

Научная статья

УДК 004.622:519.81; DOI: 10.61260/2218-130X-2023-3-152-163

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО РАЗМЕЩЕНИЮ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

✉ Ахунова Дарья Геннадьевна.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ shurakova.darya@bk.ru

Аннотация. Предложена авторская имитационная модель, позволяющая лицу, принимающему решения, решать задачу размещения пожарно-спасательных подразделений на исследуемой территории. Модель основана на механизмах поиска оптимальных маршрутов следования пожарно-спасательных подразделений к месту вызова. Программная реализация модели позволяет визуализировать исследуемую территорию, разделенную на множество фрагментов, на предмет прикрытия её пожарно-спасательными подразделениями с учетом возможного времени доставки сил и средств. При оценке времени доставки сил и средств к местам возможных происшествий учитывались воздействия внешних факторов, таких как дорожные развязки, односторонние дороги, переезды, статистические пробки и ремонты дорог.

Исследование проводилось на территории Санкт-Петербурга. В результате проведенного моделирования было выявлено, что для полного покрытия территории города необходимы три новых подразделения, определены места их размещения.

Ключевые слова: имитационная модель, принятие решения, спасательные подразделения, пожарное депо, размещение, маршрут следования

Для цитирования: Ахунова Д.Г. Имитационная модель поддержки принятия решений по размещению пожарно-спасательных подразделений на территории Санкт-Петербурга // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 3. С. 152–163. DOI: 10.61260/2218-130X-2023-3-152-163.

Research article

SIMULATION MODEL FOR DECISION SUPPORT OF LOCATORING FIRE AND RESCUE UNITS IN SAINT-PETERSBURG

✉ Akhunova Daria G.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ shurakova.darya@bk.ru

Abstract. The article proposes the author's simulation model, which allows the decision maker to solve the problem of locating fire and rescue units in the study area. The model is based on mechanisms for finding optimal routes for fire and rescue units to reach the call site. The software implementation of the model allows you to visualize the study area, divided into many fragments, with a view to covering it with fire and rescue units, taking into account the possible delivery time of forces and equipment. When estimating the time for delivery of forces and equipment to places of possible incidents, the influence of external factors, such as road junctions, one-way roads, crossings, statistical traffic jams and road repairs, was taken into account.

The study was conducted in the city of Saint-Petersburg. As a result of the modeling, it was revealed that to fully cover the city territory, three new divisions are needed, and their locations were determined.

Keywords: simulation model, decision making, rescue units, fire station, placement, route

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

For citation: Akhunova D.G. Simulation model for decision support of locating fire and rescue units in Saint-Petersburg // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 3. P. 152–163. DOI: 10.61260/2218-130X-2023-3-152-163.

Введение

Последние годы характеризуются постоянным изменением инфраструктуры Санкт-Петербурга, происходит застройка новых территорий, появляются новые общественные пространства, развивается дорожная сеть города, повышается интенсивность транспортных потоков. Изменяющаяся внешняя среда оказывает влияние на условия функционирования пожарно-спасательных подразделений, увеличивая нагрузку на них. При этом модернизация структуры системы обеспечения пожарной безопасности города происходит с темпом, значительно уступающим темпу изменения факторов внешней среды, что не может не сказываться негативно на эффективности функционирования системы. Это приводит к частым нарушениям регламентированного интервала времени прибытия спасательных служб к месту вызова [1], являющегося важнейшим критерием эффективности их функционирования [2], от которого в значительной степени зависит размер потенциального материального ущерба от пожаров и чрезвычайных ситуаций, а также количество возможных человеческих жертв [3, 4].

Одно из возможных решений проблемы обеспечения нормативного времени прибытия сил и средств подразделений лежит в области повышения качества управления за счет оптимизации городского территориального распределения подразделений МЧС России [5, 6], что возможно реализовать исключительно на основе научного подхода с использованием средств моделирования [7].

С этой целью в настоящей статье предлагается имитационная модель поддержки принятия решений по размещению подразделений МЧС России на территории Санкт-Петербурга, использующая современные геоинформационные технологии и соответствующий математический аппарат [8, 9]. Модель реализована в виде специального программного средства, позволяющего на основе оценки зон прикрытия территорий проводить расчеты точного расположения подразделений на карте города, а также рекомендовать решения по оптимальному размещению существующих подразделений [10, 11].

Методы исследования

Проведенные ранее исследования позволили установить факторы, влияющие на время следования к месту происшествий сил и средств экстренных служб [12, 13], учет которых позволяет обеспечить адекватность исходных данных при моделировании:

- некоторая специализированная техника обладает большими габаритами, малой мобильностью и невысокой скоростью передвижения;
- некоторые районы города обладают специфической застройкой, которая в случае происшествия будет требовать привлечения специализированной техники;
- при выборе пути следования необходимо учитывать следующие факторы: систематические пробки на определенных участках дорог; погодные условия; перегруженность транспортной сети; график проводимых ремонтных работ на дорогах; наличие разрушений и других препятствий на маршрутах движения;
- уровень профессиональной подготовки сотрудников;
- надежность спасательного оборудования;
- наличие передовых средств коммуникации.

В реальных условиях, когда пожарный расчет следует к месту происшествия, личный состав подразделений, как правило, не владеет актуальной информацией о дорожной ситуации, поэтому выбор маршрута должен исходить из возможности гибкого маневрирования.

Заблаговременный обход сложных участков дороги может обеспечить своевременную доставку спасательных служб к месту вызова в пределах установленного нормативного времени, поэтому выбор маршрута должен исходить из возможности его мгновенной корректировки.

Анализ данных количества пожаров и погибших на них людей на территории Санкт-Петербурга за последние годы позволил выявить положительную динамику снижения этих показателей, хотя при этом уровень показателей все равно остается на достаточно высоком уровне, что требует внедрения эффективных решений.

