

Научная статья  
УДК 004.021+614.842/.847  
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.86.16.013

## Метод оценки времени сосредоточения сил и средств пожарной охраны с использованием современных геоинформационных технологий

*Олег Сергеевич Малютин  
Глеб Юрьевич Шамсудинов  
Вениамин Владимирович Морозов  
Владимир Игоревич Спешилов  
Михаил Михайлович Заблоцкий*

*Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия  
Автор ответственный за переписку: Глеб Юрьевич Шамсудинов, [gleb.shamsudinov@mail.ru](mailto:gleb.shamsudinov@mail.ru)*

**Аннотация.** В данной статье описывается метод оценки времени сосредоточения сил и средств пожарной охраны в городских условиях с использованием геоинформационных технологий (ГИС) и алгоритмов поиска кратчайшего пути. Расчетная оценка времени прибытия первого пожарного подразделения к месту вызова является одним из ключевых инструментов предварительного планирования боевых действий по тушению пожаров. Используя сведения об ожидаемом времени прибытия пожарных подразделений к тем или иным объектам, можно более обоснованно прогнозировать ожидаемую обстановку на месте возможного пожара и принимать соответствующие управленческие решения. Используя данные о транспортной инфраструктуре, скорости движения и наиболее вероятных маршрутах, предлагаемый метод позволяет точно рассчитать время, необходимое для прибытия пожарных подразделений. В статье представлен алгоритм, состоящий из этапов: сбор данных, анализ городской транспортной сети, построение оптимальных маршрутов и визуализация результатов. Работа также включает создание открытого репозитория с доступом к инструментам и методиками, что позволяет пользователям углубленно ознакомиться с предложенным подходом и применять его в своих исследованиях. Такой подход обеспечивает повышение эффективности управления транспортными потоками и улучшение общей безопасности в условиях городской среды.

**Ключевые слова:** пожарная охрана, геоинформационные технологии, время прибытия, оптимизация маршрутов, транспортная сеть, визуализация данных, открытый репозиторий

**Для цитирования:** Шамсудинов Г.Ю., Морозов В.В., Малютин О.С., Спешилов В.И., Заблоцкий М.М. Метод оценки времени сосредоточения сил и средств пожарной охраны с использованием современных гео-информационных технологий // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 1(36). С. 136-149. [https://doi.org/ 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.86.16.013](https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.86.16.013)

**Благодарности:** авторский коллектив выражает глубокую признательность тайному рецензенту за ценные замечания, профессиональные рекомендации и внимательное отношение к работе.

Original article

## Method of estimation of time of concentration of forces and means of fire protection using modern information technologies

*Oleg S. Malutin*

*Gleb Yu. Shamsudinov*

*Veniamin V. Morozov*

*Vladimir I. Speshilov*

*Mikhail M. Zablockiy*

*Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia*

*Corresponding author: Gleb Yu. Shamsudinov, gleb.shamsudinov@mail.ru*

**Abstract.** This paper describes a method for estimating the time of concentration of firefighting forces and means in urban areas using geographic information technologies (GIS) and shortest path search algorithms. Estimation of the time of arrival of the first firefighting unit to the place of call is one of the key tools for preliminary planning of firefighting operations. Using information about the expected time of arrival of fire units to certain objects, you can more reasonably predict the expected situation at the site of a possible fire and make appropriate management decisions. Using data on transportation infrastructure, traffic speeds and the most likely routes, the proposed method allows us to accurately calculate the time required for the arrival of fire units. The paper presents an algorithm consisting of the following steps: data collection, analysis of the urban transportation network, construction of optimal routes and visualization of the results. The work also includes the creation of an open repository with access to tools and techniques, which allows users to familiarize themselves with the proposed approach in depth and apply it in their research. This approach provides improved traffic flow management and overall safety in urban environments.

**Keywords:** fire department, geographic information technology, arrival time, route optimization, transportation network, data visualization, open repository

**For citation:** Malyutin O.S., Shamsudinov G.Yu., Morozov V.V., Speshilov V.I., Zablockiy M.M. Method for estimating the time of concentration of forces and means of fire protection using modern geo-information technologies // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 1(36). С. 136-149. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.86.16.013>

**Acknowledgements:** the author's team expresses its deep gratitude to the mystery reviewer for valuable comments, professional advice and careful attention to the work.

### Введение

В условиях современных городов, где плотность застройки и интенсивность транспортного движения значительно возросли, особое внимание уделяется оперативному реагированию на чрезвычайные ситуации. Одним из ключевых показателей, используемых при оценке качества защиты населенных пунктов и отдельных объектов от пожаров, является время прибытия пожарных подразделений к месту вызова. Обычно рассматривается время прибытия первого пожарного подразделения, однако в ряде случаев важно учитывать не только это, но и интенсивность сосредоточения сил и средств, прибывающих по повышенному номеру вызова.

Например, в городе Красноярск в 2024 году начато строительство метрополитена. Тушение пожаров в подземных сооружениях метро представляет собой сложную задачу пожарной тактики, связанную, среди прочего, с проблемой обеспечения длительного времени работы звеньев газодымозащитной службы (далее – ГДЗС) в непригодной для дыхания среде [1]. Перед ГУ МЧС России по Красноярскому краю встал вопрос: какие подразделения пожарно-спасательного гарнизона города Красноярска требуется в первую очередь обеспечить дыхательными аппаратами с повышенным временем защитного действия.

