

УДК 656

DOI: [10.26102/2310-6018/2023.42.3.013](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.42.3.013)

Разработка алгоритмического аппарата по обеспечению безопасности дорожного движения

М.А. Арутюнян✉

*Государственный университет морского и речного флота имени адмирала
С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Резюме. В настоящей статье представлен один из полученных автором научных результатов в ходе проводимого диссертационного исследования. Поднята рассматриваемая в исследовании проблема, а именно проблема обеспечения безопасности участников дорожного движения. Выявлено, что в мегаполисах установка «необходимого минимального пакета средств» соблюдается не во всех районах, что, в свою очередь, становится причиной нарушений со стороны участников дорожного движения. Рассмотрены существующие методы оценки и повышения безопасности участников дорожного движения, выделены ограничения. Предложен возможный инструмент решения анализируемой задачи исходя из выделенных ограничений – рациональное размещение технических средств организации дорожного движения. На основе алгоритма машинного обучения «Дерево принятия решений» разработан алгоритмический аппарат, позволяющий прогнозировать и рекомендовать целесообразные места для установки технических средств организации дорожного движения на тех улицах, на которых они расположены либо нерационально, либо отсутствуют вовсе. Предложен собственный метод подготовки входных данных с описанием этапов. Предложено использование метода семантического дифференциала для определения весов/важности атрибутов. Проведена апробация разработанного алгоритмического аппарата как на примере «модели», так и на примере реального участка. Отмечено, что предлагаемый алгоритм имеет возможность генерировать большой объем входных данных, что позволит в дальнейшем расширить алгоритм и учитывать еще больше различных факторов. Ожидается, что разработанный алгоритмический аппарат позволит существенно минимизировать количество дорожно-транспортных происшествий. Предполагается, что научные результаты, полученные в работе, позволят комплексно оценить проблематику организации дорожного движения на существующих застроенных территориях или планируемых к развитию участков.

Ключевые слова: технические средства организации дорожного движения, алгоритмический аппарат, метод, семантический дифференциал, алгоритм машинного обучения «Дерево принятия решений».

Для цитирования: Арутюнян М.А. Разработка алгоритмического аппарата по обеспечению безопасности дорожного движения. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2023;11(3). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1411> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.42.3.013

Development of an algorithmic apparatus for ensuring road safety

М.А. Arutiunian✉

*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg,
the Russian Federation*

Abstract. This article presents one of the scientific results obtained by the author in the course of the dissertation research. The problem considered in the study, namely the problem of ensuring the safety of road users, is raised. It was demonstrated that in megacities the installation of the “necessary minimum set of means” is not observed in all areas, which, in turn, causes violations by road users.

Existing methods for assessing and improving the safety of road users are considered, limitations are highlighted. A possible tool for solving the analyzed problem with the aid of the identified restrictions is proposed which is the rational placement of technical means of traffic organization. An algorithmic apparatus has been developed that allows predicting and recommending suitable places for installing technical means of organizing traffic on those streets where they are located either irrationally or not at all based on the Decision Tree machine learning algorithm. A proprietary method for preparing input data with a description of the stages is proposed. The use of the semantic differential method to determine the weights / importance of attributes is proposed. Testing of the developed algorithmic apparatus was carried out both using the example of the “model” and using the example of a real site. It is noted that the proposed algorithm is able to generate a large amount of input data, which will further expand the algorithm and take into account even more various factors. It is expected that the developed algorithmic apparatus will significantly minimize the number of traffic accidents. It is assumed that the scientific results obtained in the research will allow a comprehensive assessment of the problems of organizing traffic in existing built-up areas or areas planned for development.

Keywords: technical means of traffic management, algorithmic apparatus, method, semantic differential, Decision tree machine learning algorithm.

For citation: Arutiunian M.A. Development of an algorithmic apparatus for ensuring road safety. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(3). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1411> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.42.3.013 (In Russ.).

Введение

Одним из актуальных вопросов развития современного города в настоящее время является повышение безопасности участников дорожного движения. Проведено исследование проблематики в области обеспечения безопасности дорожного движения. Отдельно выделена важная проблема пересечения пешеходами дороги в неполюженном месте, которая ведет ко множеству дорожно-транспортных происшествий, увеличивая число жертв среди участников аварий вне транспортных средств, из-за чего решение данной проблемы представляется весьма актуальным.

