

РАЗРАБОТКА МЕТОДА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОВОГО УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ В СОСТОЯНИИ МНОГОПОТОЧНОСТИ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С. В. Зыков¹, С. А. Золотухин², М. А. Золотухина³

^{1, 2, 3} МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

¹ Национальный исследовательский университет

«Высшая школа экономики», Москва, Россия

¹ szykov@hse.ru, ² svt.science.lab@gmail.com, ³ rtu_mary@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Сейчас внимание направлено на снижение числа аварий на участке Алтуфьевского шоссе, который имеет пять перекрестков. Такие инциденты становятся усугубляющими обстоятельствами для близлежащих объектов инфраструктуры, таких как торговые центры, магазины, кафе, также на оживленном участке есть станции метро. Нескончаемый поток людей и машин, остановки общественного транспорта и т.д. требуют новых условий безопасности. *Материалы и методы.* Использовались методы моделирования, статистики и интеллектуального анализа данных. Был смоделирован автомобильный поток на отдельно взятом участке дороги, определена проблема на перекрестке и применена методика имитационного моделирования для разработки алгоритма повышения качества дорожного движения, формирования новых условий безопасности и улучшения характеристик определения параметров неблагоприятных событий. *Результаты.* Разработана модель многопоточного движения транспорта в программной среде, проведен анализ автомобильного потока для усовершенствования используемого метода и определения новых условий безопасного движения на многопоточных участках дорог и перекрестках. Представлена модель принятия решений, которая была создана на основе обучающей выборки, полученной из видеопотока и содержащей определенные характеристики. *Выводы.* Наличие светофоров является одним из условий безопасности, но имеет некоторые нюансы. Подробно изложены все стадии обнаружения неблагоприятных ситуаций и новых решений.

Ключевые слова: управление безопасностью, анализ данных, автомобильные аварии, имитационное моделирование, машинное обучение, нейронные сети

Благодарности: выражаем благодарность МИРЭА – Российскому технологическому университету за предоставленную возможность проводить исследования в области искусственных нейронных сетей, безопасности и программной инженерии.

Для цитирования: Зыков С. В., Золотухин С. А., Золотухина М. А. Разработка метода и определение нового условия безопасности движения в состоянии многопоточности на основе математического моделирования // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 3. С. 98–114. doi: 10.21685/2227-8486-2023-3-7

DEVELOPMENT OF A METHOD AND DEFINITION OF A NEW TRAFFIC SAFETY CONDITION IN A MULTITHREADING STATE BASED ON MATHEMATICAL MODELING

S.V. Zykov¹, S.A. Zolotukhin², M.A. Zolotukhina³

^{1, 2, 3} MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

¹ National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

¹szykov@hse.ru, ²svt.science.lab@gmail.com, ³rtu_mary@mail.ru

Abstract. *Background.* All attention is focused on reducing the number of accidents on an unfavorable section of the Altufyevsky highway in the area of 5 intersections. Such incidents become aggravating circumstances for nearby infrastructure facilities, such as: shopping malls, shops, cafes, there are also metro stations on a busy site. The endless flow of people and cars, public transport stops, etc. require new security conditions. *Materials and methods.* To carry out the analysis, methods of modeling, statistics and data mining were used, namely: to simulate the traffic flow on a particular road section, to determine the problem of the site, and to apply the simulation methodology to derive an algorithm for improving the quality of traffic, defining new safety conditions and improving the characteristics of determining the parameters of adverse events – these are the main aspects of the study. *Results.* A model of multithreaded traffic in a software environment has been developed, an analysis of the traffic flow has been carried out to improve the method used and to derive new conditions for safe traffic on multithreaded road sections and intersections. A decision-making model is derived by creating a training sample from the video stream of the characteristics presented in the article. *Conclusions.* The presence of traffic lights is one of the safety conditions, but it has some nuances. All stages of detection of adverse situations and new solutions are spelled out in the article.

Keywords: safety management, data analysis, car accidents, simulation modeling, machine learning, neural networks

Acknowledgments: we express our gratitude to the MIREA – Russian Technological University for the opportunity to conduct research in the field of artificial neural networks, security and software engineering.

For citation: Zykov S.V., Zolotukhin S.A., Zolotukhina M.A. Development of a method and definition of a new traffic safety condition in a multithreading state based on mathematical modeling. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2023;(3):98–114. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2023-3-7

Введение

Автомобильные участки дорог являются опасными как для пешеходов, так и для машин. Особое внимание требуется перекресткам, регулируемым светофорами.