Было принято решение, что в первую очередь необходимо оснастить те пожарные подразделения, время прибытия которых к станциям метро минимально. Для расчета времени

прибытия пожарных подразделений в ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России было разработано решение, использующее современные геоинформационные технологии (далее – ГИС) и средства разработки программного обеспечения.

Результаты предварительного расчета времени сосредоточения сил и средств к станциям метро в городе Красноярск были представлены на международной научно-практической конференции «Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций» [2]. В данной работе метод оценки времени сосредоточения сил и средств пожарной охраны описывается более подробно и применяется для проведения сравнительного анализа на примере ряда городов России.

### **Существующие решения**

Вопросами анализа параметров реагирования пожарных подразделений и изучения оперативной обстановки с пожарами в крупных городах занимаются специалисты многих организаций в России. Например, можно отметить работы Н.Н. Брушлинского и С.В. Соколова [3–5], которые использовали методы имитационного моделирования и компьютерную имитационную систему КОСМАС [6]. Значительный вклад внесли также представители ВНИИПО [7,8], предложившие свой подход к размещению пожарных подразделений, включая определение кратчайших маршрутов на основе анализа графа дорожной сети. Кроме того, стоит упомянуть работу [9], в которой описывается подход к определению оптимальных маршрутов с использованием онлайн-картографических сервисов.

Однако упомянутые подходы не всегда удобны для практического использования специалистами пожарной безопасности. Применение результатов исследований [3–9] может потребовать от лиц, принимающих решения при анализе оперативной обстановки, наличия специфических знаний и определенной подготовки.

В то же время теоретическая глубина существующих решений [3–9] в условиях современного уровня развития информационных технологий открывает новые возможности для анализа оперативной обстановки и оценки времени сосредоточения сил и средств пожарной охраны. В данной работе предлагается рассмотреть применение современных геоинформационных технологий для оценки времени сосредоточения сил и средств пожарной охраны.

### **Метод оценки времени сосредоточения сил и средств пожарной охраны**

В основе метода лежит применение алгоритмов определения кратчайшего (в данном случае — скорейшего) маршрута следования между двумя вершинами графа улично-дорожной сети. В роли стартовых вершин выступают места размещения пожарных подразделений, а в роли конечных — целевые объекты защиты.

Граф улично-дорожной сети (далее — ГДС) отражает характер дорог на территории рассматриваемого города и их топологию, то есть связи между собой. Вершины ГДС представляют собой перекрестки, места изменения характеристик проезжих частей (ширины, покрытия, количества полос и т.д.) и тупики. Ребра графа отражают участки проезжих частей: класс дорог, протяженность, максимальную скорость движения и время следования пожарных автомобилей [10].

Маршрут следования между стартовой и конечной точками рассчитывается с использованием одного из алгоритмов поиска кратчайшего пути, учитывая веса ребер ГДС, которые отражают время следования пожарных автомобилей [11,12]. В данной работе в качестве алгоритма поиска кратчайшего пути использован алгоритм Дейкстры [12].

Общий ход проведения расчетов можно представить в виде следующей последовательности:

1. Загружается ГДС.

2. Места размещения пожарных подразделений и целевых объектов защиты ассоциируются с ближайшими узлами ГДС.
3. Рассчитывается скорейший маршрут между всеми пожарными депо и объектами защиты, а также оценивается ожидаемое время прибытия каждого из подразделений к каждому из объектов.
4. Выбираются  $n$  подразделений, среднее время прибытия которых ко всем объектам защиты минимально.
5. Делаются выводы по итогам расчета.

### Инструменты разработки

В качестве инструментов разработки выбраны:

- «Python» – высокоуровневый язык программирования общего назначения с динамической строгой типизацией и автоматическим управлением памятью [13];
- «Visual Studio Code» – разрабатываемая Microsoft среда разработки: содержит интеграцию с системой контроля версий, а также встроенный терминал, собственный отладчик и набор инструментов для рефакторинга кода [13];
- Jupyter Notebook – веб-приложение позволяющее запускать программный код Python непосредственно в окне интернет-браузера или среде разработки [13].

Для решения частных задач выбраны следующие библиотеки Python:

- georandas – для загрузки и манипуляции пространственными данными, такими как координаты пожарных подразделений и станций метро, а также для сохранения результатов расчета в табличном виде [14];
- osmnx – для загрузки ГДС из открытого картографического сервиса Open Street Map (далее – OSM) [15];
- networkx – для проведения расчетов кратчайшего маршрута [13];
- matplotlib – для визуализации результатов расчета [14];
- contextily – для добавления фоновых картографических подложек для результирующих изображений [14].