Оценка основных пожарных рисков в Санкт-Петербурге за период 2017–2022 гг. позволила получить следующие показатели (табл. 1). В данной табл. 1 представлены следующие показатели: R_1 – риск столкнуться с пожаром за единицу времени; R_2 – риск погибнуть при происшествии; R_3 – риск гибели в результате пожара за единицу времени. Данный показатель рассчитывается перемножением первых двух показателей.

Таблица 1

Основные пожарные риски в Санкт-Петербурге за период 2017–2022 гг.

Год	Население, тыс. чел.	Количество пожаров, ед.	Количество погибших при пожарах, чел.	R_1	R_2	R_3
2017	5 281 579	2 985	286	1,05	9,40	9,87
2018	5 351 935	2 820	274	1,04	9,57	9,96
2019	5 383 890	2 703	262	0,99	9,63	9,52
2020	5 398 064	2 482	245	0,90	9,68	8,70
2021	5 601 911	2 438	243	0,88	9,88	8,70
2022	5 607 916	2 323	232	0,84	9,91	8,30

Исходя из результатов, представленных в табл. 1, можно сделать следующие выводы:

- прослеживается положительная динамика снижения общего количества пожаров (-9 %) и числа погибших (-18 %);
- произошло увеличение численности населения Санкт-Петербурга (+5,4 %);
- риск R_1 (столкнуться с пожаром) уменьшился на 8,3 %, в то время как риск R_2 (погибнуть при пожаре) вырос на 8,1 %.

Таким образом, несмотря на наметившийся общий благоприятный вектор развития пожарной обстановки в Санкт-Петербурге (снижение количества пожаров и числа погибших), замечен стабильный рост пожарного риска R_2 , что еще раз подтверждает актуальность задачи поиска решений обеспечения оперативности прибытия пожарных подразделений к местам происшествий.

Проведен анализ распределения очагов пожаров на территории Санкт-Петербурга за последние девять месяцев (данные получены из раздела «Сводка ЧС и происшествий» с официального сайта Главного управления МЧС России). По результатам анализа составлена тематическая карта, на которой точками отмечены сгустки очагов пожаров (рис. 1).

Так, на территории города за этот период произошло 1 710 пожаров, наиболее сложными по пожарной обстановке оказались Адмиралтейский, Выборский и Курортный р-ны (табл. 2). Самое низкое значение показателя количества пожаров оказалось в Кронштадтском р-не.

