

УДК 004.94

## ОЦЕНКА ТРЕБУЕМОГО ОБЪЕМА ПАРКОВОЧНОГО ПРОСТРАНСТВА С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Кривоногова А.Е., Ворошилов А.И. (Набережные Челны)**

### **Введение**

Уровень автомобилизации с каждым годом увеличивается: по данным исследования в 2020 году количество автотранспорта всех типов в России составляло 59 млн. единиц, что на 15 млн. больше начала 2010 года [1]. Ввиду роста данного показателя возникает такая проблема как недостаток парковочных мест. Отсутствие своевременного решения данной проблемы может привести к дорожно-транспортным происшествиям, нанести существенный ущерб зеленым зонам, возникновению трудности движения транспорта и пешеходов. Одним из способов решения проблемы является использование программного обеспечения для моделирования, которое позволяет оценивать различные сценарии проектирования и оптимизировать вместимость парковки. Этот подход позволяет провести анализ и оптимизацию различных факторов, таких как количество мест, расположение и использование парковок, чтобы улучшить мобильность в городе и обеспечить удобство для водителей. В данной статье будет рассмотрен подробный анализ эффективности данного метода и его применение в реальной жизни.

### **Анализ существующих методов и моделей расчета размеров и оптимизации парковочного пространства**

Один из традиционных методов расчета размера парковочного места основан на количестве машиномест, необходимом для конкретного вида землепользования [2]. Этот метод учитывает количество транспортных средств, которые можно припарковать на единицу площади земли. Однако этот метод не учитывает фактический размер припаркованных транспортных средств.

Другим методом является метод генерации парковки, который определяет количество парковочных мест на основе землепользования и пикового спроса на парковку [2]. Этот метод учитывает фактический размер припаркованных транспортных средств и спрос на парковку в часы пик.

Одним из популярных подходов является использование программного обеспечения для моделирования, которое позволяет планировщикам и проектировщикам оценивать различные сценарии проектирования и оптимизировать вместимость парковки [3]. В имитационных моделях используется компьютерное программное обеспечение для имитации сценария парковки и оптимизации парковочного места [4]. В имитационных моделях учитываются различные факторы, такие как размер транспортных средств, спрос на парковку, расположение парковки и плата за парковку.

Имитационная модель имеет ряд преимуществ перед традиционными методами. Во-первых, они более точно предсказывают спрос на парковку и ее размер. Во-вторых, они могут моделировать различные сценарии, а результаты можно сравнивать, чтобы выбрать наиболее эффективную конструкцию парковки. В-третьих, они могут оптимизировать парковочные места, принимая во внимание плату за парковку, что может стимулировать использование общественного транспорта и сократить количество транспортных средств на дороге.

Оптимизация парковочного пространства включает в себя балансировку предложения и спроса на парковку, чтобы обеспечить эффективное использование

парковки при минимизации заторов и времени ожидания для пользователей. Для достижения этой цели было разработано несколько моделей оптимизации, включая линейное программирование, теорию массового обслуживания и динамическое программирование [5]. В этих моделях используются математические методы для определения оптимального количества парковочных мест, планировки парковки и стратегии ценообразования. Линейное программирование является методом оптимизации, который используется для поиска наилучшего решения в условиях линейных ограничений. Теория массового обслуживания позволяет моделировать системы обслуживания, чтобы определить оптимальные параметры обслуживания и максимизировать эффективность системы. Динамическое программирование позволяет решать задачи оптимизации, которые разбиваются на более мелкие подзадачи, решение которых в свою очередь влияет на решение оригинальной задачи. В совокупности эти три метода помогают разработчикам оптимизировать процессы и достигать наилучших результатов. Однако они не учитывают стохастический характер протекающих в реальных системах процессов.

При расчете числа парковочных мест должны быть учтены следующие показатели: население, плотность застройки, наличие территорий для парковки автомобилей, транспортная загруженность, параметры социального состояния жителей, особенности территории и другие факторы.

### Методика управления парковочным пространством на основе имитационного моделирования

Имитационное моделирование является мощным инструментом оптимизации управления парковочными местами [6]. Этот метод включает в себя воссоздание реальной парковочной системы с использованием компьютеризированной модели для прогнозирования различных сценариев при различных параметрах. Модель может учитывать такие факторы, как количество доступных парковочных мест, расположение парковки, время суток и типы транспортных средств, которые могут припарковаться [8]. Моделируя различные сценарии руководство может принимать обоснованные решения о наилучшем способе оптимизации использования парковочных мест (Рис.1).