### Оценка времени сосредоточения сил и средств пожарной охраны на строящиеся станции метрополитена в городе Красноярске

Исходные данные

Для решения поставленной задачи использованы следующие исходные данные:

- географические координаты пожарных подразделений Красноярского пожарно-спасательного гарнизона (в соответствии с реальным размещением);
- географические координаты строящихся станций метро (в соответствии с реальным размещением);
- скорости следования пожарных автомобилей по разным типам дорог, в соответствии с данными полученными на основе анализа скоростей движения пожарных автомобилей в городе Новосибирск за период с 2016 по сентябрь 2020 годов с использованием методов машинного обучения [10] (Табл.2);
- граф улично-дорожной сети (ГДС) города Красноярска, полученный из открытого картографического ресурса OpenStreetMap с использованием сервиса Overpass API (с буферной зоной размером 2 км) [15].

**Табл.1. Расчетные скорости следования пожарных автомобилей для разных категорий дорог [10]**

Описание	Тег в OSM	Скорость следования, км/ч
Федерального значения	trunk	49
Регионального значения	primary	38
Областного значения	secondary	36
Прочие местного значения	unclassified	36
Районного значения	tertiary	26
Внутри жилых зон	residential	25

Служебные проезды: внутриквартальные, въездные, парковочные и т. д.	service	16
---	---------	----

Визуализация необходимых для расчета данных в виде карты приведена на Рис. 1.

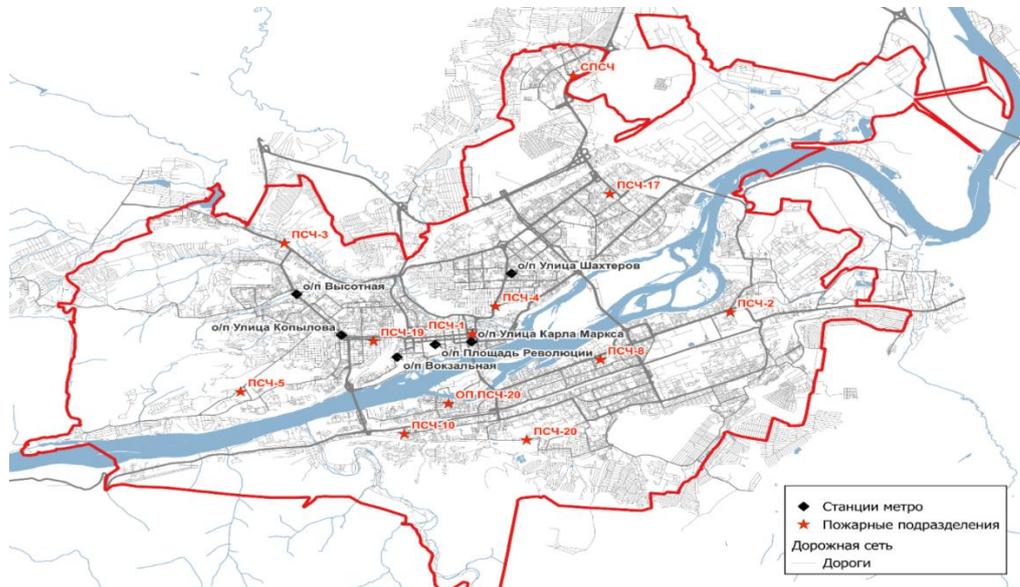


Рис. 1. Визуализация исходных данных необходимых для расчета

### Ход проведения расчетов

Ниже приведен порядок проведения расчетов и некоторые фрагменты программного кода. Полный исходный код можно увидеть в репозитории проекта: [https://gitverse.ru/MSI/fire\\_depot\\_metro\\_speed\\_analysis/content/master](https://gitverse.ru/MSI/fire_depot_metro_speed_analysis/content/master).

1) Получение файла формате .ipynb и использование его в среде Visual Studio Code с установленным Python или в Google Colab.

2) Подключение необходимых библиотек.

```
import osmnx as ox
import geopandas as gpd
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt
```

3) Получение границ города и границ расчетной области с буфером 2 км. Буферная зона необходима для обеспечения корректного расчета в случаях, когда доступ к определенным участкам населенного пункта возможен только через территории, находящиеся за его пределами.

```
city_name = 'Красноярск, Красноярский край, Россия'
bounds = ox.geocode_to_gdf(city_name)

buffer_size = 2000
bounds_proj = ox.project_gdf(bounds)
bounds_buff = bounds_proj.buffer(buffer_size)
bounds_buff = ox.project_gdf(bounds_buff, to_latlong=True)
```

На Рис.2 показан полигон расчетной области.

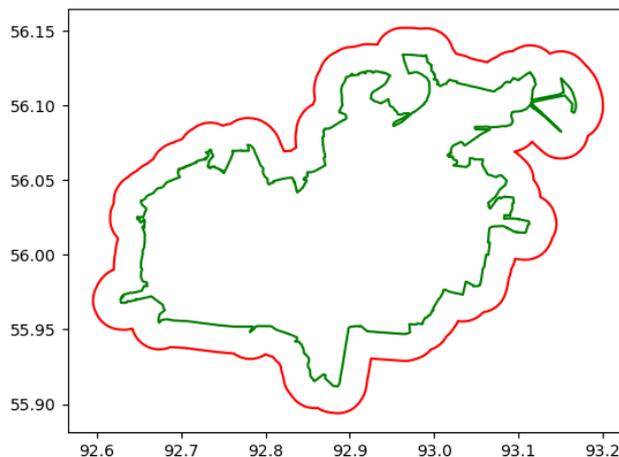


Рис.2. Границы города (зеленый) и расчетной области (красный)