Службами города с постоянной периодичностью фиксируются автомобильные аварии с участием грузовых машин, легковых автомобилей, мотоциклов и т.д. Автодорога усложняется характеристиками аварий, водители теряются на пересечении дорог от большого количества полос или неожиданных ситуаций на дороге, когда один из водителей планирует успеть проскочить, а другой в это время начинает движение. Следовательно, необходимо рассмотреть автомагистрали и пересечения с большим количеством полос, обратить

внимание на неисправности в работе светофоров, интенсивность автомобильного потока и наличие пешеходных переходов (подземные не включены в перечень опасных). Такая стратегия поможет классифицировать условия безопасного движения всех участников пользования дорожного полотна. Следует рассмотреть главные причины и последствия аварийных ситуаций.

Постановка задачи

С использованием программной среды AnyLogic создадим автомагистраль с определенными качественными и количественными характеристиками, проведем анализ и выберем оптимальный алгоритм или условия для обеспечения безопасного передвижения транспортных средств. Для этого требуется подробно рассмотреть каждое событие и составить план устранения или уменьшения причин появления неблагоприятных событий, в том числе аварий.

Для проведения анализа потребуется:

1. Определить и исследовать опасные участки дорог, перекрестки, пешеходные переходы.
2. В программной среде разработать проблемный участок дороги с использованием геометрии и библиотек программного обеспечения. На выбранном участке выполняется поиск оптимальных параметров для исследования неблагоприятных событий.

Гипотеза 1. *Предположим, что значения фаз светофоров и расположения транспортного средства на перекрестке имеет зависимость от параметров, служащих увеличением степени аварийности дороги.*

Гипотеза 2. *Допустим, что вероятность столкновения между транспортными средствами на многопоточном перекрестке зависит от опасной зоны.*

Аналитический обзор

Аналитический обзор методов является важным инструментом для оценки состояния и перспектив развития безопасности дорожного движения. Проведение систематического обзора и анализа этих данных позволяет получить обширный обзор в выбранной области исследования, определить наиболее перспективные методы исследования, оценить качество и достоверность проведенных исследований, а также определить возможности их применения на практике.

Рассмотрим методы и подходы обнаружения опасных зон с помощью машинного обучения и нейронных сетей. Машинное обучение выполняет функцию построения алгоритма обучения с подкреплением в разрабатываемом методе, а нейронные сети применяются для идентификации и распознавания ситуационных параметров, т.е. опасных участков дороги. Прогноз строится на основе поставленных метрик в описываемых кадрах видеопотока, следовательно, модель обучается распознавать местность участков пересечения дорог, где присутствует опасная зона и ее параметры.

В настоящее время машинное обучение активно применяется в различных областях, таких как медицина, финансы, реклама, транспорт и многие другие. В данном обзоре мы рассмотрим наиболее перспективные методы

исследования в области машинного обучения, а также определим возможности их применения на практике.

В г. Туле был запущен мобильный комплекс для мониторинга состояния дорог с помощью нейронных сетей. Он включает в себя камеру видеонаблюдения и модуль искусственной нейросети. Это позволяет организовать мониторинг дорожного полотна и объектов инфраструктуры. По описательной характеристике разработки алгоритмы в модуле искусственной нейросети фиксируют неисправности, такие как ямы на дорогах, качество надписей на поверхности информационных указателей, мусор и т.д. Данный проект нацелен на исследование уровней загрязнения автотранспортных дорог и близлежащих объектов [1].

Применение нейросетей мобильными комплексами, оборудованными в автотранспортах г. Москвы, позволяет обнаруживать и отправлять городским службам информацию о состоянии дорог, территорий, степень загрязнения остановок и т.д. [2].

Разработан проект, направленный на идентификацию нарушений правил дорожного движения (ПДД) водителями, например пересечение сплошной линии и использующий искусственный интеллект [3]. Для распознавания изображений была применена сверточная нейронная сеть U-Net, которая способна уменьшать пространственное разрешение фотографии, следовательно, потом увеличивать. Данное решение направлено на обнаружение типов нарушений на дороге, но оповещение оператора не предусмотрено, т.е. обзор и обнаружение дефектов просматриваются после извлечения из автотранспорта аппаратуры.

