

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-2-153-168>



УДК 004.052

Метод управления бригадами машин службы скорой медицинской помощи на основе использования геоинформационных систем

Е. А. Коломиец¹ ✉, Т. И. Лапина¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: lenus07@yandex.ru

Резюме

Цель исследования – разработать метод управления бригадами машин службы скорой медицинской помощи на основе оптимизации планирования маршрута движения бригад с использованием геоинформационных систем.

Методы. Рассматриваются перспективы интеграции геоинформационных систем и геоинформационных технологий в систему управления транспортными потоками автомобилей скорой помощи. Этот подход предполагает создание оптимизированных маршрутов, минимизирующих время реагирования на экстренные вызовы и повышающих эффективность доставки пациентов в медицинские учреждения.

В контексте долгосрочной стратегии развития информационно-коммуникационных технологий в Российской Федерации особое внимание уделяется формированию современной информационной и телекоммуникационной инфраструктуры, а также разработке автоматизированных информационных систем, ГИС и ГИТ. Данные технологии направлены на создание высококачественных инновационных услуг и продуктов, которые могут быть эффективно интегрированы в социальные и медицинские системы.

Для решения этой проблемы проводится анализ различных источников исходной информации, включая данные о дорожной загруженности, статических и динамических параметрах транспортной инфраструктуры. Использование ГИС и ГИТ позволяет интегрировать и анализировать эти данные в реальном времени, обеспечивая высокую точность и оперативность принимаемых решений.

Результаты. Представленный метод управления бригадами скорой медицинской помощи основан на усовершенствованной версии эстафетного метода, что позволяет значительно повысить эффективность планирования маршрутов. В процессе работы с геопространственными данными осуществляется оптимизация маршрутов путем исключения тупиковых узлов, что существенно сокращает количество вычислений и, как следствие, минимизирует временные затраты на планирование.

Заключение. Использование ГИС в транспортных системах открывает значительные возможности для повышения эффективности оперативного принятия решений для ССМП.

Ключевые слова: геоинформационная система; пространственные данные; управление объектами; автоматизированная обработка; оптимальный маршрут.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для цитирования: Коломиец Е.А., Лапина Т.И. Метод управления бригадами машин службы скорой медицинской помощи на основе использования геоинформационных систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2025. Т. 15, № 2. С. 153–168. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-2-153-168>

Поступила в редакцию 18.04.2025

Подписана в печать 15.05.2025

Опубликована 30.06.2025

A method of managing ambulance crews based on the use of geographic information systems

Elena A. Kolomiets¹ ✉, Tatyana I. Lapina

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: lenus07@yandex.ru

Abstract

The purpose of the research is to develop a method for managing ambulance crews based on optimizing the planning of the route of the crews using geographic information systems.

Methods. The possibilities of using geoinformation systems to optimize the routes of ambulances are being considered. One of the priorities for the development of information and communication technologies in Russia in the long term is the formation of modern information and telecommunications infrastructure, automated information systems (AIS), geographic information systems (GIS) and geographic information technologies (GIT) and the provision of high-quality innovative services and products based on them, ensuring the effective application of their results in social facilities. Geoinformation systems and technologies (GIS technologies) are a powerful tool for visualizing geographically distributed information and subsequent decision-making on the planning of the route of vehicles (TS). A typical structural and functional organization of receiving calls from emergency medical services (SSMP) is given.

The problem of waiting for ambulances for patients and delivering them to medical institutions in general, especially during a pandemic, is urgent and needs to be addressed. The sources of initial heterogeneous information in the geospatial information support of the SSMP are given, on the basis of which traffic congestion is determined and static and dynamic parameters are identified.

Results. A method for managing SSMP teams has been developed, which includes the search for the shortest path, characterized by a modification of the relay method, which consists in processing geospatial data and removing dead ends, which reduces the number of calculations when planning routes.

Conclusion. The use of GIS in transport systems opens up significant opportunities for improving the efficiency of operational decision-making for SSMP.

Keywords: geoinformation system; spatial data; object management; automated processing; the optimal route.

Conflict of interest: The authors declares no conflict of interest related to the publication of this article.

For citation: Kolomiets E.A., Lapina T.I. A method of managing ambulance crews based on the use of geographic information systems. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2025;15(2):153–168. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-2-153-168>

Received 18.04.2025

Accepted 15.05.2025

Published 30.06.2025

Введение

Внедрение технологий интеллектуального транспорта изменило методы управления городским движением, предлагая динамичные решения для уменьшения заторов, повышения безопасности и оптимизации использования ресурсов. По этой причине дорожные заторы становятся основной проблемой для экспертов по планированию дорожного движения и городских менеджеров, которые должны отслеживать и понимать основные причины дорожных заторов для определения решений [1]. Транспортные заторы преследуют современные города, и справиться с их постоянно меняющимся характером является постоянной проблемой [2].

