

УДК 004.94

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ МЧС РОССИИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Бородушко И.В., Вострых А.В., Матвеев А.В.

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы
МЧС России имени Героя РФ генерала армии Е.Н. Зиничева», Санкт-Петербург,
e-mail: a.vostrykh@list.ru*

В Арктической зоне Российской Федерации в настоящее время актуализируются вопросы обеспечения безопасности, создаются арктические комплексные аварийно-спасательные центры. Их задачи состоят в предупреждении, реагировании и ликвидации чрезвычайных ситуаций, аварий и других происшествий, в оказании оперативной помощи пострадавшим на данной территории. Стоит проблема повышения эффективности их деятельности. В статье предложена информационная технология, обеспечивающая повышение оперативных показателей подразделений МЧС России в Арктической зоне. Данная технология позволяет формировать зоны ответственности пожарно-спасательных подразделений, а также оптимизировать пути их следования к месту вызова с целью сокращения времени прибытия. Предложенная технология состоит из трёх иерархических уровней, включающихся в работу последовательно при невозможности применения предыдущего уровня: имитационная модель (спектр геоинформационных и информационных систем); специальный программный продукт поиска кратчайшего пути следования подразделений МЧС России; графическая модель в виде схем-карты. Представлено подробное описание каждого иерархического уровня технологии. За счет большей устойчивости работы данная технология позволит выполнять задачи подразделениями МЧС России в Арктическом регионе с большей эффективностью, а следовательно, повысить уровень безопасности в регионе.

Ключевые слова: информационная технология, оперативные показатели, программный продукт, Арктическая зона, потенциально опасные объекты, оптимальный маршрут

INFORMATION TECHNOLOGIES FOR OPTIMAL MANAGEMENT THE EMERCOM OF RUSSIA UNITS IN THE ARCTIC ZONE

Borodushko I.V., Vostrykh A.V., Matveev A.V.

*St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations
of Russia named after the Hero of the Russian Federation, General of the Army E.N. Zinichev,
St. Petersburg, e-mail: a.vostrykh@list.ru*

In the Arctic zone of the Russian Federation, security issues are currently being updated, and Arctic integrated emergency rescue centers are being created. Their tasks are to prevent, respond and eliminate emergencies, accidents and other incidents, to provide prompt assistance to victims in the area. There is a problem of increasing the efficiency of their activities. The article proposes an information technology that provides an increase in the operational performance of units of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Arctic zone. This technology allows you to form the areas of responsibility of fire and rescue units, as well as optimize their route to the place of the call in order to reduce the time of arrival. The proposed technology consists of three hierarchical levels, which are included in the work sequentially when it is impossible to apply the previous level: simulation model (spectrum of geoinformation and information systems); a special software product for finding the shortest route for units of the Russian Emergencies Ministry; graphic model in the form of a diagram-map. A detailed description of each hierarchical technology level is provided. Due to the greater stability of the work, this technology will allow the units of the Russian Emergencies Ministry to perform tasks in the Arctic region with greater efficiency, and therefore increase the level of security in the region.

Keywords: information technology, operational indicators, software product, Arctic zone, potentially dangerous objects, optimal route

Сегодня инфраструктура России претерпевает значительные изменения, постоянно модернизируясь и развиваясь в особенности на территории Арктической зоны, что влечёт за собой возрастание рисков различных техногенных происшествий [1].

В Арктической зоне по сей день формируется комплексная система безопасности, создаются аварийно-спасательные центры, задачами функционирования которых является предупреждение, реагирование и ликвидация чрезвычайных ситуаций, аварий и других происшествий, оказание оперативной помо-

щи пострадавшим на данной территории [2]. В этой связи актуальными становятся вопросы управления подразделениями МЧС России как на стратегическом, так и на оперативно-тактическом уровне [3], обеспечения высокого уровня показателей их деятельности, реализации их ресурсного потенциала [4].

Проблемам своевременной доставки сил и средств (далее – СиС) МЧС России, координации их передвижения, оптимального распределения по защищаемой территории посвящено немало научных работ [5], но, несмотря на это, данные задачи продол-

жают оставаться достаточно актуальными. Одним из основных оперативных показателей функционирования подразделений МЧС России является время их прибытия к объекту защиты. Это значит, что расстояние от объектов защиты до места дислокации пожарно-спасательных подразделений не должно превышать определённых значений [6-8]. Основываясь на данном показателе, порядок привлечения СИС подразделений МЧС России устанавливается расписанием выездов (для каждого подразделения определяется ответственный район выезда) [6-8].

В своём классическом представлении зоны ответственности подразделений определяются на основе персональной и вероятностной информации об особенностях объекта защиты с учетом опыта сотрудников МЧС России и экспертных оценок привлекаемых организаций. С определенной периодичностью данная информация актуализируется с высокими затратами человеческих и временных ресурсов [9-11].