В ходе исследования выполнен обзор технических средств организации дорожного движения. Исходя из прочитанных научных работ и проведенных натурных наблюдений, выявлено, что в мегаполисах установка «необходимого минимального пакета средств» соблюдается не во всех районах. Так, например, выделено, что во многих районах отсутствуют не только светофоры, но и дорожные разметки, в связи с чем наблюдаются нарушения как со стороны водителей, так и пешеходов.

Также можно отметить ситуации, когда, например, есть наземный переход, однако он не расположен рационально, т. е. близ важных для пешеходов «точек притяжений», в связи с чем наблюдаются такие нарушения, как переход в неполюженном месте, что и приводит ко множеству дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в частности «водитель-пешеход», в том числе с человеческими жертвами. По данным статистики, в РФ ежегодно почти 20 % от всего количества ДТП приходится на наезды на пешеходов вне пешеходных переходов.

С учетом вышеуказанного, в качестве одного из инструментов повышения безопасности участников дорожного движения выдвигается рациональное размещение технических средств организации дорожного движения.

Материалы и методы

Теоретическую и методологическую основу исследования составляют нормативно-правовые базы, традиционные и современные научные труды ведущих российских и иностранных научных работников в области городского транспорта, организации дорожного движения.

В качестве методов предполагаемого исследования выступают: общенаучные методы, статистические способы сбора и обработки информации, индуктивный и дедуктивный методы, сравнительный и статистический анализ, методы машинного обучения.

Существующие способы оценки безопасности дорожного движения в основном включают в себя такие методы, как сбор и обработка статистики ДТП, измерение конструктивных данных инфраструктуры и различных реальных характеристик участников движения, экспертная оценка, анкетирование [1].

Некоторые способы оценки пешеходных пространств и их безопасности можно встретить в государственных стандартах. В первую очередь, это измерение объективных показателей, таких как интенсивность движения пешеходов и транспортных средств, количество аварий на определенном участке.

На данный момент существуют и развиваются системы отображения ситуации на дорогах в городе на основе сбора данных от участников движения в реальном времени [2-4].

Для исследования безопасности пешеходов и их взаимодействия с транспортными средствами при переходе проезжей части используется также моделирование с компьютерной симуляцией [5-10].

В качестве основного вывода по анализу вышеприведенных источников можно отметить, что ограничениями вышеназванных моделей являются локальное использование только на конкретном выбранном участке дороги, необходимость точной калибровки с помощью проведения натурных наблюдений перед симуляцией нового объекта, отсутствие учета причин перехода пешеходами дороги на конкретно выбранном участке.

Таким образом, исходя из рассмотренных методов, направленных на обеспечение безопасности дорожного движения, автором данного исследования предлагается разработать алгоритмический аппарат, с помощью которого можно автоматически прогнозировать и дать рекомендации мест для установки технических средств организации дорожного движения на тех улицах, на которых они расположены либо нерационально, либо отсутствуют вовсе, что позволит минимизировать количество дорожно-транспортных происшествий, в частности конфликтов «водитель-пешеход», в том числе с человеческими жертвами. Следует отметить, что в основе предлагаемого алгоритма лежит именно учет так называемых обоснованных «точек притяжений», подразумевающий под собой пункты сосредоточения интересов участников дорожного движения, определяющие маршруты и цели их перемещений, например: жилые помещения, общеобразовательные учреждения, остановки общественного транспорта, метро, социально-значимые объекты и др.

Результаты

Предлагаемый автором алгоритмический аппарат основан на алгоритме машинного обучения «Дерево принятия решений» – *Decision Tree (DT)*. Мы обучаем предлагаемый нами алгоритм существующим «безопасным» и «опасным» местам размещения технических средств организации дорожного движения в анализируемом городе, после чего прогнозируем и рекомендуем целесообразные места для их установки на тех улицах, на которых они расположены либо нерационально, либо отсутствуют вовсе. Схематическое представление предлагаемого алгоритма показано на Рисунках 1 и 2.

На Рисунке 1 продемонстрирован алгоритм тренировки *DT* модели.