В работе [3] обсуждается использование интеллектуальных транспортных систем (ИТС) для прогнозирования транспортного потока и скорости, а также классификации различных дорожных ситуаций. В нем подчеркивается важность понимания структуры трафика и принятия обоснованных решений для эффективного управления трафиком. Целью исследования является изучение самых современных методов, используемых в ИТС для прогнозирования и классификации трафика, что указывает на акцент на прогнозировании будущих условий дорожного движения. Кроме того, в нем упоминается изучение методов предварительной обработки и оценки показателей, которые являются

важнейшими аспектами точности прогнозирования и оценки эффективности.

Основные методы и инструменты ГИС в управлении транспортом рассмотрены в работе [4]. К таким методам относятся:

- географический (пространственный) анализ использования транспортных систем и перевозок, который используется для анализа пространственных данных, таких как карты дорог, расположение остановок общественного транспорта, плотность населения и т. д.;

- маршрутизация и планирование, при котором ГИС позволяет оптимизировать планирование маршрута с учетом различных факторов, которые могут включать в себя такие факторы, как трафик, расстояние, время, стоимость транспортировки;

- управление дорожным движением, в котором используются данные о дорожном движении, собранные с камер, датчиков и GPS, с помощью которых можно успешно создавать цифровые динамические модели дорожного движения и прогнозы транспортных потоков на основе информации о дорожном движении в режиме реального времени;

- визуализация и мониторинг, позволяющий визуализировать географическую информацию на картах, что упрощает понимание и принятие решений;

- анализ окружающей среды, позволяющий анализировать социально-

экономические и экологические факторы, влияющие на транспортную систему [5].

В работе [6] рассматривается использование ГИС-технологий как инструмента, позволяющего повысить скорость реагирования различных ведомств пропускную способность при ликвидации чрезвычайных ситуаций за счёт точного определения места происшествия и ресурсов для ликвидации.

Ключевым аспектом успеха является способность мгновенно контролировать транспортный поток и делать обоснованный выбор с учетом меняющихся факторов окружающей среды и потребностей пользователей [7]. Однако сложность современных транспортных сетей создает значительные проблемы для достижения плавного управления и принятия решений [8]. С помощью ГИС создаются интерактивные карты, графики для наглядного представления данных о движении транспортных средств. Предоставление инструментов для анализа и оценки различных вариантов маршрутов позволяет принимать более обоснованные решения [9].

Планирование маршрутов играет важнейшую роль в решении многих проблем, с которыми сталкиваются городские транспортные системы. Определяя наиболее эффективные маршруты для транспортных средств, планирование маршрутов направлено на минимизацию времени в пути, снижение расхода топлива и уменьшение заторов на дорогах [10]. Эффективное планирование

маршрутов – это не просто выбор самого быстрого или короткого маршрута; оно также учитывает такие факторы, как условия дорожного движения в реальном времени, перекрытие дорог, аварии и спрос со стороны пользователей. Оптимизация этих маршрутов может повысить эффективность сети, позволяя лучше распределять ресурсы, сокращать задержки и повышать удобство поездок. Кроме того, планирование маршрутов тесно связано с общей эффективностью транспортной системы, поскольку неэффективность в одной области может иметь каскадный эффект по всей сети [11].

Особо остро эта проблема проявляется при оперативном принятии решений о планировании маршрута движения бригад служб скорой медицинской помощи (ССМП) [12].

Материалы и методы

В настоящее время существуют такие специализированные системы управления, как АДИС, МИСС 03, «Скорая помощь» и др., обеспечивающие оптимизацию принятия решений для ССМП относительно максимального сокращения времени реагирования на вызовы.

Для обеспечения эффективного управления и функционирования работы ССМП в регионе используется автоматизированная система управления «Скорая помощь». Рассмотрим основные задачи, решаемые АСУ:

1. Учет входящих вызовов:
– автоматическое начало отсчёта времени с момента поступления вызова;
– фиксация времени приёма и регистрации вызова в системе.

2. Регистрация входящих вызовов:
– автоматическое начало отсчёта времени с момента поступления вызова;
– фиксация времени приёма и регистрации вызова в системе.

3. Распределение вызовов и определение приоритета:
– определение времени установления приоритета вызова;
– регистрация времени распределения вызова между бригадами.

4. Оперативный приём вызовов в режиме реального времени:
– мониторинг времени поступления вызовов и их последовательности;
– фиксация времени начала реагирования на вызовы с высоким приоритетом.

5. Передача информации в службы экстренного реагирования:
– регистрация времени передачи информации о вызовах в соответствующие службы;
– фиксация времени начала координации действий между службами скорой медицинской помощи и другими службами [13].