Современный уровень цифровизации общества предполагает внедрение новых технологий для поддержки принятия решений при управлении подразделениями МЧС России с использованием нового научно-методического аппарата и геоинформационных технологий. В настоящей статье предложено использование новых технологий, позволяющих решать задачи оптимизации при управлении подразделениями МЧС России, в том числе в Арктической зоне Российской Федерации.

Материалы и методы исследования

В интересах повышения оперативных показателей функционирования подразделений МЧС России в Арктической зоне в настоящей статье предлагается специальная информационная технология, включающая в себя три компонента, каждая из которых располагается на соответствующем иерархическом уровне и может последовательно использоваться в случае невозможности применения предыдущей:

1-й уровень – имитационная модель в виде спектра геоинформационных и информационных систем, а также дополнительных плагинов (геоинформационная система Mapinfo Professional, информационная система Google Earth, плагины GELink и GeoRSS Reader);

2-й уровень – программа поиска кратчайшего пути следования подразделений МЧС России до места вызова, в основе которой лежит алгоритм Дейкстры [12];

3-й уровень – графическая модель оптимальных маршрутов следования в виде схем-карты [9-11].

Алгоритм применения предлагаемой технологии следующий: имитационная модель (1 уровень) устанавливается на электронно-вычислительное устройство и решает соответствующие задачи, получая информацию по интернет-соединению от различных информационных сервисов, а также баз данных специалистов центра управления в кризисных ситуациях (ЦУКС) МЧС России. Недостатком использования данной компоненты является то, что для полноценного функционирования необходимо беспереывное подключение к сети Интернет и наличие исправной компьютерной техники, а также безотказной работы программного обеспечения. В случае если интернет-соединение отсутствует, в работу подключается вторая компонента данной технологии – программный продукт, строящий маршрут передвижения подразделений МЧС России с использованием алгоритма Дейкстры. При неисправности или невозможности использования электронно-вычислительного устройства в работу подключается третья компонента (графическая модель в виде схем-карт). Заранее разработанные специалистами ЦУКС МЧС России схем-карты на основе статистических данных включают в себя актуальную информацию о маршрутах перемещения и их особенностях, таких как наличие пробок и заторов, длительность интервалов светофоров и т.д.).

Перейдём к детальному описанию каждого уровня технологии.

На 1-м уровне имитационная модель начинает использоваться после запуска информационной системы Mapinfo Professional. С помощью неё сотрудник активирует определённые тематические карты в соответствии с ответственным районом выезда и, при необходимости получения дополнительной или пространственной информации, с помощью плагина «GELink» переходит в информационную систему Google Earth. После этого, имея в своём распоряжении широкий спектр инструментов, специалисты в режиме реального времени отслеживают как передвижение СИС-подразделений (координируя маршрут следования), так и развитие происшествия.

В свою очередь плагин «GeoRSS Reader», установленный в Mapinfo Professional, позволяет получить доступ и использовать информацию с таких информационных систем, как «Системы оперативного мониторинга природных пожаров», которые отображаются на тематической карте в виде объектов и расширенной информации в табличной форме (рис. 1).