4) Загрузка графа улично-дорожной сети и координат размещения пожарных подразделений

```
G = ox.graph_from_polygon(bounds_buff.geometry.unary_union,
network_type='drive_service')

# Загрузка из файлов геopakage
firestations = gpd.read_file(r'data\units.gpkg')
metro_stations = gpd.read_file(r'data\metro.gpkg')

# Координаты ПСЧ
firestations_coords = [
    (92.8736954, 56.0135155),
    (92.74726, 55.99171),
    # ...координаты прочих ПСЧ
]

# Координаты станций метро
metro_stations_coords = [
    (92.89514434310051, 56.03642621157869),
    (92.87335127246423, 56.010610379485094),
    # ...координаты прочих станций
]

# Создание GeoDataFrame для пожарных станций
firestations_gdf = gpd.GeoDataFrame(
    {'name': [f'Firestation {i}' for i in range(len(firestations_coords))]},
    geometry=[Point(lon, lat) for lon, lat in firestations_coords],
    crs="EPSG:4326" # Установим систему координат
)

# Создание GeoDataFrame для станций метро
metro_stations_gdf = gpd.GeoDataFrame(
    {'name': [f'Metro Station {i}' for i in
range(len(metro_stations_coords))]},
    geometry=[Point(lon, lat) for lon, lat in metro_stations_coords],
    crs="EPSG:4326" # Установим систему координат
)
```

5) Вычисление времени следования пожарных автомобилей по всем участкам ГДС (с учетом скоростей в Табл.1).

6) Расчет скорейших маршрутов и времени следования от пожарных депо до станций метро.

```
arrival_times = {}
routes_main = {}
for metro_station in metro_stations.itertuples():
    end_node = ox.nearest_nodes(G, metro_station.geometry.x,
metro_station.geometry.y)
    for firestation in firestations.itertuples():
        start_node = ox.nearest_nodes(G, firestation.geometry.x,
firestation.geometry.y)
        route = nx.shortest_path(G, start_node, end_node, weight='time')
        route = route_to_gdf(G, route, weight='time')

        time = route['time'].sum()
        arrival_times[(firestation.name, metro_station.name)] = time

        routes_main[(firestation.name, metro_station.name)] = route
```

7) Окончательная обработка и подготовка итоговой таблицы расчетов.

```
# Преобразование словаря времен прибытия в DataFrame
arrival_times_df = pd.DataFrame(arrival_times.items(),
                                columns=['Пожарное депо и метро', 'Время следования
(мин)'])

# Разделение кортежа на две отдельные колонки
arrival_times_df[['Пожарное депо', 'Станция метро']] =
pd.DataFrame(arrival_times_df['Пожарное депо и метро'].tolist())

# Удаляем старую колонку
arrival_times_df = arrival_times_df.drop(columns=['Пожарное депо и метро'])
```

8) Сохранение результатов расчета.

```
# Сортируем по станции и времени прибытия
arrival_times_df.sort_values(by=['Станция метро', 'Время следования (мин)'],
inplace=True)
arrival_times_df.set_index(['Пожарное депо', 'Станция метро'], inplace=True)

# Сохраняем DataFrame в Excel
file_path = 'arrival_times.xlsx' # Путь к файлу, в который вы хотите
сохранить результаты
arrival_times_df.to_excel(file_path, index=True, engine='openpyxl')
```

9) Печать карт с визуализацией результатов вычислений (Рис.3).

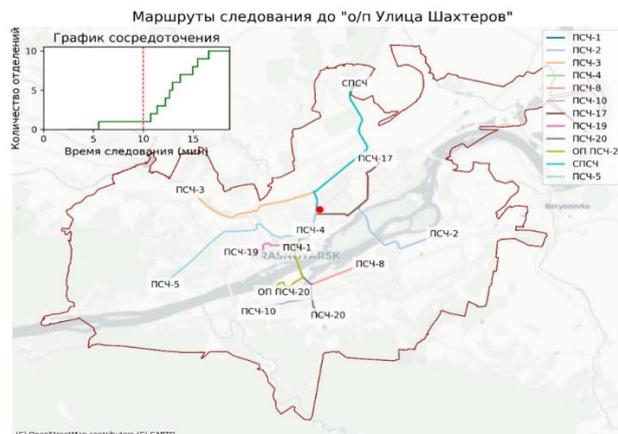


Рис.3. Визуализация маршрутов до станций метро с графиками времени следования. Результаты расчета также могут быть переданы для дальнейшего анализа в специализированные программные средства, например, в QGIS

## Обсуждение результатов

В Табл.2 приведены результаты расчета времен прибытия пожарных подразделений города Красноярска к станциям метрополитена. В таблице выделены значения времени, минимальные для каждой станции по отношению к ПСЧ.

Ниже приведен порядок проведения расчетов и некоторые фрагменты программного кода. Полный исходный код можно увидеть в репозитории проекта: [https://gitverse.ru/MSI/fire\\_depot\\_metro\\_speed\\_analysis/content/master](https://gitverse.ru/MSI/fire_depot_metro_speed_analysis/content/master).