Обработка вызовов осуществляется следующим образом:

1. Определение тип вызова (например, «Первичный», «Повторный», «Скорая неотложная помощь» и т. д.).

2. Заполнение контрольный талон, указав регистрационные данные пациента.

3. Передача информации диспетчеру на подстанцию, которая отвечает за район, где находится пациент.

4. Проверка, есть ли свободные бригады на подстанции, которые могут вернуться, и, если возможно, бригады, которые могут обслужить вызов по пути.

5. Отслеживание текущего состояния бригад и вызовов и контроль их изменения.

6. После прибытия фельдшер должен заполнить все поля результатов осмотра в мобильном приложении, после чего информация передается на подстанцию и определяются профильное ЛПУ [14].

На рисунке 1 представлена визуальная схема, которая наглядно показывает структуру и функции системы приёма вызовов.

Остановимся подробнее на блоке «Выезд бригады и определение маршрута», а именно на определении оптимального маршрута движения машины ССМП. В настоящее время пробки на дорогах стали серьезной проблемой, особенно остро это влияет на своевременное прибытие бригад ССМП на место вызова и оперативную доставку больных в профильные лечебно-профилактические учреждения (ЛПУ).

В работе [15] рассматриваются анализ и обработка графической информации, требующей оперирование с огромным объемом информации, и значительное время для выполнения анализа.

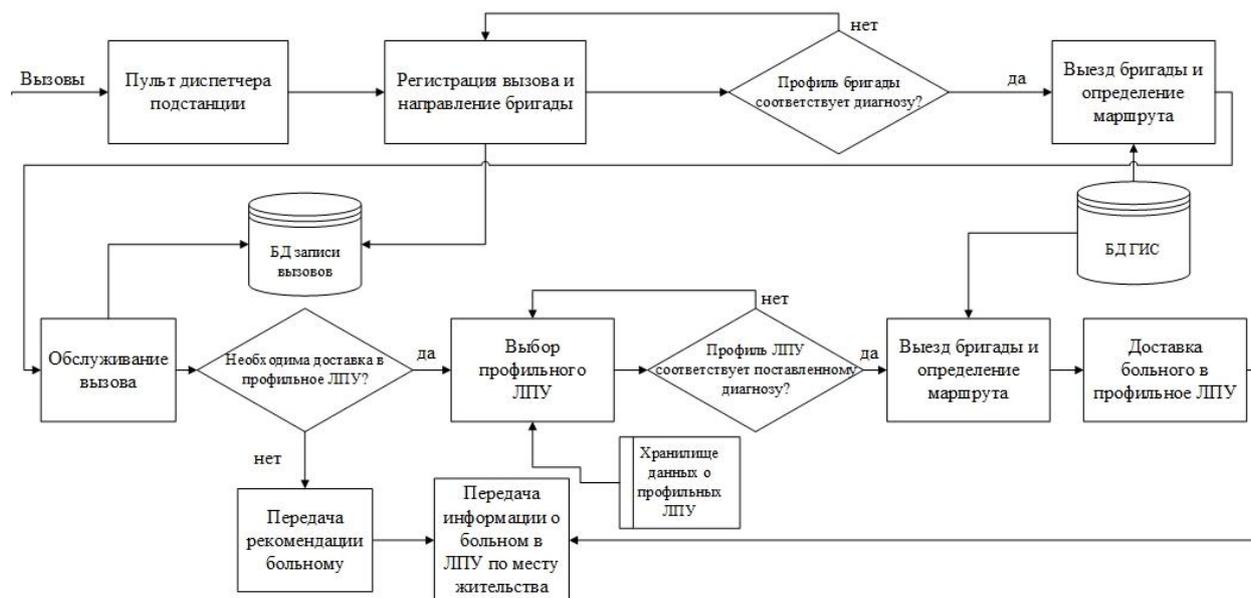


Рис. 1. Структура и функции обработки вызовов

Fig. 1. Call handling structure and functions

В рамках АСУ «Скорая помощь» осуществляется обработка геопространственных данных с использованием электронных картографических платформ. На этих картах, основанных на координатной привязке, визуализируются места вызовов, текущее расположение медицинских бригад и оптимальные маршруты их перемещения к местам происшествий.

Система мониторинга предоставляет пользователям возможность в реальном времени отслеживать ключевые показатели эффективности работы службы скорой помощи. Графическое представление данных в виде диаграмм на карте позволяет оперативно оценивать следующие параметры:

- количество обслуженных вызовов, что является индикатором объема выполненной работы и загруженности службы;

- количество свободных бригад, что критически важно для оперативного реагирования на вызовы и поддержания необходимого уровня готовности к чрезвычайным ситуациям;

- количество вызовов, находящихся в очереди на обслуживание, что позволяет оценить эффективность распределения ресурсов и выявить возможные узкие места в системе;

- количество обслуженных вызовов за смену, что является интегральным показателем производительности и эффективности работы медицинского персонала [16].