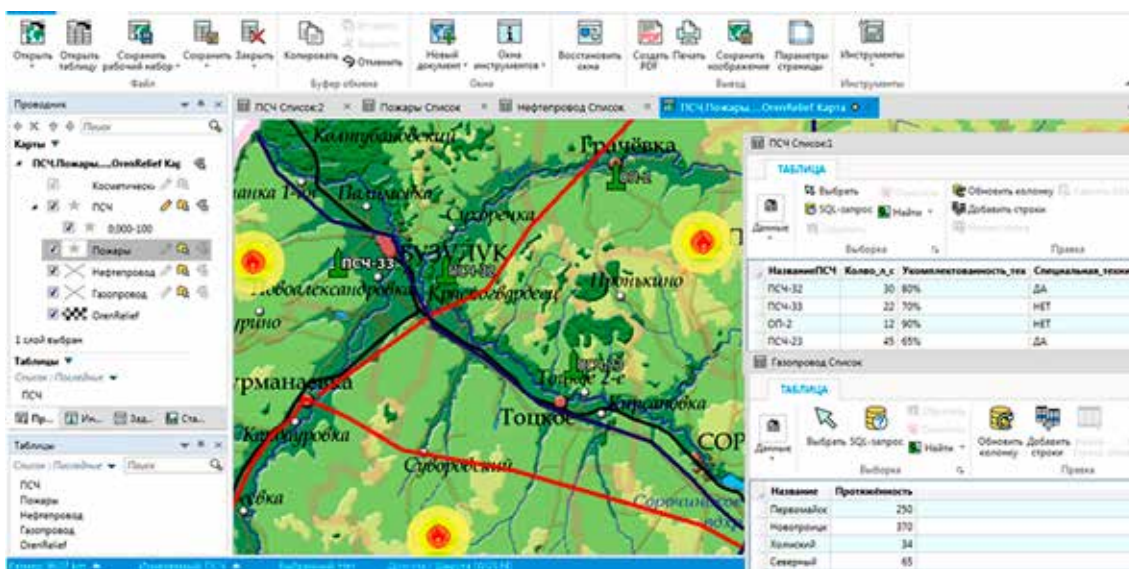


Рис. 1. Окно программы MapInfo с подключенной новостной лентой

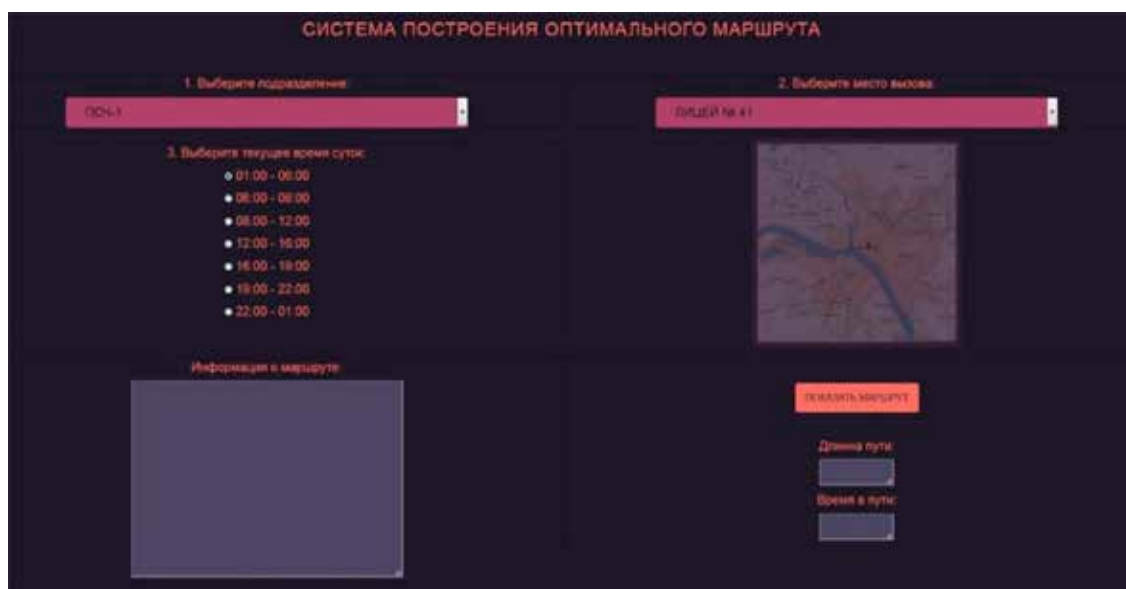


Рис. 2. Интерфейс программы

На 2-м уровне, подключающемся к работе в ситуации отсутствия интернет-соединения, используется программное обеспечение, строящее маршрут передвижения подразделений МЧС России, основываясь на алгоритме Дейкстры [13; 14]. Данная программа разработана на языке программирования JavaScript. Интерфейс программы (рис. 2) представлен в виде веб-приложения и реализован с помощью языков HTML5 и CSS3 [12].

Для использования программы подойдет любой современный браузер, интернет-соединение не требуется. Также данный программный продукт оптимизирован

под различные разрешения экранов, что позволяет использовать его как на ноутбуке, так и на смартфоне (рис. 3).

Алгоритм работы с программой состоит из четырех шагов, что позволяет за минимальный промежуток времени получить требуемую информацию:

- Шаг 1 – Выбрать ответственный за место вызова пожарно-спасательное подразделение;
- Шаг 2 – Выбрать объект вызова из выпадающего списка места вызова;
- Шаг 3 – Выбрать текущее время суток;
- Шаг 4 – Нажать кнопку «Показать маршрут».

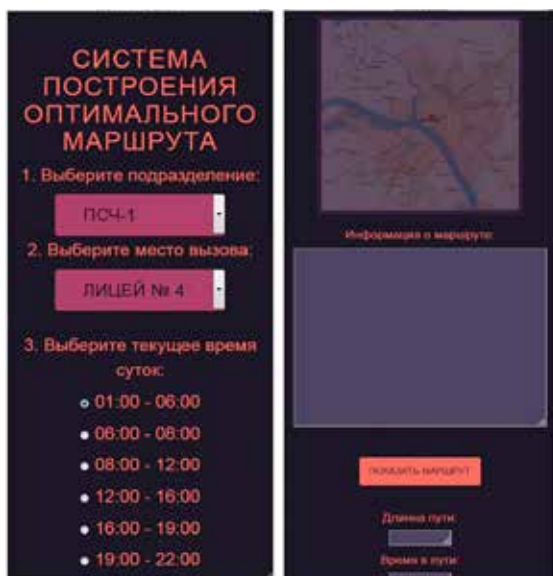


Рис. 3. Интерфейс мобильной версии программы

Результатом работы программы станет наиболее оптимальный маршрут следования в виде карты, а также текстовой информации. Дополнительно будет предоставлена информация о расстоянии до места происшествия и прогнозируемого времени на его преодоление (рис. 4).