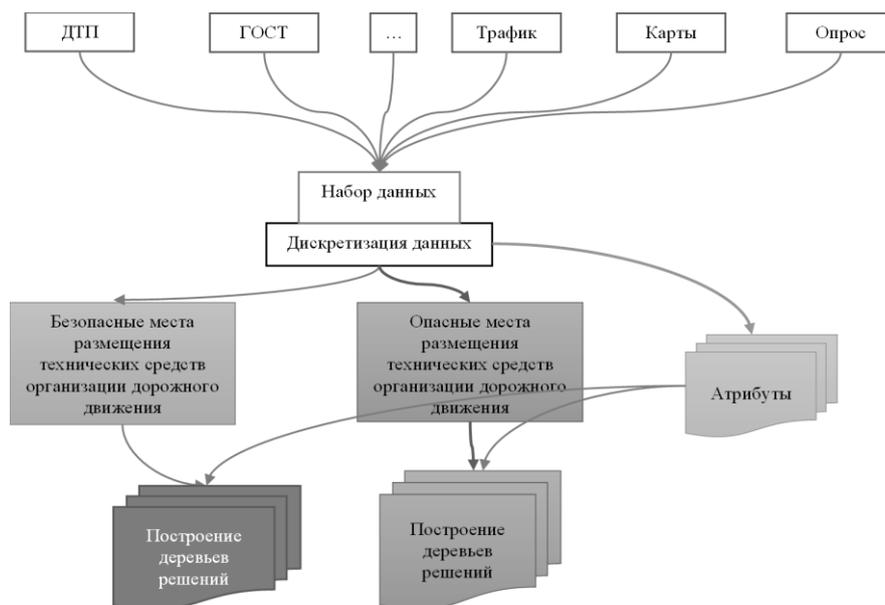


Рисунок 1 – Алгоритм тренировки DT модели
Figure 1 – DT model training algorithm

Как видно из Рисунка 1, есть набор входных данных, который дискретизируется, определяются «безопасные» и «опасные» места размещения технических средств организации дорожного движения, атрибуты, на основании чего строятся деревья решений (DT).

На Рисунке 2 представлен алгоритм применения DT модели.

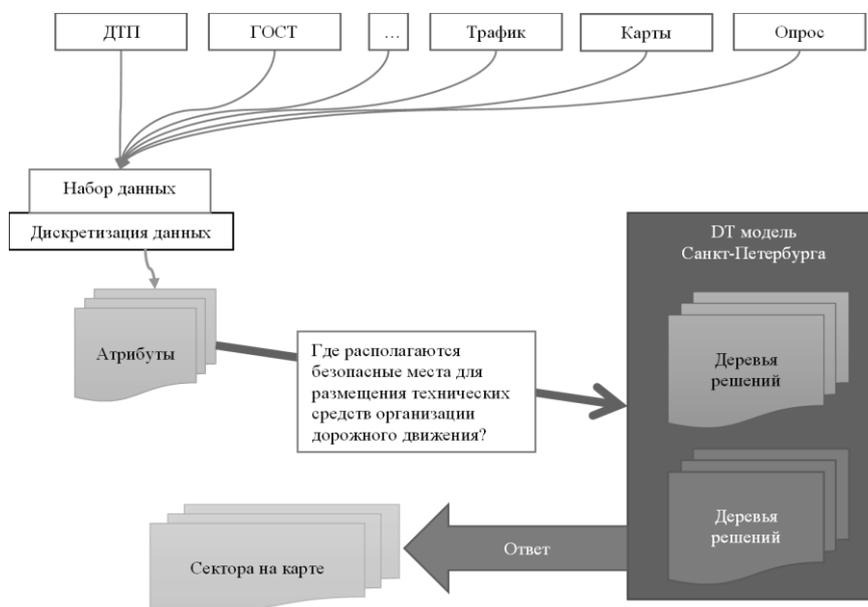


Рисунок 2 – Алгоритм применения DT модели
Figure 2 – DT model implementation algorithm

Как видно из Рисунка 2, алгоритм применения модели заключается в следующем: поставлена задача определить «безопасные» и «опасные» места размещения технических средств организации дорожного движения. Предоставляется новый набор входных данных, который дискретизируется, определяются атрибуты, на основании чего

уже построенные натренированные деревья решений (*DT*) решают поставленную задачу.

Для работы предлагаемого алгоритма также разработан собственный метод подготовки входных данных, который состоит из следующих этапов:

1. Анализ текущих улиц (*Street*) в городе:

– выбрать участок 1000 метров улиц с помощью Яндекс.Карты;

– разделить каждый 1000-метровый участок на 100-метровые сектора («образные» 100 м выбраны для упрощения разработки и апробации). В дальнейшем тексте сектора будут обозначены как *SecN*;

– прикрепить к каждому сектору атрибут. В дальнейшем тексте атрибуты будут обозначены как *AttrN*.