Таким образом, внедрение данной системы мониторинга значительно повышает уровень управления ресурсами и оперативность реагирования службы скорой помощи, способствуя более эффективному оказанию медицинской помощи населению.

Для того чтобы минимизировать время прибытия бригад скорой медицинской помощи на место вызова и время транспортировки пациента в профильное лечебное учреждение, можно использовать модифицированный эстафетный метод построения кратчайшего пути.

В основе предложенного подхода лежит теория графов, позволяющая формализовать и решить задачу нахождения оптимального маршрута от станции СМП до места нахождения пациента.

Ключевым элементом метода является концепция «эстафеты», при которой информация о загруженности транспортных путей в определённой локации становится доступной по мере прохождения маршрута предшествующими бригадами. Это позволяет адаптировать последующие маршруты с учётом текущих условий, минимизируя время отклика системы.

Процесс начинается с одновременного старта всех бригад из начальной точки (местоположение станции СМП), при этом скорость их движения принимается за единицу. На основе анализа загруженности участков пути формируется маршрут с минимальной транспортной нагрузкой, что обеспечивает наиболее эффективное использование ресурсов и сокращает время прибытия на место вызова. При первом же совпадении загруженность определяется как

$$Z_{k,j_1} = Z(\mu_{k,j_1}, L_{k,j_1}) = c_{k,j_1},$$

где μ_{kj_1} – маршрут движения.

В случае если конечная точка маршрута не совпадает с текущим местоположением пациента, система не может корректно определить оптимальный путь. В данной ситуации необходимо инициировать повторное распределение ресурсов. Для этого формируется новая группа специалистов, которая начинает движение из точки A_{j_1} , охватывая все оставшиеся узлы в системе. Данный метод обеспечивает динамическую адаптацию к изменяющимся условиям и минимизирует вероятность возникновения маршрутов с тупиковыми ситуациями.

В данном контексте $T_{j_1}^c$ представляет собой временной интервал, затраченный лидером предыдущей группы на достижение точки A_{j_1} . Параметр c_{j_1,j_2} отражает время, необходимое для перемещения между точками A_{j_1} и A_{j_2} . Общее время T_{j_2} включает в себя не только время, затраченное на путь от начальной точки предыдущей группы до начальной точки текущей группы, но и временной интервал, необходимый для достижения пункта A_{j_2} . Таким образом, $T_{j_2} = T_{j_1} + c_{j_1,j_2}$ интегрирует в себя суммарное время, необходимое для выполнения указанных этапов движения, что позволяет комплексно оценить эффективность перемещения бригады, а кратчайший путь находится как

$$\mu_{k,j_2}^0 = \mu_{k,j_1}^0 \cup \mu_{j_1,j_2}^0.$$

В случае если граничная вершина идентична целевой, процесс поиска считается завершённым. В противном случае итеративный цикл продолжается до

выполнения условия $j_t = l$. Множество кратчайших путей формируется на основе их загруженности, что существенно оптимизирует алгоритм поиска.

Данный подход исключает необходимость генерации полного множества маршрутов, что значительно повышает эффективность метода. Процесс может быть остановлен при обнаружении конечной дуги, непосредственно ведущей в целевую вершину (A_t).

Оптимальный маршрут определяется как интегрированная траектория перемещения груза между исходным пунктом А и целевым пунктом В, которая минимизирует совокупные затраты, включающие временные издержки на транспортировку, расход топлива специализированными транспортными средствами и прочие сопутствующие расходы [17]. В рамках данного исследования издержки рассматриваются в контексте комплексного анализа, учитывающего не только временные параметры, но и экономические аспекты эксплуатации транспортных средств, а также экологические и эксплуатационные факторы [18].

На загруженность участка пути (улицы) огромное влияние оказывают заторы на дорогах [19]. Основные факторы, способствующие заторам на дорогах, можно разделить на две категории – перегрузка сети и нарушения дорожного движения. Нарушения дорожного движения являются временными явлениями и влияют на дорожное движение только по мере их возникновения. Это связано

с авариями, дорожно-строительными работами и суровыми погодными условиями. Авария может привести к перекрытию дороги или замедлению движения транспорта, поскольку водители пытаются понять, что происходит. Аналогичным образом плохие погодные условия могут заставить водителей снизить скорость, поскольку они беспокоятся о своей безопасности. Кроме того, дорожное строительство может привести к сокращению количества полос движения, что вынудит водителей тесниться на свободных полосах. Таким образом, эти причины могут значительно увеличить заторы на дорогах, но из-за их случайности мало что можно сделать для предотвращения подобных инцидентов, принимая во внимание, что при перегрузке сети все случаи заторов на дорогах вызваны либо снижением пропускной способности дорог, либо повышенным спросом на транспорт. Другими словами, существует два типа факторов, способствующих перегрузке сети, которые включают факторы предложения и факторы увеличения спроса. Начиная с физических факторов, наибольший вклад в эту категорию вносят узкие места.

