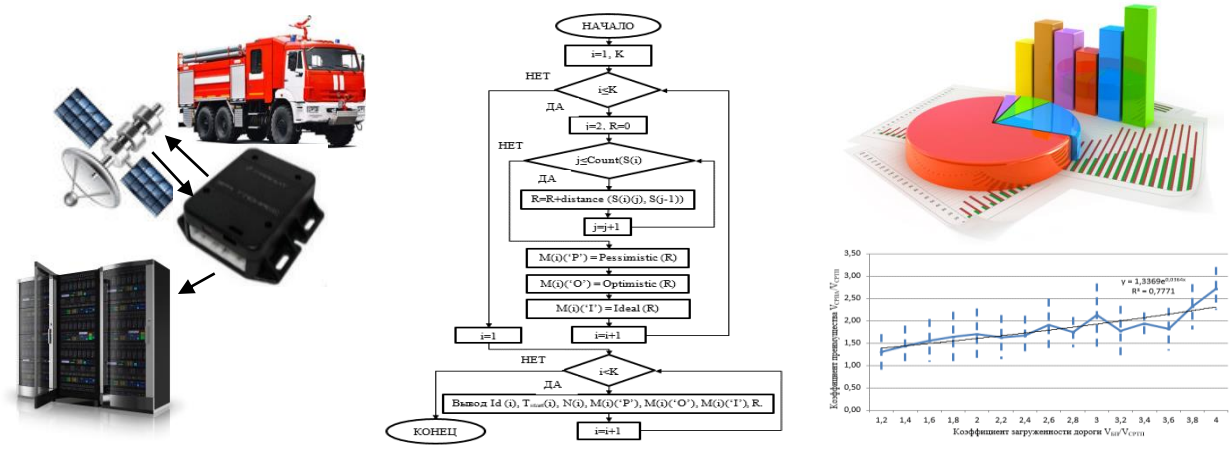


Рисунок 14 – Принципиальная схема определения коэффициентов преимущества экстренных служб в транспортном потоке

Далее были предложены рекомендации по совершенствованию управления оперативными пожарно-спасательными подразделениями как для АСУ комплексной информационной системы мониторинга и управления силами и средствами (КИС МиУСС), так и математических моделей, имитирующих функционирование экстренных служб, а именно компьютерной имитационной системы (КИС) КОСМАС.

В приложении приведены графики зависимости скорости следования оперативных пожарно-спасательных подразделений от расстояния до места вызова для различных типов пожарно-спасательных автомобилей, акты внедрения диссертационной работы, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, а также список сокращений, используемых в работе.