2. Определить *AttrN* на рассматриваемых *SecN* улицы.

Метод, который предлагается использовать для подготовки входных данных, наглядно представлен на Рисунке 3.

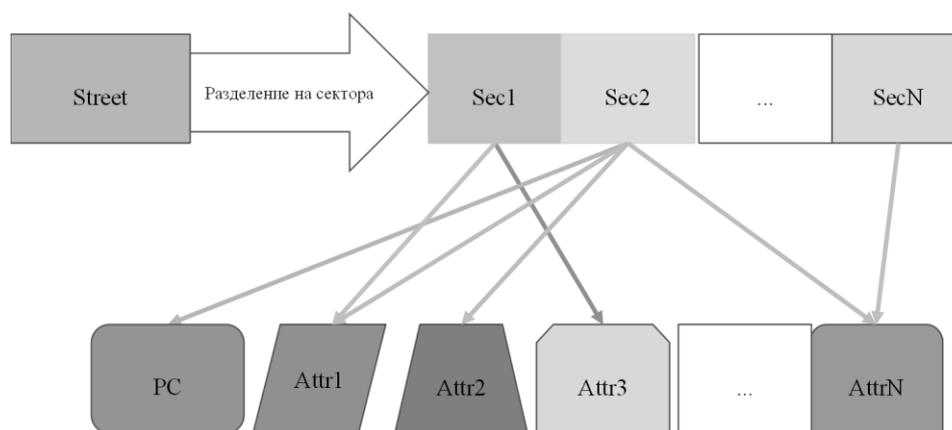


Рисунок 3 – Схематическое представление входных данных и их взаимосвязей
 Figure 3 – Schematic representation of input data and their relationships

Расшифровка обозначений, представленных на Рисунке 3:

Street – рассматриваемая улица;

SecN – сектора, на которые разделена рассматриваемая улица;

PC – техническое средство организации дорожного движения (например, пешеходный переход);

AttrN – атрибуты.

В данном исследовании главным *AttrN* является техническое средство организации дорожного движения на *SecN*. Его значение может быть либо «Есть» (*Yes*), либо «Нет» (*No*).

Остальные *AttrN* основаны на «точках притяжения», в нашем случае могут быть булевыми (Есть (*Yes*) / Нет (*No*)) или конечными значениями. При наличии конечных значений *AttrN* представляют собой вес «точек притяжения». Значения весов атрибутов показывают, например, насколько близко находится данный объект к рассматриваемому *SecN* улицы или плотность пешеходного потока у рассматриваемого объекта и т. п. В качестве *AttrN* могут выступать жилые помещения, общеобразовательные учреждения, остановки общественного транспорта, метро, социально-значимые объекты, парки, торгово-развлекательные центры, бизнес-центры, музеи, библиотеки и др.

Для определения веса / важности *AttrN* в настоящем исследовании предлагается воспользоваться методом семантического дифференциала, который в данном случае будет состоять из следующих этапов:

1) составление статистического ряда в виде таблицы;

- 2) подсчет средних значений величин;
- 3) подсчет среднего квадратического отклонения;
- 4) составление рейтинга по значимости.

В качестве параметра/ов, по которым будет оцениваться каждый *AttrN*, предлагаются пары прилагательных, например «притягательный – непритягательный».

Оценивать меру выбранного параметра будем в баллах:

- 1 или -1 – качество присуще в незначительной степени;
- 2 или -2 – качество присуще в средней степени;
- 3 или -3 – качество присуще в сильной степени;
- 0 – затрудняюсь ответить.

Распределение оценок выполняется либо на основе данных проведенного опроса, либо на основе данных натурального наблюдения.

Распределение оценок составляется в следующем виде (Таблица 1):

Таблица 1 – Распределение оценок

Table 1 – Grade distribution

Параметры	<i>AttrN</i>	<i>Attr1</i>	<i>Attr2</i>	...	<i>AttrN</i>
	притягательный				
	...				

Составляется статистический ряд в виде таблицы (Таблица 2):

Таблица 2 – Статистический ряд

Table 2 – Statistical series

x_i	-3	-2	-1	0	1	2	3
n_i							

где x_i – оценка параметров по семибалльной шкале; n_i – частота значений x_i .