В основе идеи завершающего третьего уровня информационной технологии нахождения оптимального маршрута доставки СиС-подразделений МЧС России в Арктической зоне лежит использование традиционных графических бумажных мо-

делей. Графическая модель создаётся в виде схематических карт (далее схем-карт) с наглядным отображением как оптимальных для следования маршрутов, так и мест, имеющих «уязвимости», например проблемных участков дорог. Схем-карта распечатывается на бумаге формата А3 в цветном варианте, ламинируется и находится у командира аварийно-спасательного формирования. На карте отображаются перекрестки, имеющие светофоры, по количеству которых можно прогнозировать среднее время простоя автомобиля, отмечаются железнодорожные переезды, выделяются зоны высокоэтажной застройки, по которым можно судить о степени опасности происшествия и трудоёмкости подъезда к зданиям, а также выделены дороги с разрушенным или некачественным дорожным полотном, зоны плохой проходимости, которые замедляют скорость движения спасательных автомобилей и, как следствие, увеличивают время прибытия на место вызова (рис. 5).

На схем-карте также отображаются основные социально значимые и потенциально опасные объекты. Каждый объект отмечается определённой цифрой и цветом в соответствии с принадлежностью к своей группе (например, крупные образовательные учреждения, больницы, торговые центры и т.д.). Использование данного визуального представления информации помогает повысить скорость восприятия информации, что позволяет легко ориентироваться в ситуации и оперативнее принимать решения.