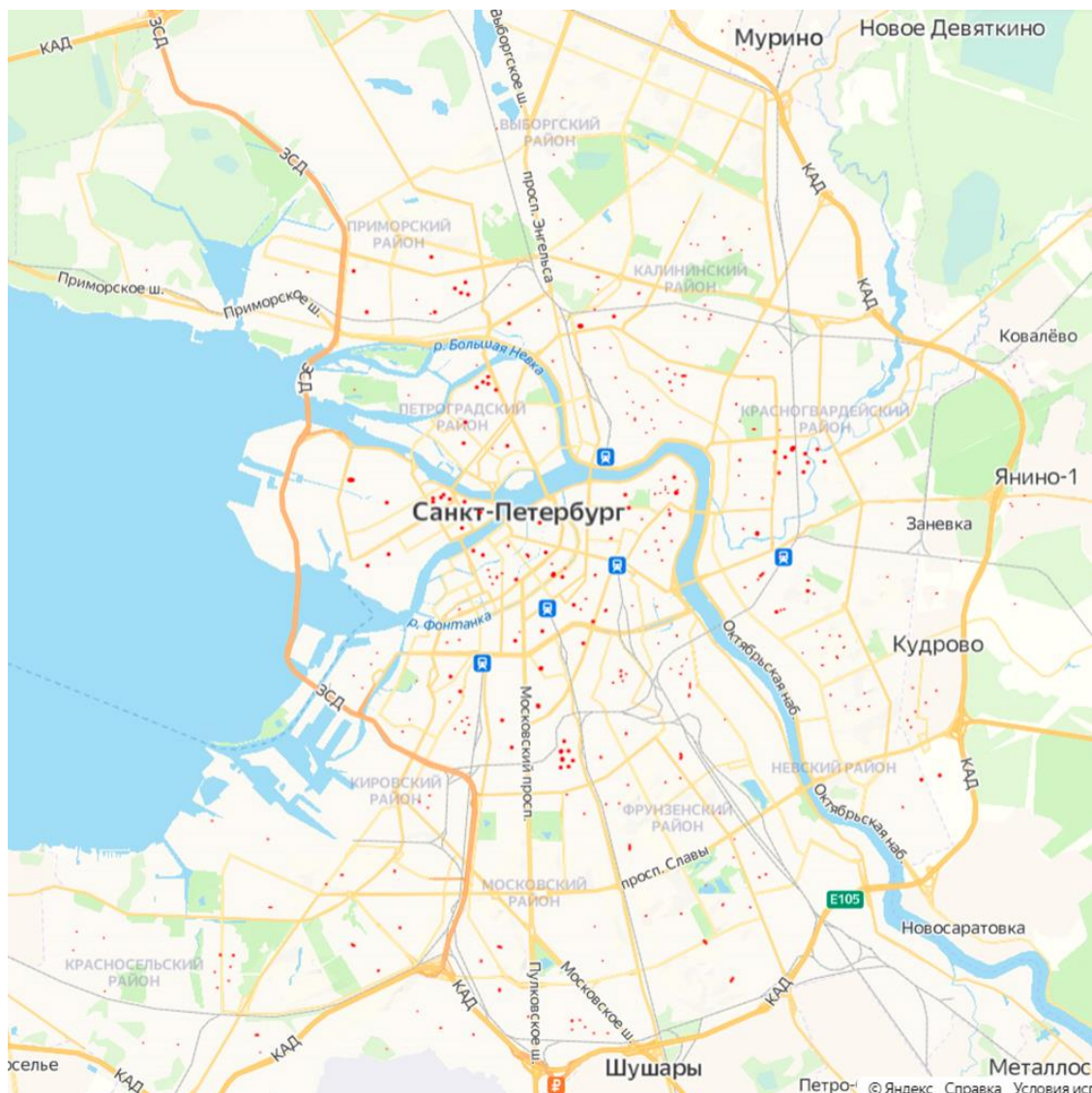


Рис. 1. Распределение очагов пожаров

Таблица 2

Распределение пожаров по районам города и времени суток

Район	Количество пожаров	%	День, ч		Ночь, ч	
			с 6:00 до 00:00		с 0:00 до 06:00	
Адмиралтейский	230	13,45 %	160	69,57 %	70	30,43 %
Курортный	140	8,19 %	60	42,86 %	80	57,14 %
Василеостровский	110	6,43 %	80	72,73 %	30	27,27 %
Выборгский	140	8,19 %	60	42,86 %	80	57,14 %
Пушкинский	60	3,51 %	20	33,33 %	40	66,67 %
Кировский	80	4,68 %	30	37,50 %	50	62,50 %
Колпинский	100	5,85 %	70	70,00 %	30	30,00 %
Фрунзенский	110	6,43 %	60	54,55 %	50	45,45 %
Красногвардейский	40	2,34 %	30	75,00 %	10	25,00 %
Кронштадтский	30	1,75 %	20	66,67 %	10	33,33 %
Московский	90	5,26 %	30	33,33 %	60	66,67 %
Невский	130	7,60 %	80	61,54 %	50	38,46 %
Петроградский	50	2,92 %	40	80,00 %	10	20,00 %
Красносельский	50	2,92 %	20	40,00 %	30	60,00 %

Район	Количество пожаров	%	День, ч		Ночь, ч	
			с 6:00 до 00:00		с 0:00 до 06:00	
Петродворцовый	80	4,68 %	60	75,00 %	20	25,00 %
Приморский	60	3,51 %	30	50,00 %	30	50,00 %
Калининский	110	6,43 %	50	45,45 %	60	54,55 %
Центральный	100	5,85 %	70	70,00 %	30	30,00 %
Всего	1710	100 %				

Результаты анализа наглядно демонстрируют, что около 70 % всех пожаров происходит в дневное время с 06:00 до 00:00 ч. Из этого следует, что в большинстве случаев учет факторов плотного автомобильного потока и наличия пробок во время доставки сил и средств подразделений имеет большое значение.

В личный состав гарнизона пожарной охраны Санкт-Петербурга составляет более 18 000 чел., из которых около 15 % находится на суточном дежурстве. В структуру пожарно-спасательных депо входит 800 ед. пожарной и специализированной техники, распределенной по спектру подразделений различной юридической принадлежности, место дислокации которых представлено на рис. 2.

На рис. 2 кружками разных цветов отмечены пожарно-спасательные подразделения следующих разновидностей:

- синие кружки (городские части);
- бордовые кружки (федеральные части);
- зелёные кружки (ведомственные и объектные части);
- черные кружки (добровольная пожарная охрана);
- серые кружки (не введенные в эксплуатацию депо, которые находятся на одном из следующих этапов: обоснование создания, проектирование, строительство, сдача объекта).

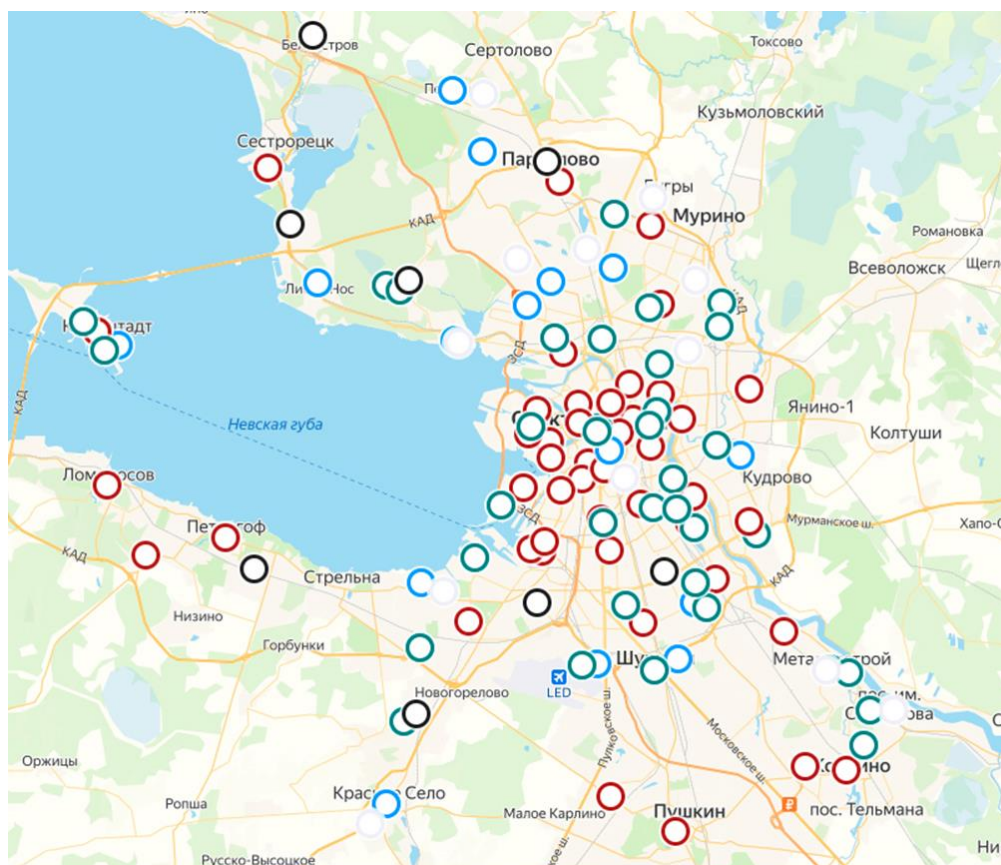


Рис. 2. Визуально-пространственное представление расположения пожарно-спасательных частей