Далее подсчитываются средние значения величин по формуле:

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 x_i * n_i, \quad (1)$$

где n = количество *AttrN* * количество показателей k .

Подсчет среднего квадратического отклонения осуществляется посредством следующей формулы:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}, \quad (2)$$

где

$$D_x = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^7 (x_i - X)^2 * n_i. \quad (3)$$

После рассчитываются средние оценки каждого *AttrN* для «отбрасывания» из дальнейшего рассмотрения «лишних» *AttrN* с помощью следующей формулы:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i, \quad (4)$$

где A_i – сумма оценок по семибалльной шкале по всем параметрам по каждому отдельному *AttrN*. Значения также можно представить в виде таблицы.

В итоге из «оставшихся» наиболее «притягательных» $AttrN$ составляется рейтинг, позволяющий сделать вывод об их возможной притягательности для участников дорожного движения.

Для проверки функционирования разработанного алгоритмического аппарата проведена апробация на «модели» (Рисунок 4).

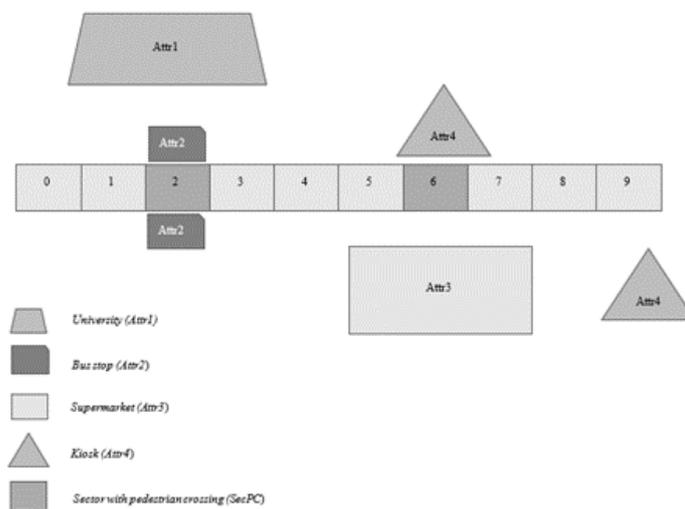


Рисунок 4 – Модель
 Figure 4 – Model

Следует отметить, что при проведении апробации значения атрибутов приняты равными «1» в случае наличия данного объекта на рассматриваемом $SecN$ или «0» в случае отсутствия данного объекта на рассматриваемом $SecN$. В качестве технического средства организации дорожного движения в данном случае рассматривается «пешеходный переход». Для построения DT написана программа в готовой библиотеке машинного обучения на языке *Python* с использованием платформы *GoogleColabCloud*.

Полученное дерево решений представлено на Рисунке 5.

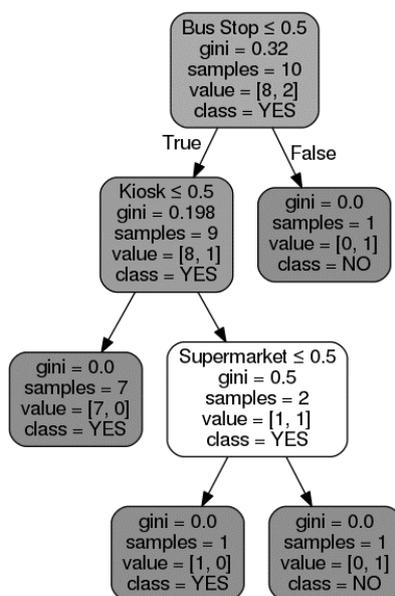


Рисунок 5 – Визуализация DT
 Figure 5 – DT visualization

После построения *DT* тестируется на данные секторов. Если *DT* построено правильно и работает, то должно ответить либо «Да», либо «Нет» для уже известных секторов *SecN* о наличии технического средства организации дорожного движения (в данном случае пешеходного перехода).