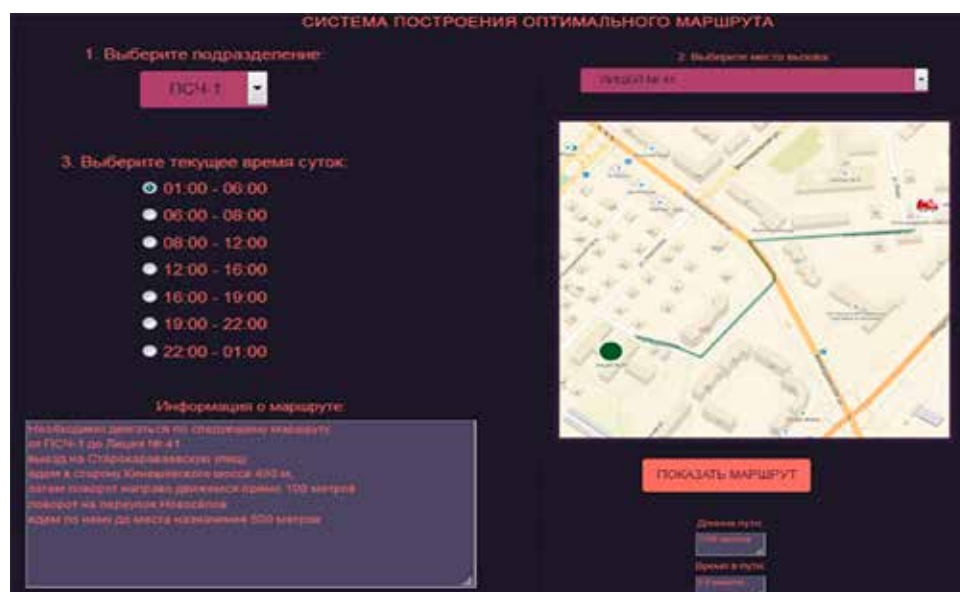


Рис. 4. Окно итогового результата вычислений

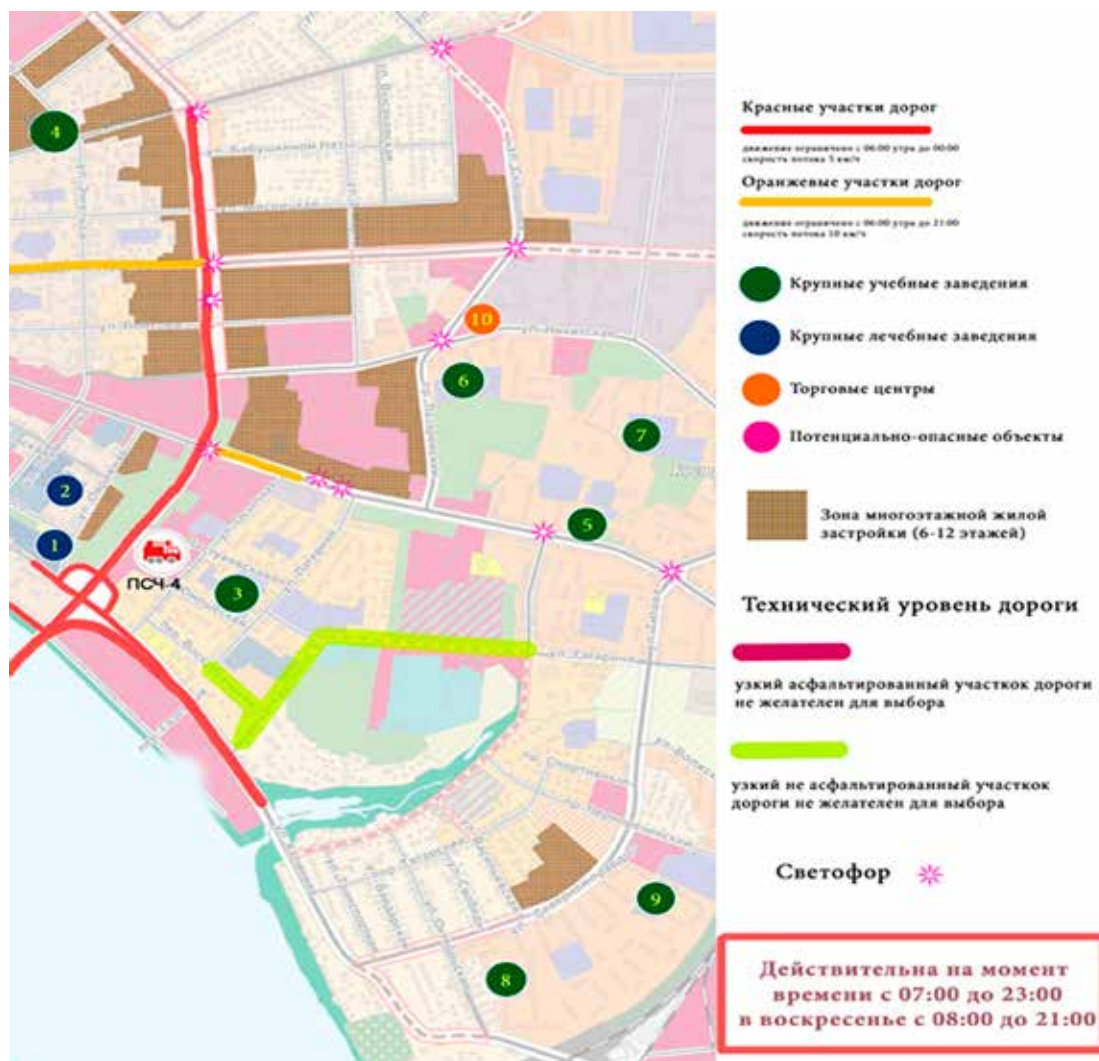


Рис. 5. Графическая модель в виде схем-карты

Информация, полученная для формирования схем-карт (оптимальных маршрутов следования), вычисляется с использованием методов кластеризации. Также данные методы могут быть использованы для формирования новых, более совершенных (за счёт актуализации информации) территорий прикрытия пожарно-спасательными подразделениями.

С целью получения наиболее точных результатов вычислений проведен сравнительный анализ наиболее эффективных методов кластеризации, таких как послойная кластеризация; алгоритм «выделения связанных компонент»; «минимальное покрывающее дерево»; алгоритм «ФОРЭЛ»; алгоритм s -средних; алгоритм k -средних [9; 10]. В результате анализа было установлено, что рассмотренные методы в достаточной мере не подходят для решения задачи настоящей статьи, поэтому было

принято решение одновременного использования двух методов: алгоритм «ФОРЭЛ» и метод поиска «Кратчайшего незамкнутого пути», что позволило получить более точные результаты.

Данный подход позволил описать кластеры произвольной геометрической формы и варьировать детализацией расчётов за счет изменения параметра радиуса R (зона прикрытия территории определенным подразделением). Так как кластеризация позволяет разбить множество объектов на группы по «схожести», в задаче настоящей статьи «похожими» объектами являются объекты защиты и места дислокации пожарно-спасательных подразделений МЧС России. Перед применением кластерного анализа осуществлен отбор объектов для кластеризации; определены характеристики оценки объектов в выборке; вычислены значения меры сходства между объектами.