1) Для использования репозитория пользователям необходимо скачать файл в формате .ipynb на свой персональный компьютер и открыть его в среде Visual Studio Code с установленным Python или запустить код в Google Colab.

Для корректной работы необходимо требуется библиотека osmnx. В Google Colab ее можно установить с помощью команды:

```
!pip install osmnx
```

В Visual Studio Code необходимо установить библиотеку через терминал или с помощью Anaconda.

2) Подключение необходимых библиотек

```
import osmnx as ox
import geopandas as gpd
import pandas as pd
import networkx as nx
import folium
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.colors as mcolors
```

3) Получение границ города и границ расчетной области с буфером 2 км

```
city_name = 'Красноярск, Красноярский край, Россия'
bounds = ox.geocode_to_gdf(city_name)

buffer_size = 2000
bounds_proj = ox.project_gdf(bounds)
bounds_buff = bounds_proj.buffer(buffer_size)
bounds_buff = ox.project_gdf(bounds_buff, to_latlong=True)
```

На Рис.2 показан полигон расчетной области

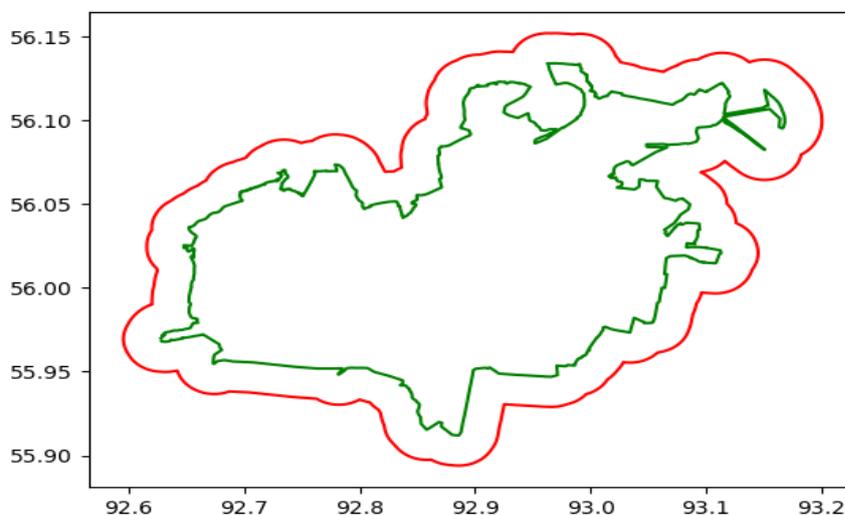


Рис.2. Границы города (зеленый) и расчетной области (красный)

4) Загрузка графа улично-дорожной сети и координат размещения пожарных подразделений

```
G=ox.graph_from_polygon(bounds_buff.geometry.unary_union,
network_type='drive_service')

# Загрузка из файлов геopakage
firestations = gpd.read_file(r'data\units.gpkg')
metro_stations = gpd.read_file(r'data\metro.gpkg')

# Координаты ПСЧ
firestations_coords = [
    (92.8736954, 56.0135155),
    (92.74726, 55.99171),
    # ...координаты прочих ПСЧ
]

# Координаты станций метро
metro_stations_coords = [
    (92.89514434310051, 56.03642621157869),
    (92.87335127246423, 56.010610379485094),
    # ...координаты прочих станций
]

# Создание GeoDataFrame для пожарных станций
firestations_gdf = gpd.GeoDataFrame(
    {'name': [f'Firestation {i}' for i in range(len(firestations_coords))]},
    geometry=[Point(lon, lat) for lon, lat in firestations_coords],
    crs="EPSG:4326" # Установим систему координат
)

# Создание GeoDataFrame для станций метро
metro_stations_gdf = gpd.GeoDataFrame(
    {'name': [f'Metro Station {i}' for i in
range(len(metro_stations_coords))]},
    geometry=[Point(lon, lat) for lon, lat in metro_stations_coords],
    crs="EPSG:4326" # Установим систему координат
```

5) Вычисление времени следования пожарных автомобилей по всем участкам ГДС (с учетом скоростей в Табл.1).

6) Расчет скорейших маршрутов и времени следования от пожарных депо до станций метро

```
arrival_times = {}
routes_main = {}
for metro_station in metro_stations.itertuples():
    print('Расчет для:', metro_station.name)
    end_node = ox.nearest_nodes(G, metro_station.geometry.x,
metro_station.geometry.y)
    for firestation in firestations.itertuples():
        start_node = ox.nearest_nodes(G, firestation.geometry.x,
firestation.geometry.y)
        route = nx.shortest_path(G, start_node, end_node, weight='time')
        route = route_to_gdf(G, route, weight='time')

        time = route['time'].sum()
        arrival_times[(firestation.name, metro_station.name)] = time

        routes_main[(firestation.name, metro_station.name)] = route
```

7) Окончательная обработка и подготовка итоговой таблицы расчетов

```
# Преобразование словаря времен прибытия в DataFrame
arrival_times_df = pd.DataFrame(arrival_times.items(),
                                columns=['Пожарная станция и метро', 'Время следования
(мин)'])

# Разделение кортежа на две отдельные колонки
arrival_times_df[['Пожарная станция', 'Станция метро']] =
pd.DataFrame(arrival_times_df['Пожарная станция и метро'].tolist())

# Удаляем старую колонку
arrival_times_df = arrival_times_df.drop(columns=['Пожарная станция и
метро'])
```