Узкие места – это суженные дороги, которые приводят к увеличению заторов, когда спрос на транспортные средства превышает предложение. В зависимости от структуры дорог существует несколько типов узких мест. Узкое место при крупномасштабном слиянии возникает, когда к существующей дороге присоединяется дополнительная

линия; узкое место при сокращении полосы движения возникает, когда количество полос уменьшается, что приводит к слиянию двух или более полос в одну; узкое место при коротком переплетении возникает, когда к дороге добавляется одна линия, в то время как другая удаляется.

Перекрестки городских дорог являются еще одним физическим фактором, вызывающим дорожные заторы. Это факт оказывает существенное влияние на задержки движения, потому что на перекрестке потоки транспортных средств с разных подъездов, совершающие либо правый поворот, либо сквозной, либо левый, стремятся занять одно и то же физическое пространство в одно и то же время. В дополнение к автомобильным потокам некоторым пешеходам требуется пространство для перехода улиц, что еще больше усугубляет ситуацию. Наличие большегрузных транспортных средств можно считать третьим физическим фактором, приводящим к задержкам на дорогах. Из-за большого количества остановок, на которых автобусы должны останавливаться в своей повседневной работе, для автобусов нет выделенных полос, что задерживает другие транспортные средства на той же полосе и вызывает заторы на дорогах. Также на пропускную способность влияют параметры движения транспортных потоков на нерегулируемых примыканиях в городских условиях, рассмотренные в работе [20], на

основе методов проведения исследования, объектов наблюдения, условий проведения исследований, определение интенсивности движения по направлениям движения на нерегулируемых примыканиях, определение интервалов автомобилей, определение граничных интервалов.

Максимальная практическая пропускная способность участка пути C_{ijmax} представляет собой предельно возможное количество автотранспортных средств, которое может быть транспортировано по данному сегменту дорожной инфраструктуры в течение одного часа при идеальных эксплуатационных условиях [21]. Пропускная способность измеряется в единицах «автомобилей в час» (авт./ч), является ключевым индикатором эффективности транспортного потока на данном участке и находится как

$$C_{i,j} = \beta C_{i,j} \max .$$

Итоговый коэффициент снижения пропускной способности β служит интегральным показателем, который количественно отражает совокупное уменьшение пропускной способности участка дороги вследствие воздействия различных дестабилизирующих факторов [22]. Данный коэффициент может быть представлен в виде суммы частных коэффициентов, каждый из которых учитывает влияние конкретного фактора на транспортную проходимость: $\beta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \dots + \beta_n$.

Для более детального анализа и понимания механизмов, влияющих на пропускную способность транспортной инфраструктуры, необходимо рассмотреть ключевые факторы, такие как интенсивность транспортного потока, состояние дорожного покрытия, наличие и конфигурацию перекрёстков, эффективность работы светофорных систем, а также метеорологические условия.

Исследование этих факторов и разработка методов их количественной

оценки позволяют создать более точные модели прогнозирования транспортных потоков и оптимизировать управление дорожным движением. Это, в свою очередь, способствует повышению общей эффективности транспортной системы и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

На рисунках 2, а и 2, б отображены оптимальные маршруты движения бригад с учетом загруженности автомобильных дорог.