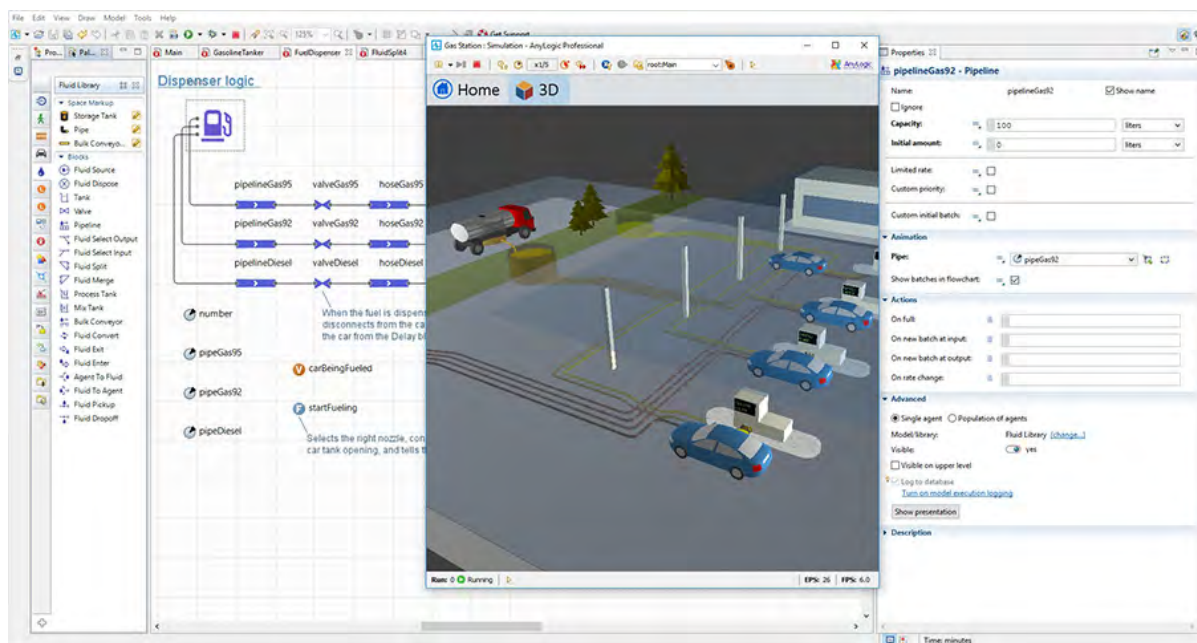


Рис. 1. Интерфейс AnyLogic

## Концептуальная модель системы поддержки принятия решений по оптимизации парковочного пространства

Система поддержки принятия решений (СППР) может быть разработана для помощи в оптимизации управления парковочными местами. СППР должна основываться на концептуальной модели, в которой описываются ключевые компоненты парковочной системы и то, как они взаимодействуют друг с другом. Концептуальная модель – это модель, которая представлена множеством понятий и связей между ними, определяющих смысловую структуру рассматриваемой предметной области или её конкретного объекта (Рис. 2). Для каждой системы используют определённую методологию и технологию, на основе формализованного описания осуществляется разработка более строгого и подробного описания [7].

Целесообразно в качестве интеллектуального ядра СППР выбирать имитационную модель. Для создания имитационной модели участка улично-дорожной сети (УДС) города с парковочным пространством необходим предварительный сбор и анализ входной информации. На этом этапе выполняется сбор исходных данных:

- Информация об автомобилизации жилого комплекса;
- Информация об интенсивности использовании закрытого паркинга.

Под обработкой данных подразумевается анализ данных о загруженности участка, который выполняется с помощью методов имитационного моделирования. На этапе создания имитационной модели выполняется проектирование структуры реальной системы программными средствами имитационного моделирования.

После реализации имитационной модели на ЭВМ необходимо проводить испытания для оценки достоверности модели. При запуске симуляции модели корректируется соответствие поведения имитационной модели оригиналу. По окончании симуляции на выходе получают отчёт о движении по УДС.