8) Сохранение результатов расчета

```
# Сортируем по станции и времени прибытия
arrival_times_df.sort_values(by=['Станция метро', 'Время следования (мин)'],
inplace=True)
arrival_times_df.set_index(['Пожарное депо', 'Станция метро'], inplace=True)

# Сохраняем DataFrame в Excel
file_path = 'arrival_times.xlsx' # Путь к файлу, в который вы хотите
сохранить результаты
arrival_times_df.to_excel(file_path, index=True, engine='openpyxl')
```

9) Печать карт с визуализацией результатов вычислений (Рис.3)



Рис.3. Визуализация маршрутов до станций метро с графиками времени следования

**Обсуждение результатов**

В Табл.2 приведены результаты расчета времен прибытия пожарных подразделений города Красноярска к станциям метрополитена. В таблице выделены значения времени, минимальные для каждой станции по отношению к ПСЧ.

**Табл.2. Расчётные значения времени следования подразделений пожарной охраны к строящимся станциям метро в г. Красноярске**

Пожарная часть	Станция метро						Среднее
	о/п Вокзальная	о/п Высотная	о/п Площадь Революции	о/п улица Карла Маркса	о/п улица Копылова	о/п улица Шахтеров	
ПСЧ-19	3,71	5,4	4,4	6,21	2,59	10,73	5,51
ПСЧ-1	5,17	10,31	3,72	1,19	7,5	5,54	5,57
ПСЧ-4	10,15	14,54	8,87	6,35	12,2	2,43	9,09
ОП ПСЧ-20	11,87	16,64	10,41	7,13	14,12	12,21	12,06
ПСЧ-20	12,28	17,42	10,82	7,54	14,61	12,62	12,55
ПСЧ-3	12,34	3,86	12,81	12,42	7,54	14,94	10,65
ПСЧ-8	12,58	17,72	11,12	7,84	14,91	12,92	12,85
ПСЧ-5	12,85	8,76	13,54	15,35	8,05	18,64	12,87
ПСЧ-10	12,89	12,33	11,91	8,63	9,81	13,71	11,55
ПСЧ-2	17,92	23,06	16,47	13,19	20,26	15,44	17,72
ПСЧ-17	19,03	23,07	17,57	15,05	21,36	11,38	17,91
СПСЧ	25,6	27,87	24,43	21,91	27,02	16,55	23,90
Среднее	13,03	15,08	12,17	10,23	13,33	12,26	

Анализируя эти результаты, специалисты пожарной охраны могут делать выводы о том, какие подразделения гарнизона следует оснащать теми или иными видами пожарной техники в первую очередь, учитывая их близость к объектам защиты. В данном случае можно сделать вывод, что первыми к станциям метрополитена прибывают пожарные подразделения: ПСЧ-19, ПСЧ-1 и ПСЧ-4. При оснащении этих подразделений рекомендуется уделить особое внимание специальным видам пожарной техники и аварийно-спасательного оборудования, предназначенного для тушения пожаров и ликвидации последствий ЧС на объектах метрополитена.

Анализ времени сосредоточения сил и средств пожарной охраны к объектам защиты позволяет оценить, какие из них в меньшей степени прикрыты подразделениями пожарной охраны. На основании этого можно делать выводы о необходимости принятия дополнительных технических или организационных мер защиты. В данном случае можно отметить, что в целом строящиеся станции метро в Красноярске защищены примерно одинаково, однако приоритет в принятии мер защиты от пожаров можно отдать станции «о/п Высотная» из-за наибольшего среднего времени сосредоточения сил и средств (15,08 мин).

Табл.2 демонстрирует табличный способ анализа полученных результатов. Рис.3 иллюстрирует визуальный подход к анализу данных, позволяющий оценить кратчайшие маршруты следования и интенсивность сосредоточения сил и средств.

### **Сравнение времени сосредоточения сил и средств с другими городами**

Описанный метод можно применять для сравнительного анализа защищенности различных типов объектов на территории населенных пунктов.

В качестве иллюстрации проведен сравнительный анализ времени сосредоточения сил и средств пожарной охраны к строящимся станциям метро в Красноярске с другими городами, где метрополитен уже функционирует, – Новосибирском, Казанью и Екатеринбургом. Результаты приведены в Табл.3.

**Табл.3. Расчётные значения времени прибытия подразделений пожарной охраны к станциям метро**

Город	Среднее время прибытия, мин	Максимальное время прибытия, мин	Минимальное время прибытия, мин	Среднее время прибытия по рангу пожара (количество отделений на основных пожарных автомобилях), мин					
				1 (2)	1 Бис (4)	2 (6)	3 (10)	4 (13)	5 (15)
Красноярск	19,6	45,2	3,1	3,1	11	18	22,5	29,3	45,2
Новосибирск	19,2	45,0	4,0	4,0	6,8	12,0	18,5	21,8	35,2
Казань	16,1	34,0	4,1	4,1	8,4	12,8	19,2	24,7	34,0
Екатеринбург	15,7	33,1	4,0	4,0	8,8	12,4	16,4	19,7	25,4

Ранги пожара определены в соответствии с приказом МЧС России от 25.10.2017 № 467 «Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах». Количество основных пожарных автомобилей рассматривалось исходя из допущения, что подразделение, в районе которого находится объект, направляет два отделения, прочие – по одному.