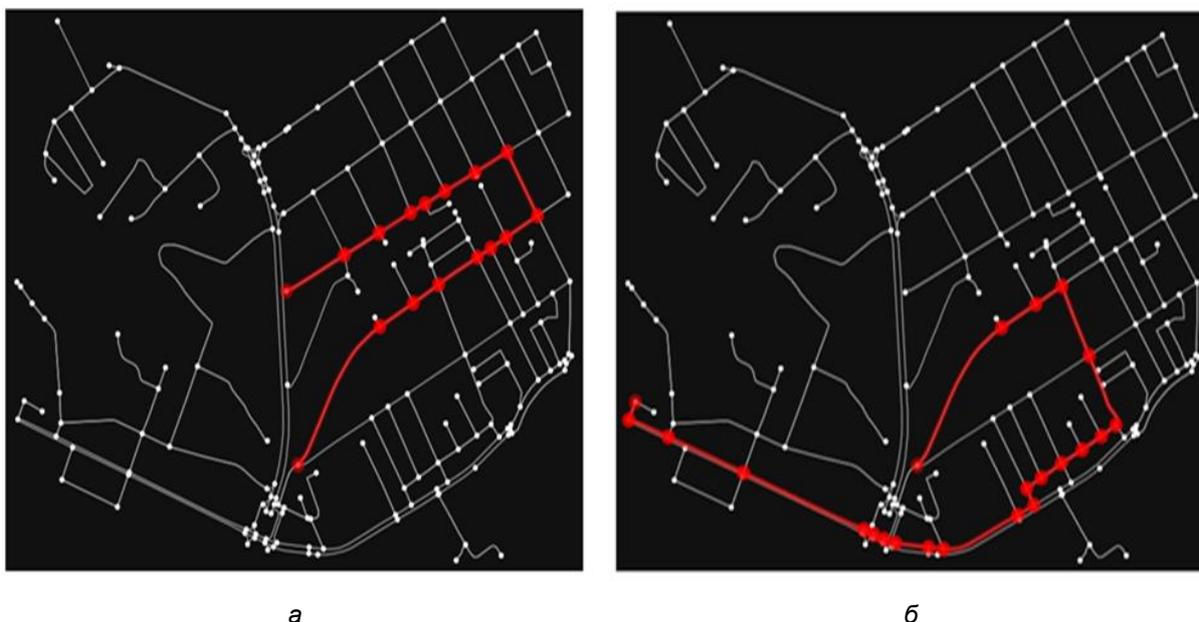


Рис. 2. Оптимальные маршруты движения: а – от станции ССМП до места вызова; б – от места вызова до профильного лечебного учреждения

Fig. 2. Optimal driving routes: а – from the SSMP station to the place of call; б – from the place of call to the specialized medical institution

Результаты и их обсуждение

Модифицированный эстафетный метод управления бригадами скорой медицинской помощи (ССМП), основанный на обработке геопространственных данных и анализе загруженности автомобильных дорог, обеспечивает:

1. Поиск кратчайшего пути:
 - анализ географических данных для выявления оптимальных маршрутов;
 - применение алгоритмов оптимизации для нахождения кратчайших маршрутов с учетом текущих дорожных условий.

2. Удаление тупиковых вершин:

- исключение из маршрута участков, которые не могут быть преодолены;
- оптимизация траектории движения для минимизации временных и ресурсных затрат.

3. Учет загруженности дорог:

- мониторинг текущего состояния транспортного потока в реальном времени;
- корректировка маршрутов с учетом актуальной дорожной ситуации.

Эти меры позволяют сократить объем вычислительных операций при планировании маршрутов и минимизировать время, затрачиваемое на перемещение машин бригад ССМП, что, в свою очередь, повышает эффективность и оперативность оказания медицинской помощи.

Выводы

Для усовершенствования построения оптимальных маршрутов существует необходимость в новых технологиях, к которым относятся передовые технологии зондирования, передовые системы слежения, передовые системы светофоров и расширенное видео обнаружения транспортных средств. Интеллектуальная транспортная система нуждается в усовершенствованной системе слежения по сравнению с современными трекерами. Усовершенствованная система слежения должна иметь датчики для определения как местоположения, так и количества находящихся поблизости транспортных средств. Эти датчики должны быть подключены как к транспортным средствам, так и к сигналам для организации дорожного движения.

Список литературы

1. Trends in Vehicle Re-Identification Past, Present, and Future: A Comprehensive Review / J. Zakria Deng, Y. Hao, M. S. Khokhar, R. Kumar, J. Cai, J. Kumar, M. U. Aftab // *Mathematics*. 2021. Vol. 9, is. 24. P. 3162. <https://doi.org/10.3390/math9243162>
2. Visual Cause Analytics for Traffic Congestion / M. Pi, H. Yeon, H. Son, Y. Jang // *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2021. Vol. 27(3). P. 2186–2201. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2019.2940580>
3. Gomes B., Coelho J., Aidos H. A survey on traffic flow prediction and classification // *Intelligent Systems with Applications*. 2023. Vol. 20. P. 200268. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2023.200268>
4. Pluzhnikova N. Modern geoinformation technologies and their use in transport management // *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 471. P. 1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447106001>
5. The Application of GIS Technology in the Construction of Smart City / L. Yuyan, W. Yanliang, C. Haoyu, W. Zixuan, W., Ziqin C. Yu, L. Guohong // *Academic Journal of Science and Technology*. 2023. Vol. 5. P. 183–186. <https://doi.org/10.54097/ajst.v5i2.6861>

6. Dingqi Z. Research on the Application of Geographic Information Systems in the Construction of Smart Cities // *Advances in Economics, Management and Political Sciences*. 2024. Vol. 96. P. 81–87. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/96/2024MUR0112>

7. Artificial Intelligence in Logistics and Distribution: The function of AI in dynamic route planning for transportation, including self-driving trucks and drone delivery systems / O. Erumusele, O. Tunde, A. Godwin, O. Akintunde, E. Joseph // *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 2025. Vol. 25. P. 155–167. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.25.2.0214>

8. Zukhurov Y., Sulstonov Sh. The use of geographic information systems in modern cartography // *Universum: технические науки*. 2022. N 11(104). P. 52–55.