Анализ карты дислокации пожарно-спасательных подразделений позволяет сделать вывод о неравномерности их распределения, наиболее удалённые объекты защиты на территории города находятся на расстоянии примерно 10–12 км от пожарных частей, что несет значительные риски несвоевременного прибытия сил и средств. Учитывая состояние дорожного полотна и количество пробок и аварий на территориях, можно сделать вывод, что сил и средств недостаточно для решения задач по ликвидации и предотвращению происшествий.

Как было отмечено выше, важнейшим показателем эффективности функционирования подразделений МЧС России является скорость доставки сил и средств к месту происшествия. Динамика значений среднего времени прибытия первого пожарного подразделения по Санкт-Петербургу к месту вызова за 2013–2022 гг. представлена на рис. 3.

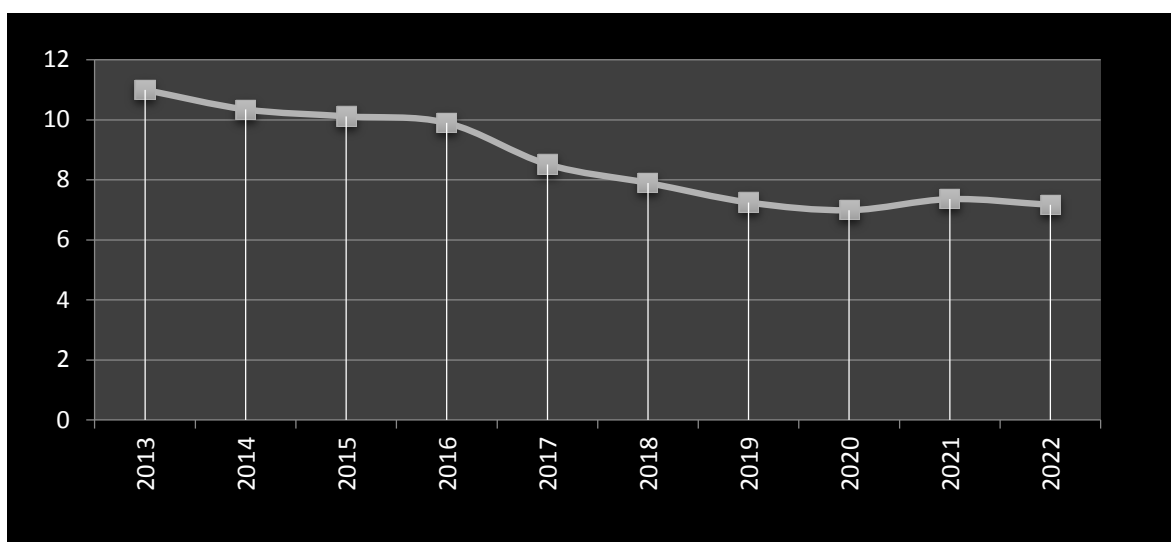


Рис. 3. Динамика среднего времени прибытия (мин) первого пожарного подразделения к месту вызова

Несмотря на положительную динамику снижения времени прибытия сил и средств, достигнутый уровень не оказывает значимого влияния на вероятность гибели человека на пожаре (риск R_2). Согласно проведенным ранее исследованиям в период времени 2–15 мин с начала происшествия уровень риска R_2 остается практически постоянным и имеет среднее значение – восемь пострадавших на 100 пожаров. Далее, в период 16–20 мин R_2 возрастает. В связи с этим снижение R_2 является актуальной задачей, которую представляется возможным решить, в том числе за счет создания и оптимального размещения новых пожарных депо на территории города.

В этой связи предлагается использовать разработанную имитационную модель, реализованную в виде программного средства, для анализа прикрытия Санкт-Петербурга пожарно-спасательными подразделениями и принятия решения по оптимальному их размещению.

Имитационное моделирование включает в себя выполнение следующих этапов:

1. Фрагментация анализируемой территории на множество квадратов со сторонами в 1 км.
2. Поиск кратчайшего маршрута до пожарно-спасательного подразделения.
3. Окрашивание каждого прямоугольника в цвет согласно следующим правилам:
 - зеленый (достижение края анализируемого квадрата в течение 5 мин);
 - жёлтый (достижение края анализируемого квадрата в течение 10 мин);
 - красный (достижение края анализируемого квадрата в течение 18 мин);
 - чёрный (выход за пределы – 18 мин).

Далее, лицо, принимающее решение (ЛПР), может визуальнo оценить прикрытие территорий и выявить гипотетические области неприкрытия.

На усмотрение ЛПР в местах визуального неприкрытия территории расставляются места возможного нового размещения депо спасателей, после чего этапы 2–3 повторяются до достижения требуемого результата.

Результаты исследования и их обсуждение

С помощью предложенной имитационной модели проведены расчеты, которые показали следующий результат, представленный на рис. 4.