Отличительными характеристиками аналитико-прогностического метода для безопасности движения в состоянии многопоточности являются:

1. Рассмотрение признаков и исследование новых потенциально опасных участков многополосной дороги.
2. Проведение научно-исследовательской работы в области безопасности опасных зон дорожного полотна.
3. Разработка прогностической модели, основанной на исследовании характеристик участка опасной зоны и принятия решения.
4. Узкопрофильное направление анализа участка дороги.
5. Исследование и экспертная оценка с помощью искусственных нейронных сетей.
6. Разработка и внедрение многоагентной модели с помощью обучения с подкреплением на базе Anylogic.
7. Создание цифрового двойника модели алгоритма распознавания опасной ситуации на дороге.

Проблемы безопасности дорожного движения распространены в большей мере в городских условиях, следовательно, считаются актуальными при многопоточном движении. Водитель не может получить качественную информацию о состоянии инфраструктуры вокруг из-за плохой видимости, дальнего расстояния, медленного оповещения о неисправностях на дороге или транспорта. Как было указано в статье «Проблемы безопасности дорожного движения, разбираем по пунктам», даже система коммуникаций между автомобилями, применяемая в многопрофильных направлениях, не позволяет улучшить ситуацию на дороге [4]. WLAN-модуль, встроенный в транспортное средство,

реализует данные опции: связь автомобилей между собой, связь автомобиля и инфраструктуры, отправка сообщений, оповещение. Тем не менее существует вероятность столкновения, если машина стоит за углом, следовательно, система не видит автомобиля и не оповещает об опасной ситуации. Автомобиль притормаживать не будет, вследствие этого авария неизбежна. Бдительность водителя замедляется ввиду большого ожидания, что система оповестит об опасности.

Если в систему коммуникаций между автомобилями встроить блок аналитико-прогностического метода для безопасности движения в состоянии многопоточности, то это позволит улучшить взаимодействие умных камер, светофора и транспортного средства, давая правильный ракурс обстановки объектов инфраструктуры и автомобилей. Благодаря интеллектуальному анализу данных и нейросети, обученной для данной ситуации, вероятность обнаружения и построения безопасной дороги возрастает.

Главной причиной дорожно-аварийных событий является невосприимчивость водителя к угрозе на дороге, запоздалая реакция, и усложняется она многополосностью автодороги [5]. На решение данной проблемы направлен новый метод и условие безопасности движения в состоянии многопоточности.

Материалы и методы

Метод безопасности движения в состоянии многопоточности подразумевает использование блочной схемы. Первая обработка данных выполняется на основе анализа записей видеопотока с городских камер с помощью нейронных сетей.

Один из подходов, который может быть использован в этом случае, это использование сверточных нейронных сетей (CNN) для извлечения признаков из изображений и последующего использования рекуррентных нейронных сетей (RNN) для анализа последовательности кадров. Таким образом, совместное внедрение нейросетей для исследования данных позволит определить неблагоприятные события на перекрестке, т.е. опасную зону для водителей.

Алгоритм обучения с подкреплением применяется в данной разработке для решения задач управления в системе обнаружения опасного участка и ситуации на дороге. Главная цель агента – это анализ стратегии обнаружения таких участков и получения вознаграждения за правильный результат. Из-за разного подхода к проблеме поиска эффективного пути алгоритмами обучения с подкреплением Q-learning и SARSA необходимо дать оценку построенной модели, чтобы определить оптимально подходящий алгоритм. Агент Q-learning изучает свою карту модели на основе оптимальной политики, которая всегда выбирает действие с наибольшим значением Q, т.е. с максимальным значением действия, имея большое вознаграждение. У агента SARSA политика в системе другая, при высокой отрицательной награде агент выберет простой путь к конечной цели, а это значит, что больше времени потратит на определение этого пути. Благодаря программному обеспечению для имитационного моделирования Anylogic данные алгоритмы можно применить к цифровой модели системы многопоточного движения. При использовании инструментов ПО Anylogic выстраиваются главные компоненты модели цифрового двойника для проведения исследований и обучения нейронной сети. Параметры

статистики, скорости, времени переключения световых индикаторов светофора позволяют использовать в качестве признаков для агентов. Так как для определения опасной ситуации на перекрестке требуется быстрота отклика агента и высокая производительность, в большей мере применим алгоритм Q-learning. Математическая интерпретация данного алгоритма гласит: новое значение Q-функции должно учитывать текущее значение, полученную награду, ожидаемую награду на новом состоянии и фактор дисконтирования. Главной отличительной чертой Q-learning от SARSA является максимизация выбора стратегии ответа, как показано в формуле

$$Q_{\text{new}}(s_t, a_t) = Q(s_t, a_t) + \alpha [r_{t+1} + \gamma \max_a Q(s_{t+1}, a) - Q(s_t, a_t)]. \quad (1)$$

Одна из главных проблем Q-learning заключается в том, что он может не сходиться с оптимальным значением Q-функции, если агент случайным образом выбирает действия на ранних этапах обучения. Для решения данной проблемы применяется метод эпсилон-жадный (epsilon-greedy).