Как видно из результатов анализа (Табл.3), среднее время прибытия подразделений пожарной охраны к станциям метро в Красноярске составляет 19,6 минут, что является самым высоким показателем среди рассмотренных городов. В Новосибирске этот показатель немного ниже — 19,2 минуты, а в Казани и Екатеринбурге среднее время прибытия значительно меньше: 16,1 минуты и 15,7 минут соответственно. Это указывает на то, что уровень защиты строящихся станций метрополитена в Красноярске, с точки зрения времени сосредоточения сил и средств по повышенным рангам пожара, ниже, чем аналогичный показатель в рассмотренных городах.

Графическая интерпретация полученных значений времени прибытия подразделений пожарной охраны к станциям метро представлена на Рис.4.

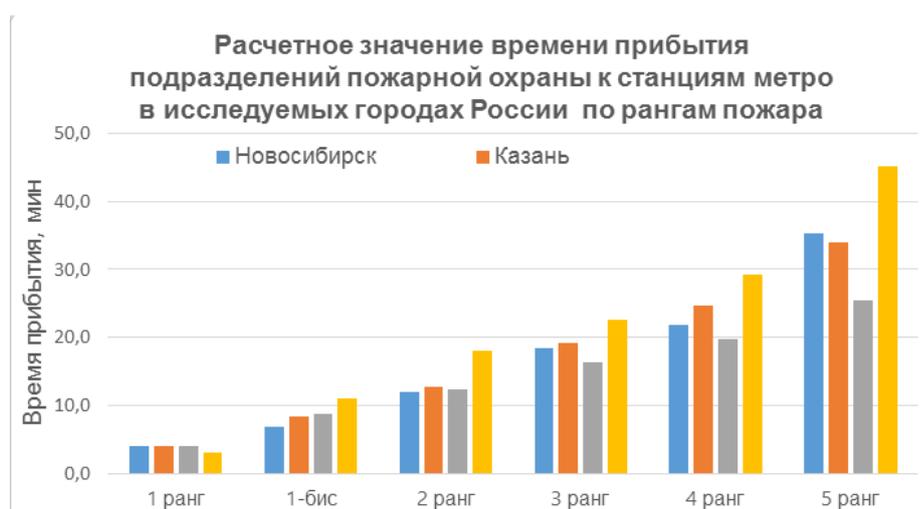


Рис.4. Расчетное значение времени прибытия для исследуемых городов

Необходимо отметить, что проведенная оценка времени сосредоточения сил и средств пожарной охраны для городов Новосибирск и Казань также выявила проблемы, связанные с превышением нормативного времени прибытия первого подразделения пожарной охраны к станциям метрополитена. Это указывает на потенциальную уязвимость данных объектов.

## Заключение

Предложенный метод предоставляет инструменты для расчета времени прибытия пожарных подразделений. Он может быть применен не только для станций метрополитена, но и для любых других объектов, таких как больницы, промышленные предприятия, культурно-зрелищные объекты, объекты национального достояния и т.д.

В перспективе дальнейших исследований возможно расширение функционала решения, включая внедрение более совершенных алгоритмов и оптимизационных методов, разработку пользовательского интерфейса в виде прикладного программного обеспечения, а также использование новых источников данных для повышения точности расчетов.

Полный код и примеры описанного решения представлены в репозитории по следующему адресу: [https://gitverse.ru/MSI/fire\\_depot\\_metro\\_speed\\_analysis](https://gitverse.ru/MSI/fire_depot_metro_speed_analysis)