На Рисунке 6 представлен фрагмент кода, с помощью которого выполняется тестирование *DT*.

```
def TestSec2PC(SecN):
    ans="No"
    PC=clf.predict([X.iloc[SecN].values])
    if(PC[0]==1): ans="Yes"
    print("We test Sec="+str(SecN)+" and result is- Do we need pedestrian crossing: "+str(ans))

SecN=0
TestSec2PC(SecN)
SecN=6
TestSec2PC(SecN)
```

```
We test Sec=0 and result is- Do we need pedestrian crossing: No
We test Sec=6 and result is- Do we need pedestrian crossing: Yes
```

Рисунок 6 – Тестирование *DT*
Figure 6 – *DT* testing

Таким образом, после тестирования обученное «Дерево принятия решений» (*DT*) ответило, что на участке рассматриваемой улицы, обозначенном как «сектор 0», нет необходимости установки пешеходного перехода, а на «секторе 6» – есть необходимость. Как видно, полученные данные совпадают с данными, представленными на Рисунке 4, из чего следует, что *DT* работает корректно и способно к обучению.

Далее проведем апробацию разработанного алгоритма на примере мегаполиса, в частности на примере «некоторого» участка пер. Челиева города Санкт-Петербурга.

Для получения более точных результатов определены значения весов / важности *AttrN* с помощью предложенного метода семантического дифференциала, где распределение оценок выполнено на основе данных натурного наблюдения.

Подготовлены входные данные по разработанному методу, представленному на Рисунке 3: выбраны несколько улиц с помощью Яндекс.Карты в различных местах Санкт-Петербурга как в историческом центре, так и в спальных районах с установленными техническими средствами организации дорожного движения. На каждой из выбранных улиц рассматривается «некоторый» участок протяженностью 1000 м. Далее каждый 1000-метровый участок делится на 100-метровые сектора (*SecN*), затем к каждому сектору прикрепляется и определяется атрибут (*AttrN*) с учетом определенных значений весов / важности. В качестве атрибутов для упрощения использовано ограниченное количество *AttrN* «точек притяжений» (в нашем случае $N=20$).

Суть работы алгоритма следующая: импортируются входные данные, производится тренировка на нескольких улицах Санкт-Петербурга (в данном случае использованы 14 улиц), далее следует тестирование на случайно выбранной улице, после – прогнозирование необходимости установки технического средства организации дорожного движения на новом рассматриваемом участке улицы, в частности определение секторов на рассматриваемом участке улицы, на которых рекомендуется установить техническое средство организации дорожного движения.

Посредством импортирования входных данных производится чтение и подготовка данных, далее происходит проверка и демонстрация входных данных, после

чего строится классификационное дерево решений (DT), которое представлено на Рисунке 7.