В качестве выходных документов выдаются отчёты, сформированные с помощью запросов к базе данных и полученные на основе компьютерного эксперимента.



Рис. 2. Концептуальная модель системы поддержки принятия решений

Таким образом, СППР может быть разработана для предоставления данных об использовании парковочных мест, таких как количество доступных мест и

продолжительность парковочных сессий. Эти данные можно использовать для принятия обоснованных решений о распределении парковочных мест, ценообразовании платы за парковку, размещении и размере паркингов.

Для дальнейшей разработки выбраны модули хранения данных и обработки и анализа данных.

### Реализация и использование системы поддержки принятия решений по оптимизации парковочного пространства

В ходе проектирования базы данных в программе MS Access было создано 7 таблиц и построена структура базы данных. (Рис. 3.)

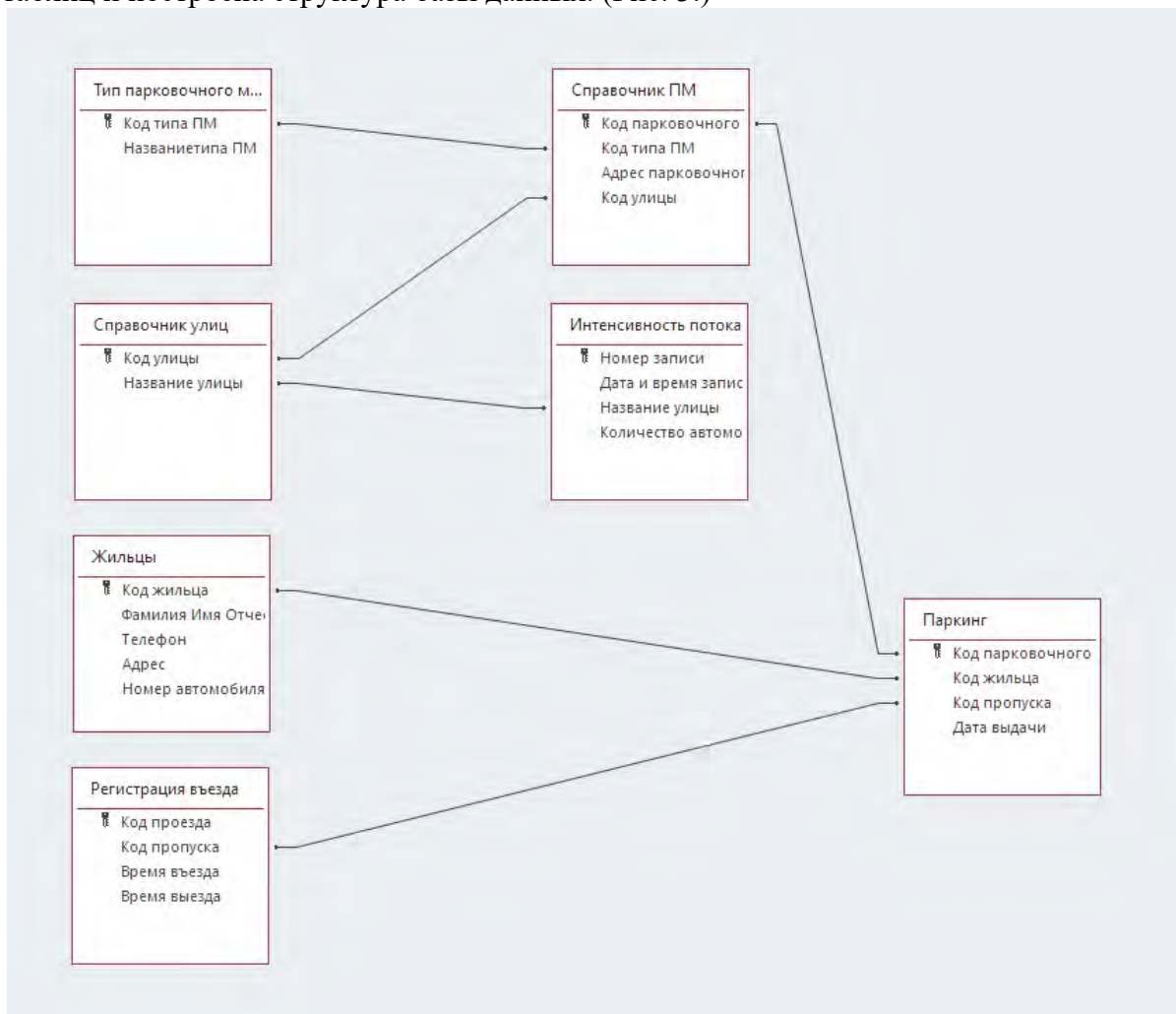


Рис. 3. Структура базы данных

Движение задано на основе натурных исследований интенсивности движения автомобилей на участке. Проектирование визуальной части модели представлено в 2D виде [8] (Рис. 4.)