## Список источников

1. Об утверждении Правил использования средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения личным составом подразделений пожарной охраны: Приказ МЧС России от 27.12.2022 г. N 640 // КонсультантПлюс: сайт. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_434782/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_434782/) (дата обращения 23.12.2024).
2. Малютин О.С. и др. Оценка применимости библиотеки OSMnx для анализа параметров прибытия пожарных подразделений на примере строящихся станций метрополитена в Красноярске // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Красноярск. – 2024.
3. Соколов С.В., Судаков Е.А. Анализ и оценка времени прибытия пожарных подразделений к местам вызовов в Санкт-Петербурге в 2006-2015 гг // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 2(66). – С. 86–93.
4. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. Математические методы и модели управления в Государственной противопожарной службе: Учебник. Издание второе, исправленное и дополненное. М: Академия ГПС МЧС России. – 2019. – С. 194.
5. Алехин Е.М. и др. Решение проблемы оргпроектирования экстренных и аварийно-спасательных служб в городах // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 3(67). С. 192–199.
6. Соколов С.В., Брушлинский Н.Н., Фам К.Х. Разработка и адаптация имитационной системы оперативной деятельности пожарных подразделений к условиям Вьетнама // FE. – 2021. – №2. – С. 5–14.
7. Порошин А.А. и др. Автоматизированная система организационного проектирования деятельности и ресурсной оснащенности оперативных подразделений пожарной охраны // М.:ВНИИПО. – 2012. – С. 523–542.
8. Алехин Е.М. и др. Проблемно-ориентированные имитационные системы для автоматизированного проектирования и стратегического управления экстренными и аварийно-спасательными службами городов // Вестник РАЕН. – 2012. – № 3(12). – С. 27–34.
9. Буйневич М.В., Пелех М.Т. Совершенствование маршрутов следования пожарно-спасательных подразделений к месту вызова. Казань: ООО «Конверт». – 2019. – С. 86–88.
10. Малютин О.С., Хабибулин Р.Ш. Анализ скорости движения пожарных автомобилей в зависимости от назначения дорог с использованием машинного обучения // Сборник материалов ежегодной международной научно-технической конференции “Системы безопасности”. – 30 ноября 2023 года. – Москва. – С. 44–50.
11. Изотова Т.Ю. Обзор алгоритмов поиска кратчайшего пути в графе // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2016. – №19. – С. 341–344.
12. Смолин И.Ю., Барабанщиков И.Ю. Оптимизация поиска пути. Алгоритмы нахождения кратчайшего пути // Colloquium-Journal. – 2020. – № 1–2(53). – С. 92–97.
13. Chris Garrard. Geoprocessing with Python. Shelter Island, NY: Manning Publication Co., 2016.
14. Березин А.А. Обзор библиотек Python для решения задач обработки спутниковых данных // сборник статей XIX Международной научно-практической конференции. В 2 ч.,

Пенза, 05 июня 2024 года. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), – 2024. – С. 123–125.

15. Boeing G. OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks // *Computers, Environment and Urban Systems*. – 2017. – № 65. – С. 126–139.

## References

1. On Approval of the Rules for the use of personal protective equipment for respiratory organs and vision by the personnel of fire protection units: Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia from 27.12.2022 № 640 // ConsultantPlus: website. - URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_434782/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_434782/) (date of address 23.12.2024).

2. Malyutin O.S. et al. Assessment of applicability of OSMnx library for the analysis of the arrival parameters of fire units on the example of the subway stations under construction in Krasnoyarsk // *Monitoring, modeling and forecasting of natural hazards and emergencies: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, 25.11.2024*.

3. Sokolov S.V., Sudakov E.A. Analysis and evaluation of the time of arrival of fire departments to the places of calls in St. Petersburg in 2006-2015 // *Technosphere safety technologies*. – 2016. – №. 2(66). – pp. 86-93.

4. Brushlinsky N.N., Sokolov S.V. *Mathematical methods and models of management in the State Fire Service: Textbook. Edition of the second edition, corrected and supplemented*. M: Academy of the State Fire Fighting Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, – 2019. – pp.194.

5. Alekhin E.M. et al. Solving the problem of organization design of emergency and rescue services in cities // *Technosphere safety technologies*. – 2016. –№. 3(67). – pp. 192-199.

6. Sokolov S.V., Brushlinsky N.N., Pham K.H. Development and adaptation of the simulation system of the operational activity of the fire departments to the conditions of Vietnam // *FE*. – 2021. – №. 2. – pp. 5-14.

7. Poroshin A.A. et al. Automated system of organizational design of activity and resource equipment of operational units of fire protection // *М.:VNIИПО*. – 2012. – pp. 523-542.

8. Alekhin E.M. et al. Problem-oriented simulation systems for automated design and strategic management of emergency and rescue services of cities // *Vestnik RAEN*. – 2012. – №. 3(12). – pp. 27-34.

9. Buinevich M.V., Pelekh M.T. Perfection of the routes of fire-rescue units to the place of call. Kazan: ООО “Convert”. – 2019. – pp. 86-88.

10. Malyutin O.S., Habibulin R.Sh. Analysis of the speed of fire trucks depending on the purpose of roads using machine learning // *Proceedings of the annual international scientific and technical conference “Security Systems”*. – 30.11.2023. – Moscow. – pp. 44-50.

11. Izotova T.Yu. Review of algorithms for finding the shortest path in a graph // *New information technologies in automated systems*. – 2016. – №. 19. – pp. 341-344.

12. Smolin I.Yu., Barabantschikov I.Yu. Optimization of the path search. Algorithms for finding the shortest path // *Colloquium-Journal*. – 2020. – №. 1-2(53). – pp. 92-97.

13. Chris Garrard. *Geoprocessing with Python*. Shelter Island, NY: Manning Publication Co., 2016.

14. Berezin A.A. Review of Python libraries for solving problems of satellite data processing // *Collection of articles of the XIX International Scientific and Practical Conference*. In 2 parts, Penza, 05.06.2024. Penza: Nauka i Enlightenment (IP Gulyaev G.Yu.). – pp. 123-125.

15. Boeing G. OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks // *Computers, Environment and Urban Systems*. – 2017. – №. 65. – pp. 126-139.

Статья поступила в редакцию 14.02.2025, одобрена после рецензирования 10.03.2025, принята к публикации 20.03.2025.

The article was submitted 14.02.2025, approved after reviewing 10.03.2025, accepted for publication 20.03.2025.