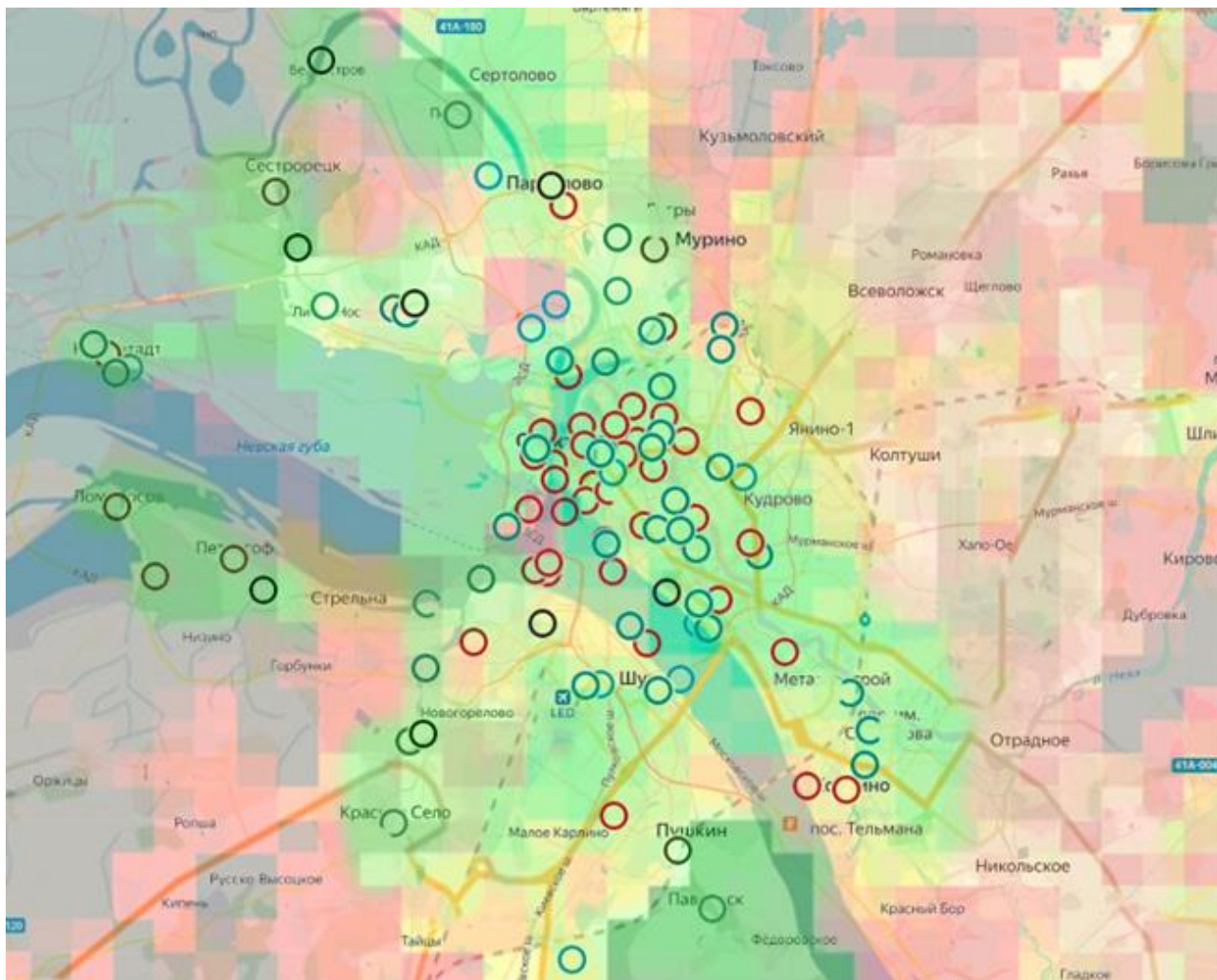


Рис. 4. Результат работы имитационной модели

На данном этапе уже визуальнo можно наблюдать участки территории со слабым прикрытием. В модели реализована функция ручного моделирования, которая активизируется нажатием кнопки мыши на произвольном фрагменте карты. После активации выбранная точка на карте становится гипотетическим очагом возгорания, к которому прокладывается маршрут от трех ближайших пожарных депо. Результаты вычислений отображаются непосредственно под картой (рис. 5).