Рис. 4. Структура визуальной части имитационной модели

Параметры блоков модели:

- CarSource – создаёт модель автомобиля, фиксируя агент на дорожном полотне (рис. 19);
- CarMoveTo – задает направление элемента CarSource, рассчитывает путь на основе заданной дирекции;
- CarDispose – удаляет элементы CarSource из модели, завершая цикл их действия;
- SelectOutput – определяет движения автомобиля по дороге;
- Delay – задерживает автомобили на парковке.

Данная модель участка создана с целью определения времени движения по участку, затрачиваемого на поиск парковочного места (Рис 5.)

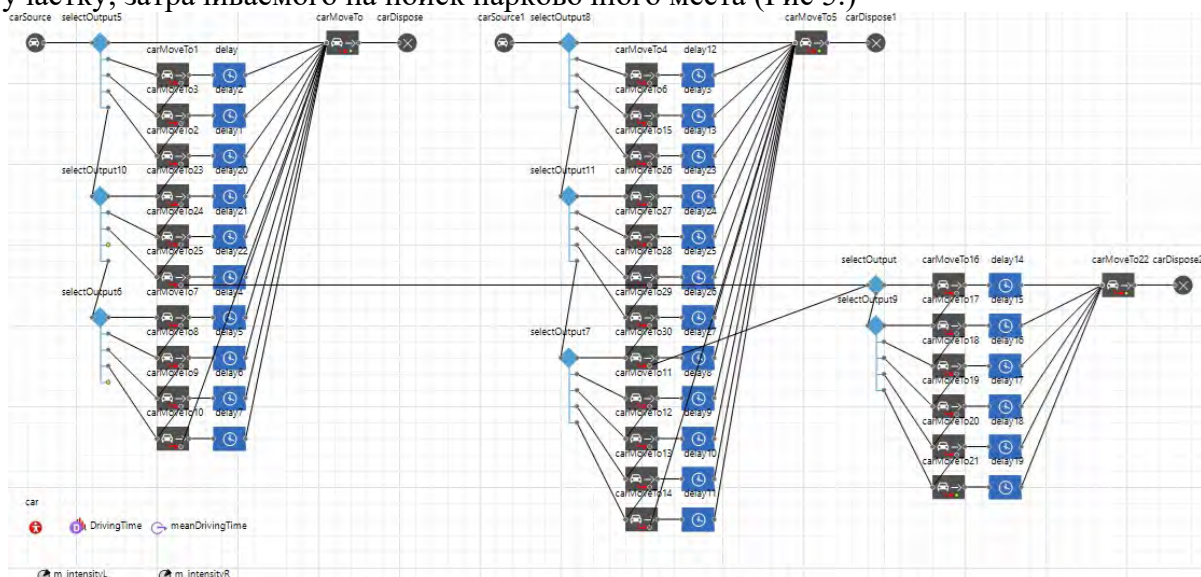


Рис. 5. Диаграмма процесса поиска парковочного места

Для оценки экологической нагрузки автомобильным транспортом на рассматриваемую территорию были добавлены диаграммы для каждого значения выбросов загрязняющих веществ. Значения выбросов угарного газа CO, оксида азота NO, углеводорода CH, сажи, оксида серы SO, формальдегида и бензапирена

вычисляются по формулам во время передвижения автомобиля и отображаются на диаграммах [9]. (Рис. 6.)