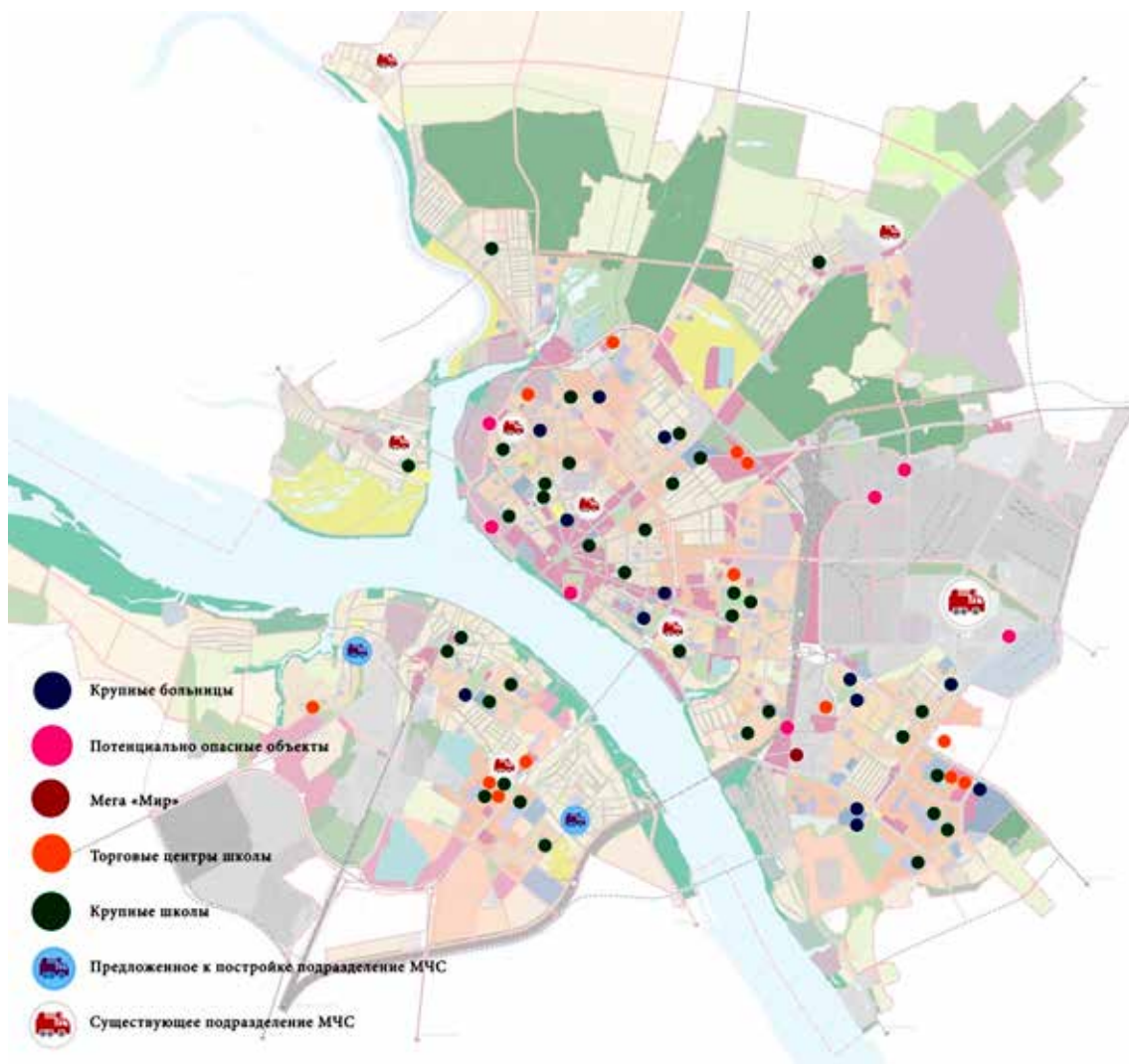


Рис. 6. Инициализация на карте множества не кластеризованных точек

Пошаговая реализация двухуровневой кластеризации состоит из следующих шагов.

Шаг 1 – Инициализация на карте анализируемой территории множества не кластеризованных точек (объектов защиты), которые будут оцениваться, исходя из расстояния (Евклидова расстояния) до пожарно-спасательных подразделений (мера сходства), рис. 6;

Шаг 2 – Инициализация проблемных участков дорог;

Шаг 3 – Выделение пожарно-спасательных подразделений МЧС России;

Шаг 4 – Создание вокруг подразделений МЧС России сфер радиуса десятиминутной доступности, в соответствии с требованиями Федерального закона [2];

Шаг 5 – Не инициализированные точки, находящиеся за пределами установленного радиуса, кластеризуются на основе их

сгустков. В результате образуются K кластеров с центром расположения подразделения МЧС России x_0 и с центром расположения одного из объектов защиты;

Шаг 6 – Поиск точек, расстояние до которых меньше радиуса;

Шаг 7 – Вычисление координат центра тяжести «внутренних» точек;

Шаг 8 – Перенос центра тяжести в новый центр;