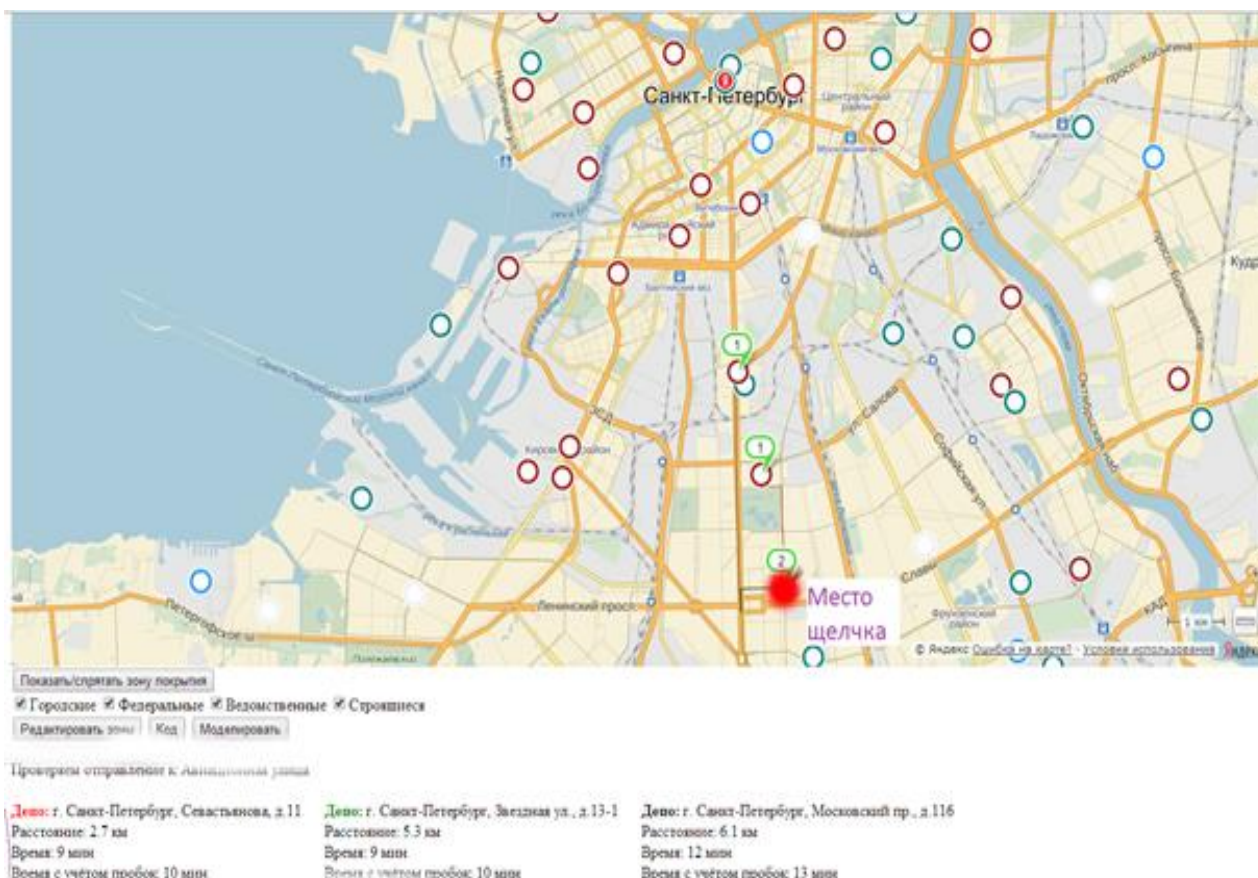


Рис. 5. Результат расчетов

В перечень информации, предоставляемой ЛПР, о трех ближайших подразделениях также входит:

- расстояние до места вызова;
- время в пути без учета внешних факторов;
- время в пути с учетом пробок.

Также модель обладает следующим функционалом:

- демонстрация зон покрытия (кнопка «показать/спрятать зону покрытия»). Демонстрация зон покрытия помогает лучше понять территории ответственности различных пожарно-спасательных подразделений (рис. 6);

- редактирование зон покрытия (кнопка «редактировать зоны»). Позволяет редактировать старые или добавлять новые зоны;

- изменение геоинформационных данных.

В результате трех итераций с имитационной моделью были определены ориентировочные места дислокации трех предлагаемых к созданию пожарно-спасательных подразделений:

- п. Ольгино, северо-восточнее д. 49 А по ул. 3-я Конная Лахта (Приморский р-он Санкт-Петербурга);
- восточнее пересечения Ропшинского ш. с ул. Демьяна Бедного (Петродворцовый р-он Санкт-Петербурга);
- юго-восточнее пересечения бул. Новаторов с Дачным пр. (Кировский р-он Санкт-Петербурга).

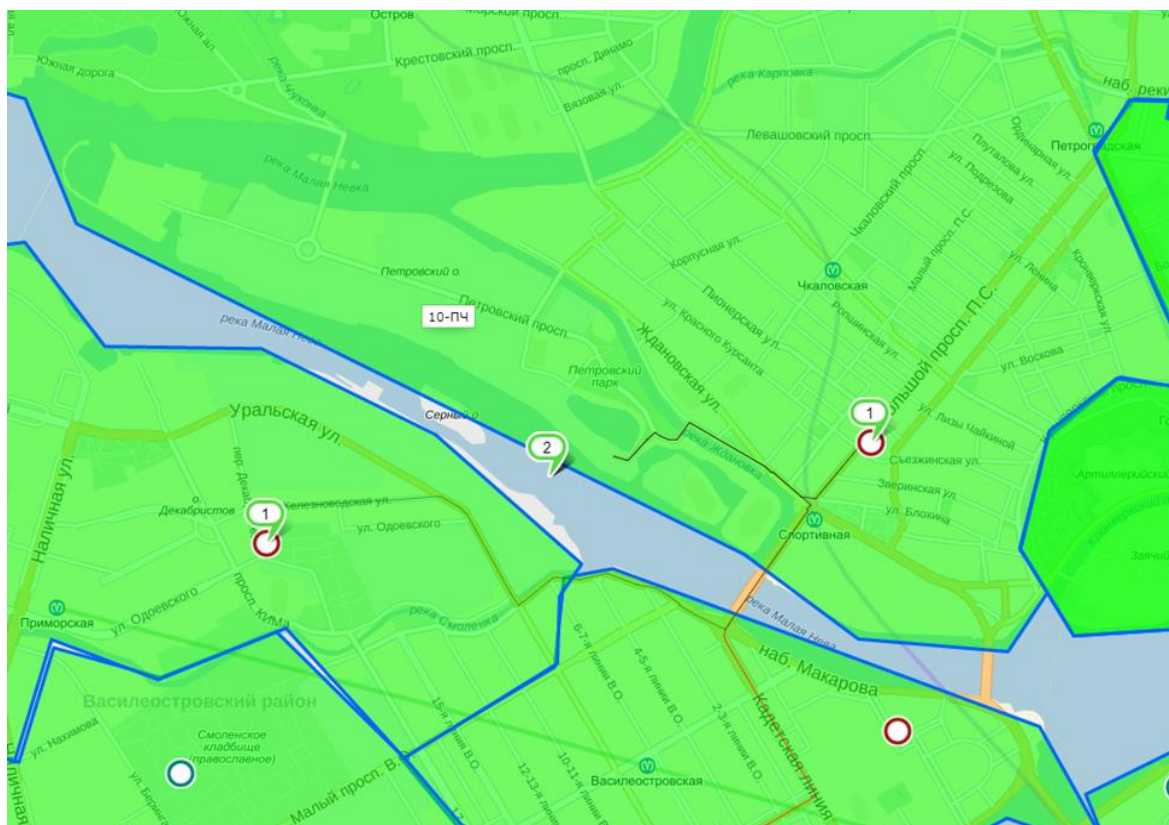


Рис. 6. Пример зон покрытия

Далее была проведена верификация полученных результатов имитационного моделирования, для чего была использована существующая аналитическая модель, применяемая для определения числа пожарных депо [14]:

$$N_{\text{ПД}} = \frac{\alpha k_{\text{н}}^2 S_{\text{общ.}}}{v_{\text{ср.дв.}}^2 \tau_{\text{ср.сл.}}^2} + \beta \lambda \tau_{\text{ср.зан.}} ,$$

где $N_{\text{ПД}}$ – требуемое количество подразделений; $k_{\text{н}}$ – безразмерный коэффициент не прямолинейности уличной сети, который вычисляется с помощью следующей формулы:

$$k_{\text{н}} = L_{\text{ф}} / L_0 ,$$

где $L_{\text{ф}}$ – фактическая длина поездки между пунктами города; L_0 – расстояние между пунктами по воздушной линии. Для Санкт-Петербурга $k_{\text{н}} = 1,22$; $S_{\text{общ.}}$ – площадь города, км²; α, β – частные коэффициенты; $v_{\text{ср.дв.}}$ – средняя скорость доставки сил и средств, км/мин; $\tau_{\text{ср.сл.}}$ – среднее время доставки сил и средств, мин; λ – количество тревожных вызовов в час; $\tau_{\text{ср.зан.}}$ – среднее время работы спасателей на одном происшествии, ч.

С помощью эмпирического исследования получены следующие значения коэффициентов: $\alpha = 0,36$, $\beta = 0,36$ и $\lambda = 3$. Средняя скорость доставки сил и средств к месту вызова (по городу) $v_{\text{ср.дв.}} = 0,45$ км/мин.

По данным Главного управления МЧС России по Санкт-Петербургу на 5 июля 2023 г. имеем значение для всей территории города: ($S_{\text{общ.}} = 67,4$ км²), $\tau_{\text{ср.зан.}} = 0,45$ и $\tau_{\text{ср.сл.}} = 6,64$. Тогда:

$$N_{\text{ПД}} = \frac{0,36 \times 1,18^2 \times 67,4}{0,6^2 \times 6,64^2} + 1,3 \times 2 \times 0,37 = 3,092.$$

Таким образом, в Санкт-Петербурге дополнительно требуется три пожарных депо, что соответствует полученным результатам при проведении имитационного моделирования. Полученные результаты подтверждают работоспособность и адекватность предлагаемой имитационной модели.

Заключение

Представленная в настоящей статье имитационная модель основана на механизмах поиска оптимальных маршрутов следования пожарно-спасательных подразделений к месту вызова, что позволяет визуализировать карту исследуемого объекта с демонстрацией неприкрытых или слабо прикрытых районов города. Также модель способна распознавать дорожные развязки, односторонние дороги, проезды, демонстрировать маршрут к зоне активного горения от ближайшего подразделения.

В результате моделирования территории Санкт-Петербурга были сделаны выводы, что для полного прикрытия территории не хватает трех пожарных подразделений, которые необходимо разместить по следующим адресам: (п. Ольгино, северо-восточнее д. 49 А по ул. 3-я Конная Лахта, Приморский р-он Санкт-Петербурга; восточнее пересечения Ропшинского ш. с ул. Демьяна Бедного, Петродворцовый р-он Санкт-Петербурга; юго-восточнее пересечения бул. Новаторов с Дачным пр., Кировский р-он Санкт-Петербурга).

Работа выполнена при поддержке Комитета по науке и высшей школе в рамках гранта молодыми учеными, молодыми кандидатами наук вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга.

Список источников

1. Вострых А.В. Анализ инновационных технологий, обеспечивающих безопасность граждан в техносферных системах // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Научный и практический подходы к развитию и реализации технологий безопасности: сб. статей по материалам XVII Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 2021. С. 205–210.
2. Крупкин А.А., Максимов А.В., Матвеев А.В. Методика оценки эффективности управления силами и средствами гарнизона пожарной охраны // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2015. № 4. С. 30–34. EDN VHNSPZ.
3. Очередыко М.В., Рыбаков А.В., Белоусов Р.Л. О результатах системного анализа оперативности реагирования центра управления в кризисных ситуациях при ликвидации чрезвычайных ситуаций // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2019. № 2 (41). С. 51–60. EDN DBFWGT.
4. Воднев С.А., Матвеев А.В. Оценка эффективности реагирования аварийно-спасательных служб на чрезвычайные ситуации на транспорте // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 2 (50). С. 110–117. EDN XDDTYZ.
5. Шофеев Т.Г., Сафарова С.Ю., Матвеев А.В. Модель и алгоритм оптимального распределения ресурсов подразделений МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 2. С. 125–133. EDN NBPXIL.
6. Серапинас Б.Б. Глобальные системы позиционирования. М.: ИКФ «Каталог», 2002. 106 с.
7. Бутырский Е.Ю., Матвеев А.В. Математическое моделирование систем и процессов. СПб.: Информ. изд. учеб.-науч. центр «Стратегия будущего», 2022. 733 с. DOI: 10.37468/book_011222. EDN CCRIRT.
8. Воронцов К.В. Алгоритмы кластеризации и многомерного шкалирования. М.: МГУ, 2007.
9. Котов А., Красильников Н. Кластеризация данных. М., 2006. 16 с.
10. Шуракова Д.Г., Вострых А.В. Компоненты специальной информационной технологии построения оптимальных маршрутов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018): VII Междунар. науч.-техн.