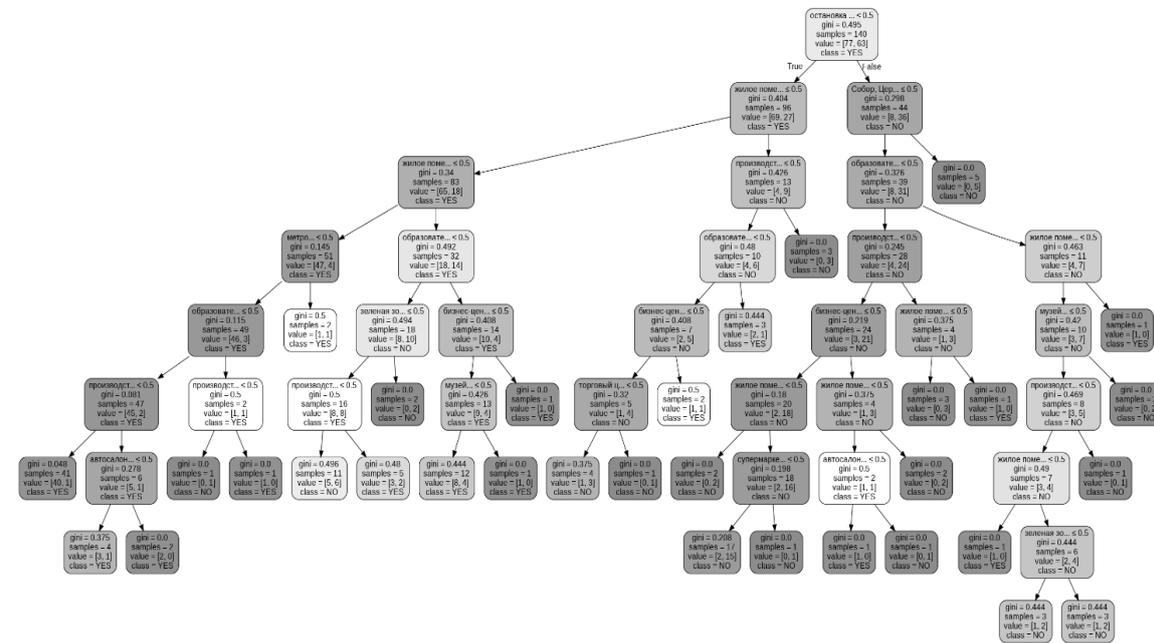


Рисунок 7 – Визуализация DT
 Figure 7 – DT visualization

После построения DT тестируется на основании входных данных, которые уже использовались при построении дерева, чтобы убедиться в том, что использование выбранных библиотек и тренировка дерева прошли успешно. Выбирается случайная улица для тестирования из имеющихся 14 улиц (в данном случае ул. Промышленная), и тестируются все сектора на наличие технических средств организации дорожного движения. Заметим, что DT принимает в качестве входных данных только AttrN и не содержит PC. В качестве выходных данных DT прогнозирует PC, то есть рекомендуемые места для размещения технических средств организации дорожного движения.

После подтверждения успешной тренировки дерева решений происходит, собственно, сама апробация рассматриваемого участка на пер. Челиева города Санкт-Петербурга, где вовсе отсутствуют технические средства организации дорожного движения. На Рисунке 8 продемонстрирована сконструированная карта с меткой сектора, где разработанная программа рекомендует установку технического средства организации дорожного движения на рассматриваемом участке на пер. Челиева.



Рисунок 8 – Сконструированная карта с меткой рекомендуемого сектора
Figure 8 – Constructed map with the recommended sector marked

Таким образом, на основе алгоритма машинного обучения «Дерево принятия решений» автором разработан алгоритмический аппарат, позволяющий прогнозировать и рекомендовать целесообразные места для установки технических средств организации дорожного движения на тех улицах, на которых они расположены либо нерационально, либо отсутствуют вовсе.

Предлагаемый алгоритм апробирован на примере «модели», вследствие чего подтверждены корректность работы и способность к обучению. Также апробация предлагаемого алгоритма проведена на примере реального участка на пер. Челиева города Санкт-Петербурга, определен сектор, на котором рекомендуется установить техническое средство организации дорожного движения. Подтверждена возможность использования разработанного алгоритма для решения анализируемой проблемы.

Предполагается, что разработанный алгоритмический аппарат предоставит возможность комплексно оценить проблематику организации дорожного движения на существующих застроенных территориях или планируемых к развитию участков.

Заключение

Итак, в данной работе освещена проблема обеспечения безопасности участников дорожного движения. В качестве одного из инструментов повышения безопасности участников дорожного движения предложено рациональное размещение технических средств организации дорожного движения. На основе алгоритма машинного обучения «Дерево принятия решений» разработан алгоритмический аппарат, позволяющий прогнозировать и рекомендовать целесообразные места для установки технических средств организации дорожного движения на тех улицах, на которых они расположены либо нерационально, либо отсутствуют вовсе.

Разработан метод подготовки входных данных. Предложено использование метода семантического дифференциала для определения весов / важности атрибутов. Апробация алгоритма выполнена как на примере «модели», так и на примере реального участка, а именно пер. Челиева города Санкт-Петербурга. По результатам апробации выявлено, что на рассматриваемом участке пер. Челиева рекомендуется установить одно техническое средство организации дорожного движения, в частности пешеходный переход.

Следует отметить, что на данном этапе имеется возможность определять лишь сектора на рассматриваемых участках улиц. В дальнейшем, при наличии необходимых, обоснованных, реальных расширенных входных данных (*Big Data*), можно будет

обучить алгоритм определять точное месторасположение рекомендуемых технических средств организации дорожного движения.