9. Касаткина Е. В., Кетова К. В. Компьютерное моделирование потоков в городской транспортной сети // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2021. Т. 19, № 1. С. 89–99.

10. Yang W., Xiaoxiang L. Application of Reinforcement Learning Methods Combining Graph Neural Networks and Self-Attention Mechanisms in Supply Chain Route Optimization // *Sensors*. 2025. Vol. 25(3). P. 955. <https://doi.org/10.3390/s25030955>

11. Sokolov N., Shalamova O., Kochergin V. Optimization of urban agglomeration transport flows // *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 471. P. 1–10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447104025>

12. Atsuo N., Masaharu O. Assessing the Effect of a Pandemic on Emergency Medical Service Response Times and Interventions for Out-of-Hospital Cardiac Arrest // *Cureus*. 2024. Vol. 16. P. 1–9. <https://doi.org/10.7759/cureus.75736>

13. Курмангулов А. А., Кононыхин А. А., Брынза Н. С. Проблемы стандартизации систем информирования медицинских организаций Российской Федерации (обзор) // *Проблемы стандартизации в здравоохранении*. 2021. № 11-12. С. 3–13. <https://doi.org/10.26347/1607-2502202111-12003-013>

14. Зайцев Е. М., Коломиец Е. А., Николаев В. Н. Формализация этапов жизненного цикла создания геоинформационной продукции на научно-производственном предприятии // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2020. Т. 24, № 4. С. 146–165. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-146-165>

15. Применение CUDA ядер в задачах обработки информации в базе данных при помощи BLAZINGSQL / Т. И. Лапина, С. А. Филист, Ю. А. Криушина, Е. А. Криушин // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2022. Т. 12, № 3. С. 97–108. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-3-97-108>

16. Николаев В. Н., Зайцев Е. М., Коломиец Е. А. Развитие коллективной инфраструктуры муниципального предприятия в условиях цифровой экономики //

Информационные технологии и телекоммуникации. 2021. Т. 9, № 4. С. 28–36. <https://doi.org/10.31854/2307-1303-2021-9-4-28-36>

17. Савекин Ф. Н., Миронов А. Н., Назаров Р. С. Моделирование обеспечивающих действий на основе математической теории графов // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева. 2021. № 3(27). С. 119–126.

18. Лапина Т. И., Малыхина В. С., Крупчатников Р. А. Система учета и мониторинга расходов электроэнергии на основе геопространственных данных расположения потребителей // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 1. С. 88–103. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-1-88-103>

19. Михайлова С. С., Халмакшинов Е. А. Алгоритм анализа данных на графовых структурах // Наука и бизнес: пути развития. 2022. № 4(130). С. 25–28.

20. Комарова Т. К., Поспелов П. И., Мартяхин Д. С. Исследование параметров движения транспортных потоков на элементах улично-дорожной сети в городских условиях // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. № 4(70). С. 285–293. <https://doi.org/10.48612/NewsKSUAE/70.25>

21. Структурно-функциональная организация системы обработки геопространственных данных при управлении бригадами скорой медицинской помощи / Е. А. Коломиец, И. А. Халин, Ю. А. Халин, М. А. Титенко // Естественные и технические науки. 2022. № 7(170). С. 182–184. <https://doi.org/10.25633/ETN.2022.07.12>

22. Кочетов Ю. А., Шамрай Н. Б. Оптимизация размещения и передислокации бригад скорой медицинской помощи // Дискретный анализ и исследование операций. 2021. Т. 28, № 2. С. 5–34. <https://doi.org/10.33048/daio.2021.28.702>

References

1. Zakria Deng J., Hao Y., Khokhar M.S., Kumar R., Cai J., Kumar J., Aftab M.U. Trends in Vehicle Re-Identification Past, Present, and Future: A Comprehensive Review. *Mathematics*. 2021;9:3162. <https://doi.org/10.3390/math9243162>

2. Pi M., Yeon H., Son H., Jang Y. Visual Cause Analytics for Traffic Congestion. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2021;27:2186–2201. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2019.2940580>

3. Gomes B., Coelho J., Aidos H. A survey on traffic flow prediction and classification. *Intelligent Systems with Applications*. 2023;20:200268. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2023.200268>