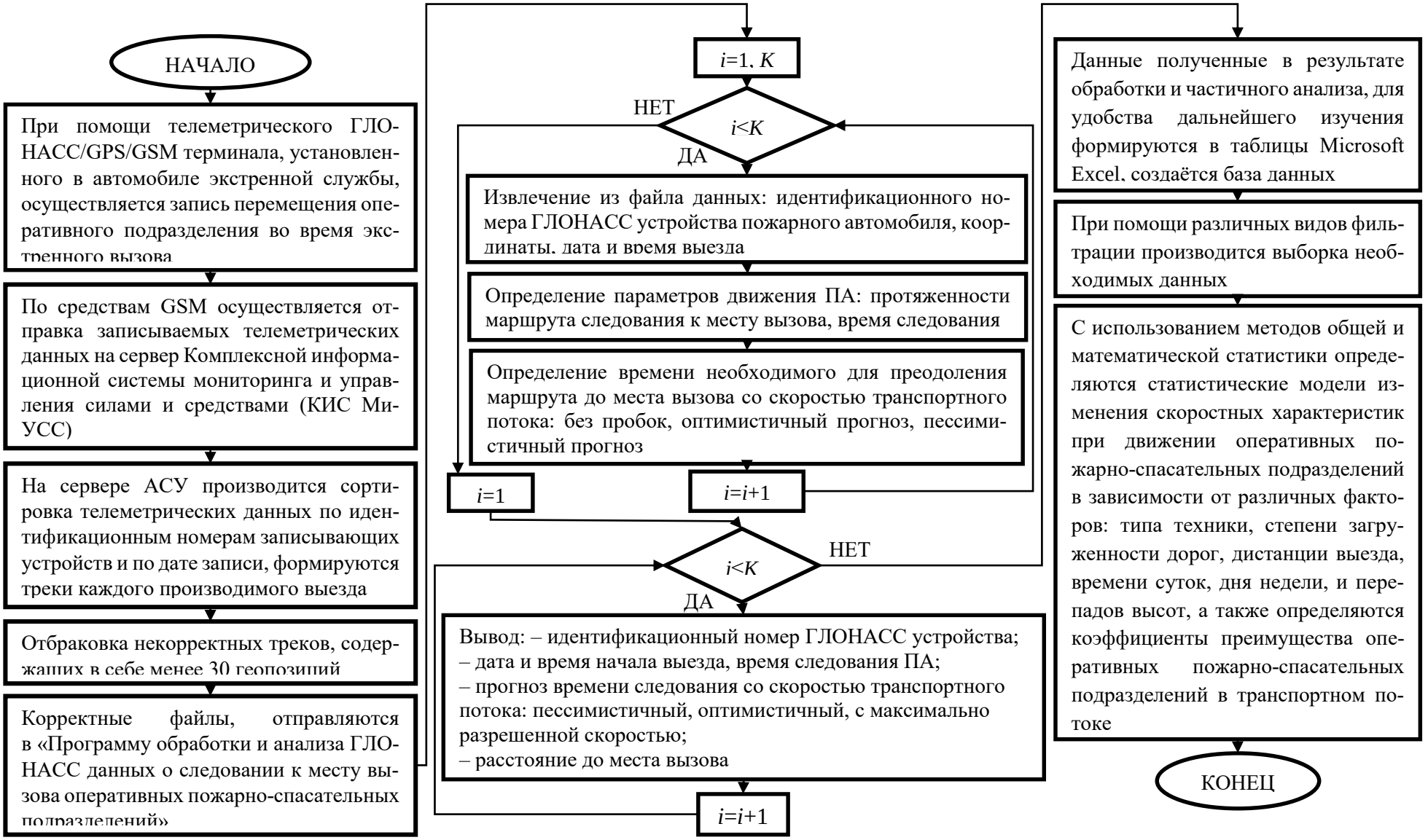


Рисунок 15 – Алгоритм определения коэффициентов преимущества экстренных служб в транспортном потоке:
i – счетчик; *K* – количество треков (файлов GPX)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ существующих автоматизированных систем управления экстренными службами, в результате которого:

– установлено, что КИС МиУСС, предназначенная для управления и координации действий всех экстренных служб города Москвы, в полном объеме работает только в подразделениях МЧС России;

– определено, что в ряде крупных и крупнейших городов зарубежных стран все экстренные службы пользуются единой автоматизированной системой управления, что позволяет повысить уровень межведомственного взаимодействия и увеличить скорость обмена данными;

– обоснована необходимость определения скоростных характеристик пожарно-спасательных подразделений во время экстренного выезда при помощи геоинформационных технологий;

– обоснована необходимость выведения коэффициента преимущества оперативных пожарно-спасательных подразделений в транспортном потоке, что позволит повысить эффективность работы КИС МиУСС и усовершенствовать математические модели, используемые для определения численности и мест дислокации пожарно-спасательных подразделений.

2. Проведен сбор и анализ геоинформационных данных о выездах оперативных пожарно-спасательных подразделений:

– сбор геоинформационных данных производился при помощи ГЛОНАСС устройств, установленных в пожарно-спасательных автомобилях Московского территориальном пожарно-спасательного гарнизона.

3. Разработан метод ретроспективного сравнения геоинформационных данных движения спецтехники с движением транспортного потока, позволяющий определить преимущество спецтехники в транспортном потоке;

4. Разработана компьютерная программа для обработки и анализа геоинформационных данных, при помощи которой:

– была произведена обработка собранного массива данных о реагировании на экстренные вызовы оперативных пожарно-спасательных подразделений г. Москвы;

– определена скорость транспортного потока на маршруте следования оперативных пожарно-спасательных подразделений во время экстренного вызова.