Шаг 9 – Поиск «внутренних» точек. Данный шаг повторяется до момента остановки сферы (остановка центра тяжести);

Шаг 10 – Объявление точек, оказавшихся внутри остановившейся сферы кластеризованными;

Шаг 11 – Исключение кластеризованных точек из выборки;

Шаг 12 – Повтор шагов 1-11 до момента кластеризации всех точек. В результате получим список точек-центроидов C ;

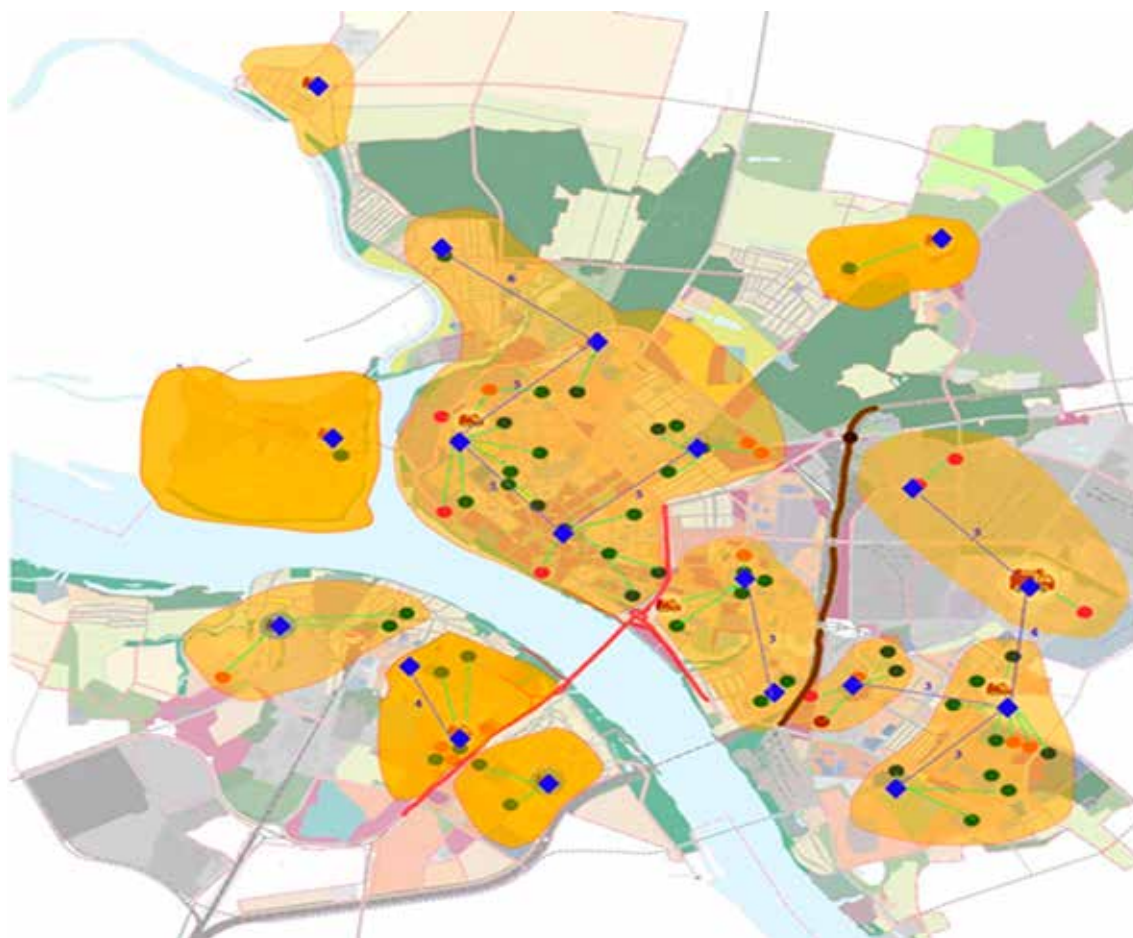


Рис. 7. Итог кластеризации

Шаг 13 – Переход к методу поиска «Кратчайшего незамкнутого пути», который позволяет получить более точные результаты вычислений точек-центроидов;

Шаг 14 – Построение на точках выборки ациклического связного графа (соединение точек, исходя из минимального расстояния между ними);

Шаг 15 – Объединение кластеров первого уровня в кластеры второго уровня;

Шаг 16 – Удаление из графа k самых длинных рёбер;

Шаг 17 – Завершение кластеризации, получение результатов вычислений (рис. 7).

Таким образом, предложенный подход к кластеризации позволяет получить новые, уточненные территории покрытия подразделениями МЧС России, соответствующие нормативным документам (не нарушающие временные пределы на доставку СИС). Также получен детализированный анализ качества покрытия объектов защиты, имеющих стратегическое значение для региона и требующих пристального внимания.