и науч.-метод. конф.: сб. науч. статей. СПб: С.-Петерб. гос. ун-т телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2018. Т. 2. С. 213–218. EDN XWFTRB.

11. Шуракова Д.Г., Буйневич М.В., Вострых А.В. Двухуровневая кластеризация субоптимальных зон прикрытия г. Костромы подразделениями МЧС России при возникновении происшествий // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2018. № 2. С. 121–127.

12. Решение задачи выбора оптимального маршрута следования сил и средств подразделений МЧС России к месту возникновения происшествий с помощью алгоритма Дейкстры / М.В. Буйневич [и др.] // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 3 (47). С. 68–79.

13. Чирков А.Н., Малинин Р.С., Пономарев А.И. Анализ факторов и условий, влияющих на время следования спасательного центра МЧС России в зону чрезвычайной ситуации // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2019. № 4 (43). С. 112–123. EDN ТОВУХО.

14. Об утверждении методик расчета численности и технической оснащенности подразделений пожарной охраны: приказ МЧС России от 15 окт. 2021 г. № 700. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

References

1. Vostryh A.V. Analiz innovacionnyh tekhnologij, obespechivayushchih bezопасnost' grazhdan v tekhnosfernyh sistemah // Kompleksnye problemy tekhnosfernoj bezопасnosti. Nauchnyj i praktičeskij podhody k razvitiyu i realizacii tekhnologij bezопасnosti: sb. statej po materialam XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Voronezh, 2021. S. 205–210.

2. Krupkin A.A., Maksimov A.V., Matveev A.V. Metodika ocenki effektivnosti upravleniya silami i sredstvami garnizona pozharnoj ohrany // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2015. № 4. S. 30–34. EDN VHNSPZ.

3. Ochered'ko M.V., Rybakov A.V., Belousov R.L. O rezul'tatah sistemnogo analiza operativnosti reagirovaniya centra upravleniya v krizisnyh situacijah pri likvidacii chrezvychajnyh situacij // Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity. 2019. № 2 (41). S. 51–60. EDN DBFWGT.

4. Vodnev S.A., Matveev A.V. Ocenka effektivnosti reagirovaniya avarijno-spasatel'nyh sluzhb na chrezvychajnye situacii na transporte // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2019. № 2 (50). S. 110–117. EDN XDDTYZ.

5. Shofeev T.G., Safarova S.Yu., Matveev A.V. Model' i algoritm optimal'nogo raspredeleniya resursov podrazdelenij MCHS Rossii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2023. № 2. S. 125–133. EDN NBPXIL.

6. Serapinas B.B. Global'nye sistemy pozicionirovaniya. M.: IKF «Katalog», 2002. 106 s.

7. Butyrskij E.Yu., Matveev A.V. Matematicheskoe modelirovanie sistem i processov. SPb.: Inform. izd. ucheb.-nauch. centr «Strategiya budushchego», 2022. 733 s. DOI: 10.37468/book_011222. EDN CCRIRT.

8. Voroncov K.V. Algoritmy klasterizacii i mnogomernogo shkalirovaniya. M.: MGU, 2007.

9. Kotov A., Krasil'nikov N. Klasterizaciya dannyh. M., 2006. 16 s.

10. Shurakova D.G., Vostryh A.V., Komponenty special'noj informacionnoj tekhnologii postroeniya optimal'nyh marshrutov // Aktual'nye problemy infotelekkommunikacij v nauke i obrazovanii (APINO 2018): VII Mezhdunar. nauch.-tekhn. i nauch.-metod. konf.: sb. nauch. statej. SPb: S.-Peterb. gos. un-t telekkommunikacij im. prof. M.A. Bonch-Bruevicha, 2018. Т. 2. S. 213–218. EDN XWFTRB.

11. Shurakova D.G., Bujnevich M.V., Vostryh A.V. Dvuhurovnevaya klasterizaciya suboptimal'nyh zon prikritya g. Kostromy podrazdeleniyami MCHS Rossii pri vzniknovenii proisshestvij // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2018. № 2. S. 121–127.

12. Reshenie zadachi vybora optimal'nogo marshruta sledovaniya sil i sredstv podrazdelenij MCHS Rossii k mestu vznikoveniya proisshestvij s pomoshch'yu algoritma Dejkstry / M.V. Bujnevich [i dr.] // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2018. № 3 (47). S. 68–79.

13. Chirkov A.N., Malinin R.S., Ponomarev A.I. Analiz faktorov i uslovij, vliyayushchih na vremya sledovaniya spasatel'nogo centra MCHS Rossii v zonu chrezvychajnoj situacii // Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity. 2019. № 4 (43). S. 112–123. EDN TOBYXO.

14. Ob utverzhdenii metodik rascheta chislennosti i tekhnicheskoy osnashchennosti podrazdelenij pozharnoj ohrany: prikaz MCHS Rossii ot 15 okt. 2021 g. № 700. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 28.08.2023; одобрена после рецензирования: 22.09.2023; принята к публикации: 25.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 28.08.2023; approved after review: 22.09.2023; accepted for publication: 25.09.2023

Информация об авторах:

Ахунова Дарья Геннадьевна, научный сотрудник отдела испытаний и разработки научно-технической продукции в области пожарной безопасности Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: shurakova.darya@bk.ru, SPIN-код: 4802-3758

Information about the authors:

Akhunova Daria G., researcher of the department of testing and development of scientific and technical products in the field of fire safety Research institute of advanced research and innovative technologies in the field of life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovskiy ave., 149), e-mail: shurakova.darya@bk.ru, SPIN: 4802-3758