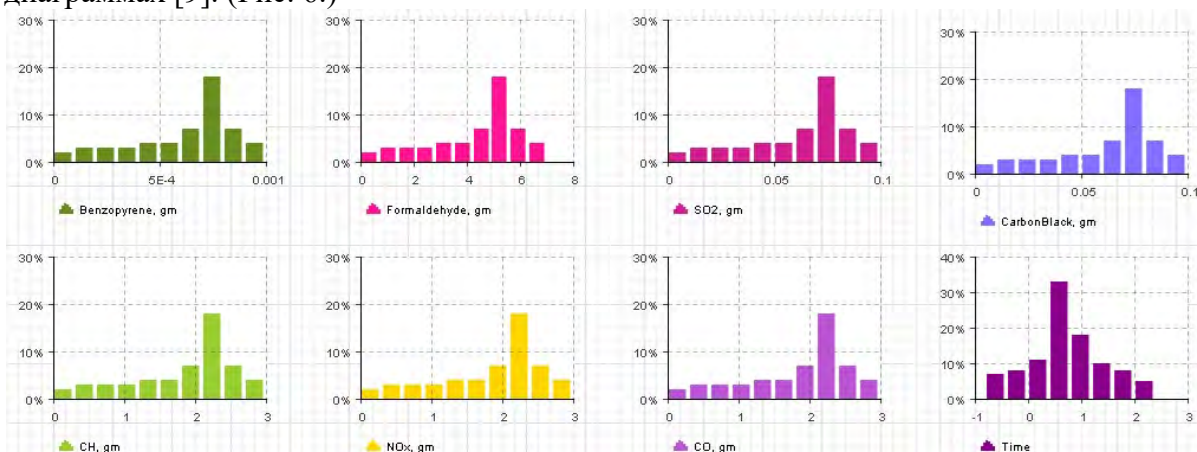


Рис. 6. Диаграммы выбросов загрязняющих веществ

Для проведения оптимизационного компьютерного эксперимента на имитационной модели были выбраны четыре варианта: без доступа на паркинг, с доступностью 30% мест на паркинге, с доступностью 60% мест на паркинге и с доступностью 100% мест на паркинге. Каждый вариант представлял собой отдельный сценарий, по которому проводилось тестирование и оценка эффективности парковочного пространства.

Первый вариант эксперимента без доступа на паркинг – был проведен для определения базового уровня эффективности парковочного пространства. В рамках этого сценария компьютерная симуляция позволила определить среднее время движения по участку УДС и количество машин, которые не нашли парковочное место. Эти данные были использованы для дальнейшего сравнения результатов следующих этапов.

Таблица 8 – Первый вариант эксперимента.

Уровень автомобилизации района, %	Количество автомобилей в районе, шт.	Среднее время движения по участку, сек.	Количество автомобилей, не нашедших мест, шт.	% автомобилей, не нашедших мест для парковки
10	210	96,62	45	21,4
20	420	147,07	136	32,3
30	630	244,88	156	24,7
40	840	275,99	176	20,9
50	1050	356,88	174	16,5
60	1260	326,67	213	16,9
70	1470	405,11	185	12,5
80	1680	365,9	173	10,2
90	1890	355,94	192	10,1
100	2100	353,69	213	10,1