5. Проведен анализ статистических данных, характеризующих скоростные характеристики оперативных пожарно-спасательных подразделений во время следования по экстренному вызову в городских условиях и определены их статистические модели:

– определены скоростные характеристики оперативных пожарно-спасательных подразделений во время следования по экстренному вызову;

– выявлены зависимости изменения скорости движения оперативных пожарно-спасательных подразделений от внешних факторов;

6. Разработана мультипликативная модель определения скорости следования ОПСП с учетом и влияния внешних факторов, а также определены входящие в нее коэффициент преимущества движения оперативных пожарно-спасательных подразделений в транспортном потоке и коэффициенты влияния внешних факторов. Данная модель может применяться:

– в автоматизированных системах управления пожарно-спасательными подразделениями для повышения точности прогноза времени следования к месту вызова;

– для совершенствования математических моделей, используемых для определения численности и мест дислокации пожарно-спасательных подразделений.

7. Разработанный алгоритм определения коэффициента преимущества движения оперативных подразделений в транспортном потоке во время следования по экстренному вызову для различных дорожных условий и экстренных служб позволяет:

– осуществлять сбор необходимых статистических данных;

– определять преимущество движения в транспортном потоке различных экстренных служб.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих ведущих периодических изданиях из перечня ВАК:

1. Пряничников, В.А. Концепция модели обеспечения нормативного времени прибытия аварийных служб в условиях мегаполиса [Текст] / В.А. Пряничников, М.В. Сибиряков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация 2015 – № 3. – С. 37–39.

2. Сибиряков, М.В. Анализ геоинформационных данных о следовании пожарно-спасательных подразделений к местам экстренных вызовов [Электронный ресурс] / М. В. Сибиряков // Технологии техносферной безопасности. – 2016 – № 6. – С. 214–221. Режим доступа: http://ipb.mos.ru/ttb (дата обращения 09.07.2016).

3. Соколов, С.В. Определение преимущества движения пожарно-спасательных подразделений в транспортном потоке [Электронный ресурс] / С.В. Соколов, М.В. Сибиряков // Технологии техносферной безопасности. – 2017 – № 1. – С. 244–254. Режим доступа: http://ipb.mos.ru/ttb (дата обращения 09.03.2017).

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

4.Сибиряков, М.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017613626. Программа обработки и анализа ГЛОНАСС данных о следовании к месту вызова пожарно-спасательных подразделений. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 23.03.2017г.

Остальные публикации по теме диссертационной работы:

4. Пряничников, В.А. Определение путей достижения нормативного времени следования, как основного критерия оценки оперативности пожарных подразделений [Текст] / В.А. Пряничников, М.В. Сибиряков // Материалы Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации – 2015». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 60–63.

5. Сибиряков, М.В. Реагирование подразделений пожарной охраны на пожары произошедшие на объектах энергетики [Текст] / М.В. Сибиряков // Материалы 4-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2015». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 100–103.

6. Пряничников, В.А. Использование информационных картографических сервисов в управлении подразделениями пожарной охраны [Текст] / В.А. Пряничников, М.В. Сибиряков // Материалы 24-й Международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2015». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 220–223.

7. Соколов, С.В. Использование информационных картографических сервисов в управлении подразделениями пожарной охраны [Текст] /С.В. Соколов, М.В. Сибиряков // Материалы 25-й Международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2016». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016 – С. 413–416.

8. Сибиряков, М.В. Анализ автоматизированных систем управления пожарно-спасательными подразделениями [Текст] / М.В. Сибиряков // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы». – Кокшетау: Кокшетауский технический институт Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан, 2017 – С. 259–261.

9. Сибиряков, М.В. Исследование преимущества движения пожарно-спасательных подразделений перед транспортным потоком [Текст] / М.В. Сибиряков, С.В. Соколов // Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции курсантов, студентов и слушателей «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы». – Минск: Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь, 2017 – С. 89.

Подписано в печать 02.04.2018 г. Формат бумаги 60х90 1/16
Тираж 100 экз. Заказ № 916

Академия ГПС МЧС России
129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4.