Таким образом, разработанный и предлагаемый автором алгоритмический аппарат позволит существенно минимизировать количество дорожно-транспортных происшествий, в частности дорожно-транспортных конфликтов с участием «водитель-пешеход», в том числе с человеческими жертвами, а также устойчиво сохранить человеческий капитал, являющимся ключевым фактором эффективности процесса социально-экономического развития Российской Федерации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Арутюнян М.А. Методы оценки и повышения пешеходной безопасности. *Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО*. 2020;5:23–26
2. Fujitsu Global. *What is SPATIOWL?* URL: <http://www.fujitsu.com/global/solutions/business-technology/intelligent-society/smart-mobility/spatiowl/> (дата обращения: 18.10.2022).
3. Siemens. *Sittraffic Vehicle2x*. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:9c7f02efa4cd2e1b0f6ea0eadeb5db658837d86e/siemens-vehicle-to-x-communication-technology-infographic.pdf> (дата обращения: 18.10.2022).
4. Qualcomm. *Cellular V2X*. URL: <https://www.qualcomm.com/invention/5g/cellular-v2x> (дата обращения: 10.12.2019).
5. Lawniczak A.T., Di Stefano B.N., Ernst J.B. Stochastic model of cognitive agents learning. *Stochastic Models, Statistics and Their Applications*. 2015:319–326.
6. Daganzo C.F., Knoop V.L. Traffic flow on pedestrianized streets. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2016;86:211–222.
7. Wang L., Ye S., Cheong K.H., Xie N. Pedestrian group-crossing behavior modeling and simulation based on multidimensional dirty faces game. *Complexity*. 2017.
8. Yang J., Deng W., Wang J., Li Q., Wang Z. Modeling pedestrians' road crossing behavior in traffic system micro-simulation in China. *Transportation Research Part A*. 2006;40:280–290.
9. Zeng W., Chen P., Nakamura H., Iryo-Asano M. Application of social force model to pedestrian behavior analysis at signalized crosswalk. *Transportation Research Part C*. 2014;40:143–159.
10. Feliciani C., Crociani L., Gorrini A., Vizzari G., Bandini S., Nishinari K. A simulation model for non-signalized pedestrian crosswalks based on evidence from on field observation. *Intelligenza Artificiale*. 2017;11:117–138.

REFERENCES

1. Arutiunian M.A. Metody ocenki i povysheniya peshehodnoj bezopasnosti. *Al'manah nauchnyh rabot molodyh uchenyh Universiteta ITMO*. 2020; 5: 23-26. (In Russ.).
2. Fujitsu Global. *What is SPATIOWL?* URL: <http://www.fujitsu.com/global/solutions/business-technology/intelligent-society/smart-mobility/spatiowl/> (accessed on 18.10.2022).
3. Siemens. *Sittraffic Vehicle2x*. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:9c7f02efa4cd2e1b0f6ea0eadeb5db658837d86e/siemens-vehicle-to-x-communication-technology-infographic.pdf> (accessed on 18.10.2022).
4. Qualcomm. *Cellular V2X*. URL: <https://www.qualcomm.com/invention/5g/cellular-v2x> (accessed on 10.12.2019).
5. Lawniczak A.T., Di Stefano B.N., Ernst J.B. Stochastic model of cognitive agents learning. *Stochastic Models, Statistics and Their Applications*. 2015:319–326.

6. Daganzo C.F., Knoop V.L. Traffic flow on pedestrianized streets. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2016;86:211–222.
7. Wang L., Ye S., Cheong K.H., Xie N. Pedestrian group-crossing behavior modeling and simulation based on multidimensional dirty faces game. *Complexity*. 2017.
8. Yang J., Deng W., Wang J., Li Q., Wang Z. Modeling pedestrians' road crossing behavior in traffic system micro-simulation in China. *Transportation Research Part A*. 2006;40:280–290.
9. Zeng W., Chen P., Nakamura H., Iryo-Asano M. Application of social force model to pedestrian behavior analysis at signalized crosswalk. *Transportation Research Part C*. 2014;40:143–159.
10. Feliciani C., Crociani L., Gorrini A., Vizzari G., Bandini S., Nishinari K. A simulation model for non-signalized pedestrian crosswalks based on evidence from on field observation. *Intelligenza Artificiale*. 2017;11:117–138.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Арутюнян Мелания Андраниковна, Melania Andranikovna Arutiunian,
аспирант, ассистент кафедры Postgraduate Student, Assistant Lecturer at the
математического моделирования и Department of Mathematical Modeling and
прикладной информатики, Государственный Applied Informatics, Admiral Makarov State
университет морского и речного флота имени University of Maritime and Inland Shipping,
адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Saint Petersburg, the Russian Federation.
Российская Федерация.

e-mail: melanya.arutyunyan@yandex.ru

ORCID: [0000-0001-7395-9069](https://orcid.org/0000-0001-7395-9069)

*Статья поступила в редакцию 19.06.2023; одобрена после рецензирования 25.07.2023;
принята к публикации 10.08.2023.*

*The article was submitted 19.06.2023; approved after reviewing 25.07.2023;
accepted for publication 10.08.2023.*