4. Pluzhnikova N. Modern geoinformation technologies and their use in transport management. *E3S Web of Conferences*. 2024;471:1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447106001>
5. Yuyan L., Yanliang W., Haoyu C., Zixuan W., Ziqin W., Yu C., Guohong L. The Application of GIS Technology in the Construction of Smart City. *Academic Journal of Science and Technology*. 2023;5:183–186. <https://doi.org/10.54097/ajst.v5i2.6861>
6. Dingqi Z. Research on the Application of Geographic Information Systems in the Construction of Smart Cities. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*. 2024;96:81–87. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/96/2024MUR0112>
7. Erumusele O., Tunde O., Godwin A., Akintunde O., Joseph E. Artificial Intelligence in Logistics and Distribution: The function of AI in dynamic route planning for transportation, including self-driving trucks and drone delivery systems. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 2025;25:155–167. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.25.2.0214>
8. Zukhurov Y., Sultonov Sh. The use of geographic information systems in modern cartography. *Universum: Technical Sciences*. 2022;(11):52–55.
9. Kasatkina E.V., Ketova K.V. Computer simulation of flows in the urban transport network. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve = Intelligent Systems in Production*. 2021;19(1):89–99. (In Russ.)
10. Yang W., Xiaoxiang L. Application of Reinforcement Learning Methods Combining Graph Neural Networks and Self-Attention Mechanisms in Supply Chain Route Optimization. *Sensors*. 2025;25:955. <https://doi.org/10.3390/s25030955>
11. Sokolov N., Shalamova O., Kochergin V. Optimization of urban agglomeration transport flows. *E3S Web of Conferences*. 2024;471:1–10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447104025>
12. Atsuo N., Masaharu O. Assessing the Effect of a Pandemic on Emergency Medical Service Response Times and Interventions for Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Cureus*. 2024;16:1–9. <https://doi.org/10.7759/cureus.75736>
13. Kurmangulov A.A., Kononikhin A.A., Brynza N.S. Problems of standardization of information systems of medical organizations of the Russian Federation (review). *Problemy standartizatsii v zdravookhranении = Problems of Standardization in Healthcare*. 2021;(11-12):3–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.26347/1607-2502202111-12003-013>
14. Zaitsev E.M., Kolomiets E.A., Nikolaev V.N. Formalization of the stages of the life cycle of geoinformation products creation at a scientific and production enterprise. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2020;24(4):146–165. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-146-165>

15. Lapina T.I., Filist S.A., Kriushina Yu.A., Kriushin E.A. Application of CUDA kernels in information processing tasks in a database using BLAZINGSQL. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2022;12:97–108. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-3-97-108>

16. Nikolaev V.N., Zaitsev E.M., Kolomiets E.A. Development of the collective infrastructure of a municipal enterprise in the digital economy. *Informatsionnye tekhnologii i telekommunikatsii = Information technology and telecommunications*. 2021;9(4):28–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.31854/2307-1303-2021-9-4-28-36>

17. Savekin F.N., Mironov A.N., Nazarov R.S. Modeling of supporting actions based on mathematical graph theory. *Vestnik VoЕННОI akademii material'no-tekhnicheskogo obespecheniya im. generala armii A.V. Khruleva = Bulletin of the Military Academy of Logistics named after Army General A.V. Khrulev*. 2021;(3):119–126. (In Russ.)

18. Lapina T.I., Malykhina V.S., Krupchatnikov R.A. A system for accounting and monitoring electricity costs based on geospatial consumer location data. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2024;14(1):88–103. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-1-88-103>

19. Mikhailova S.S., Halmakshinov E.A. Algorithm of data analysis on graph structures. *Nauka i biznes: puti razvitiya = Science and Business: Ways of Development*. 2022;(4):25–28. (In Russ.)

20. Komarova T.K., Pospelov P.I., Martyakhin D.S. Investigation of traffic flow parameters on elements of the road network in urban conditions. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Proceedings of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*. 2024;(4):285–293. (In Russ.) <https://doi.org/10.48612/NewsKSUAE/70.25>

21. Kolomiets E.A., Khalin I.A., Khalin Yu.A., Titenko M.A. Structural and functional organization of the geospatial data processing system for the management of emergency medical teams. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Natural and Technical Sciences*. 2022;(7):182–184. (In Russ.) <https://doi.org/10.25633/ETN.2022.07.12>

22. Kochetov Yu.A., Shamray N.B. Optimization of the deployment and redeployment of emergency medical teams. *Diskretnyi analiz i issledovanie operatsii = Discrete Analysis and Operations Research*. 2021;28(2):5–34. (In Russ.) <https://doi.org/10.33048/daio.2021.28.702>

Информация об авторах / Information about the Authors

Коломиец Елена Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: lenus07@yandex.ru, ORCID: 0009-0002-6004-4155, Author ID: 862472

Elena A. Kolomiets, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Computer Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: lenus07@yandex.ru, ORCID: 0009-0002-6004-4155, Author ID: 862472

Лапина Татьяна Ивановна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вычислительной техники, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: lapinati@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7959-3053, Author ID: 2064-6413

Tatyana I. Lapina, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: lapinati@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7959-3053, Author ID: 2064-6413