Результаты исследования и их обсуждение

В последнее время всё больше внимания в России уделяется освоению Арктической зоны, так как эта территория приносит порядка десяти процентов национального дохода России, при этом в ней проживает более двух миллионов человек, что составляет порядка двух процентов всего населения нашей страны [15]. Также регион обладает значительным потенциалом в промышленности в виде многочисленных нефтегазовых комплексов, электростанций, железных дорог, аэродромов, морских и речных портов [16].

Арктическая зона богата полезными ископаемыми, имеющими стратегическую важность для нашей страны, так, например, по данным последних исследований, на территории находятся порядка 80 млрд баррелей нефти, 40 трлн куб. м газа, а также более половины запасов золота, серебра, никеля, меди, алмазов и ртути [17].

С целью контроля и мониторинга обстановки, а также потенциально опасных и социально значимых объектов в Арктической зоне в настоящей статье предложена информационная технология оптимального управления подразделениями МЧС России, позволяющая повысить показатели их оперативной деятельности.

Предложенная технология позволяет как оптимизировать пути доставки СИС к месту вызова, так и формировать зоны ответственности пожарно-спасательных подразделений МЧС России. Это потенциально может обеспечить повышение оперативных показателей их деятельности, что в особенности актуально на территории стремительно развивающейся Арктической зоны.

Заключение

Предлагаемая информационная технология оптимального управления подразделениями МЧС России в Арктической зоне позволит повысить уровень безопасности в регионе, тем самым снизив показатели материальных и человеческих потерь.

За счет устойчивости работы в условиях экстремальных ситуаций предложенная технология способна стать незаменимым инструментом в повседневной деятельности сотрудников МЧС России в регионе.

Список литературы

1. Веселов И.А., Чуприян А.П. О мерах МЧС России по обеспечению реализации экономических и инфраструктурных проектов в Арктике и созданию системы специализированных аварийно-спасательных центров // Арктика. Экология и экономика. 2011. № 1. С. 48-51.
2. Артамонов В.С., Мусиенко Т.В. Геополитика Арктики: система управления рисками безопасности жизнедеятельности // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2016. № 2-2(14). С. 72-78.
3. Матвеев А.В. Стратегическое планирование сил и средств МЧС России в Арктической зоне // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2017. № 4(20). С. 32-42.
4. Матвеев А.В. Математическое моделирование оптимизации структуры арктических комплексных аварийно-спасательных центров МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2016. № 4(40). С. 105-111.
5. Буйневич М.В., Максимов А.В., Пелех М.Т. Принципы информационной поддержки системного проекти-

рования развития сети пожарных депо на территории мегаполиса // Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. 2017. № 3. С. 129-135.

6. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения: 13.10.2022).

7. Приказ МЧС России от 25.10.2017 № 467 «Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71733064/> (дата обращения: 13.10.2022).

8. Приказ МЧС России от 16 октября 2017 г. № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71746130/> (дата обращения: 13.10.2022).

9. Буйневич М.В., Вострых А.В., Шуракова Д.Г. Двухуровневая кластеризация субоптимальных зон прикрытия города Кострома подразделениями МЧС России при возникновении происшествий // Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. 2018. № 2. С. 121-127.

10. Боуш Г.Д., Куликова О.М., Шелков И.К. Агентное моделирование процессов кластерообразования в региональных экономических системах // Экономика региона. 2016. Т. 12. № 1. С. 64-77. DOI: 10.17059/2016-1-5.

11. Анашечкин А.Д., Буйневич М.В., Вострых А.В., Шуракова Д.Г. Решение задачи выбора оптимального маршрута следования сил и средств подразделений МЧС России к месту возникновения происшествий с помощью алгоритма Дейкстры // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 3 (47). С. 68-79.

12. Вострых А.В. Построение кратчайших маршрутов следования для подразделений МЧС России: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Рег. № 2019666901. 17.12.2019.

13. Дышленко С.Г. Маршрутизация в транспортных сетях // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2018. № 1(5). С. 15-20.

14. Клочкова Е.Н. Обоснование выбора алгоритма поиска пути решения задач построения маршрута к месту назначения // Вестник Московского университета МВД России. 2015. № 5. С. 205-209.

15. Илюшина В.В., Разумова Е.В. Перспективные направления развития Арктической зоны Российской Федерации // Актуальные проблемы гуманитарных и социально-экономических наук. 2016. Т. 10. № 4. С. 33-37.

16. Цукерман В.А. Козлов А.А. О механизме развития промышленного сервиса в Арктической зоне Российской Федерации // Экономика промышленности. 2016. № 4. С. 302-306. DOI 10.17073/2072-1633-2016-4-302-306.

17. Никулин А.А. Полезные ископаемые Арктической зоны России: потенциал и перспективы освоения // Проблемы национальной стратегии. 2017. № 1(40). С. 163-187.