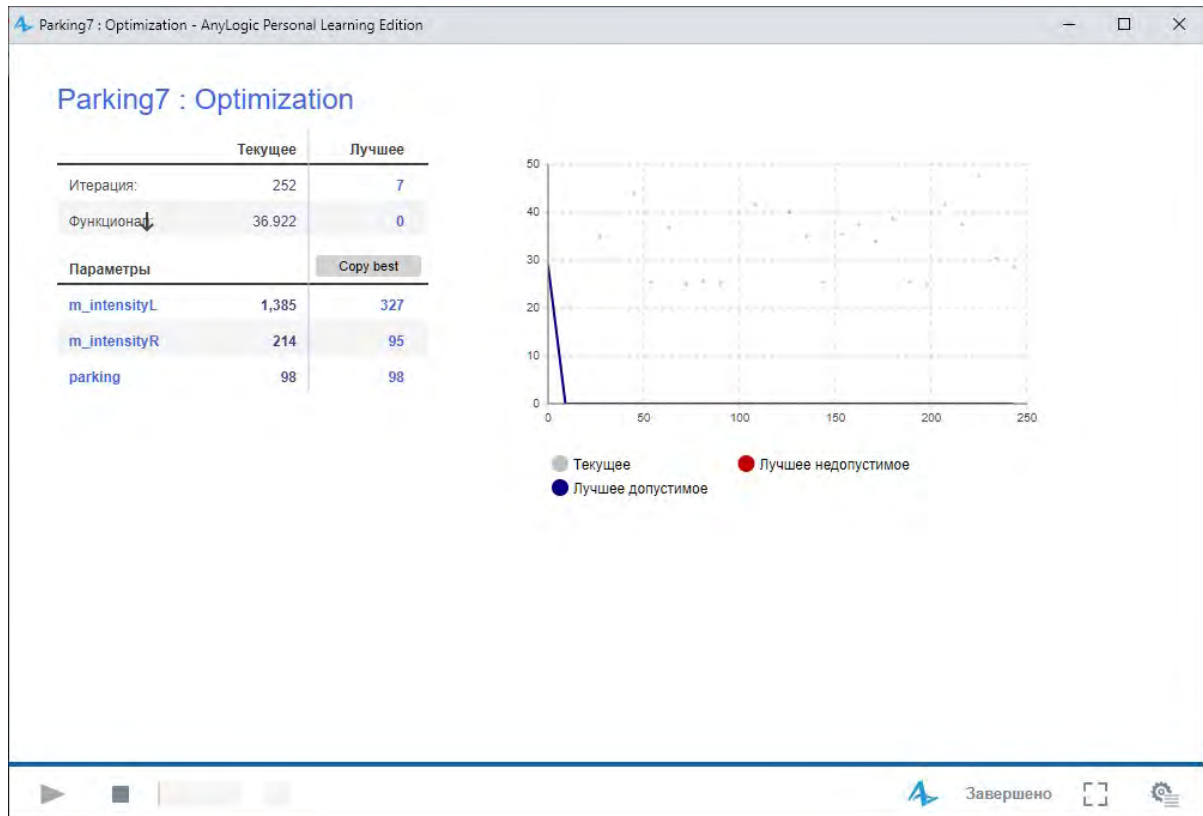


Рис. 7. Оптимизационный эксперимент

В результате проведенного эксперимента были собраны данные, которые были использованы для анализа эффективности парковочного пространства.

Как видно из результатов эксперимента, наилучшим результатом является 98% доступность парковочных мест, которая позволила обеспечить требуемое время движения по участку в 300 секунд (Рис 7.). Однако необходимо заметить, что обеспечение заданного времени на поиск парковки было достигнуто существенным снижением интенсивности движения: с фактической интенсивности движения 1470 и 630 до значений 327 и 95. Это значит, что запроектированной емкости крытого парковочного пространства недостаточно.

### Заключение

Внедрение разработанной системы поддержки принятия решений может привести к значительным результатам в решении проблемы парковки. Основной целью системы является оценка времени, затрачиваемого на поиск свободного парковочного места. Был проведен оптимизационный компьютерный эксперимент на имитационной модели, который подтвердил эффективность разработанного инструмента. Она позволила провести оценку требуемого объема парковочного пространства.

### Литература

1. Статистика: Автомобилизация России: [Электронный ресурс]. URL: [https://ruxpert.ru/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0:%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F\\_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8](https://ruxpert.ru/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0:%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8) (Дата обращения: 05.09.2023).

2. Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Формирование единого парковочного пространства в городах Российской Федерации: [Электронный ресурс] URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71910002/> (дата обращения 05.09.23)
3. AnyLogic: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.anylogic.ru/> (дата обращения 05.09.2023)
4. Имитационное моделирование [Электронный ресурс] URL: <https://cloud.anylogic.com/> (дата обращения 05.09.23)
5. Дуванова И.А. Симанкина Т.Л. Оптимизация организации парковочного пространства в условиях жилой застройки // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – №2(41). – С. 108-117.
6. Методика целесообразности размещения и определения параметров парковочных пространств в городской транспортной системе: [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-tselesoobraznosti-razmescheniya-i-opredeleniya-parametrov-parkovochnyh-prostranstv-v-gorodskoy-transportnoy-sisteme> (дата обращения 05.09.23)
7. Проектирование информационных систем: Учебное пособие / В. В. Белов. – 2018.
8. Совершенствование транспортной системы города с использованием имитационного моделирования ее отдельных сегментов. Научная статья / И. В. Макарова, П. А. Буйвол, Г. А. Якупова. – 2020 (дата обращения 01.03.23)
9. ГОСТ Р 56162-2014 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов от автотранспорта при проведении сводных расчетов для городских населенных пунктов.