Эпсилон-жадная стратегия хорошо работает в задачах, где вероятность выбора оптимального действия высока, но при этом требуется некоторый уровень исследования альтернативных действий. Задача определения опасного участка и неблагоприятного события предполагает, что построенная модель в программной среде для обучения имеет действия с максимальной наградой, которые характеризуются признаками: скоростью, временем и т.д. Все эти признаки также рассматриваются для обоснования и проверки гипотез, описанных в пункте «Постановка задачи».

Сначала определяется некоторая вероятность ϵ , которая является параметром алгоритма и обычно находится в диапазоне от 0 до 1. Затем на каждом шаге обучения с вероятностью ϵ агент выбирает случайное действие из возможных, а с вероятностью $1-\epsilon$ выбирает действие с наибольшим значением Q-функции на текущем состоянии.

Таким образом, эпсилон-жадный алгоритм позволяет агенту исследовать новые действия с некоторой вероятностью, даже если они не имеют максимального значения Q-функции на текущем состоянии. Это позволяет агенту изучать новые стратегии поведения и находить лучшие решения в сложных задачах.

Интегрированный блок управления системы для безопасного движения в состоянии многопоточности состоит из компонентов обработки и анализа данных, передатчика и приемника.

Результаты

Для решения данной задачи выберем участок на Алтуфьевском шоссе. Участок имеет большие многополосные дороги со множеством перекрестков, светофоров и пешеходных переходов. Данная сеть имеет достаточно объемные данные для анализа и т.п. На рис. 1 показан скриншот спутниковой карты этой местности. Данное исследование проводится путем анализа 6 перекрестков и 5 дорог, которые имеют от 2 до 5 полос (рис. 2, 3). Выбранный участок движения характеризуется большим количеством потока автотранспорта и выбором направления пути.

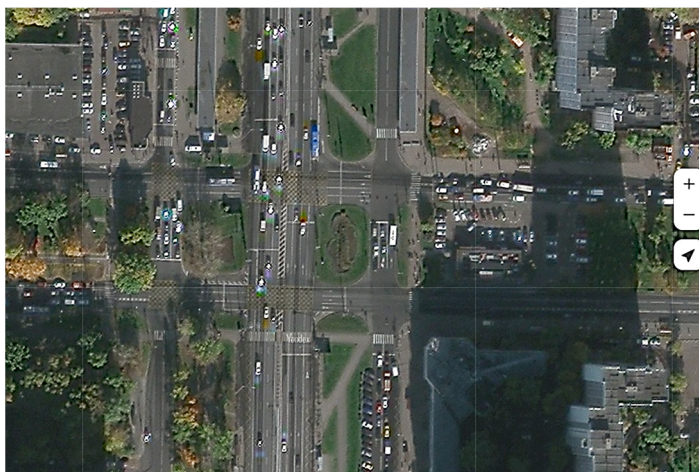


Рис. 1. Скриншот многополосных дорог и перекрестков, Алтуфьевское шоссе

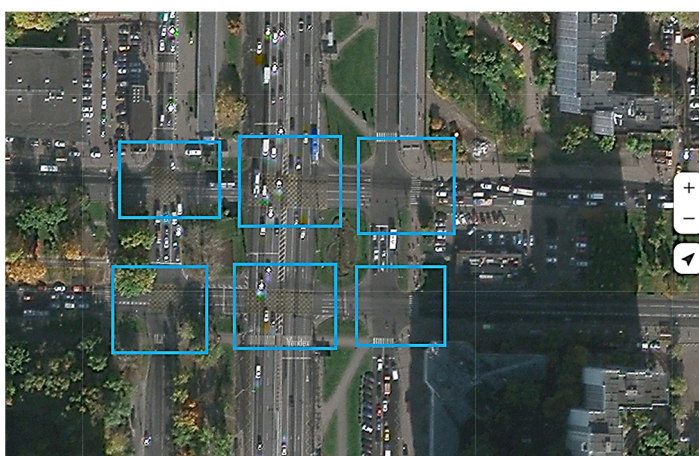


Рис. 2. Скриншот участка Алтуфьевского шоссе, перекрестки обозначены синим цветом

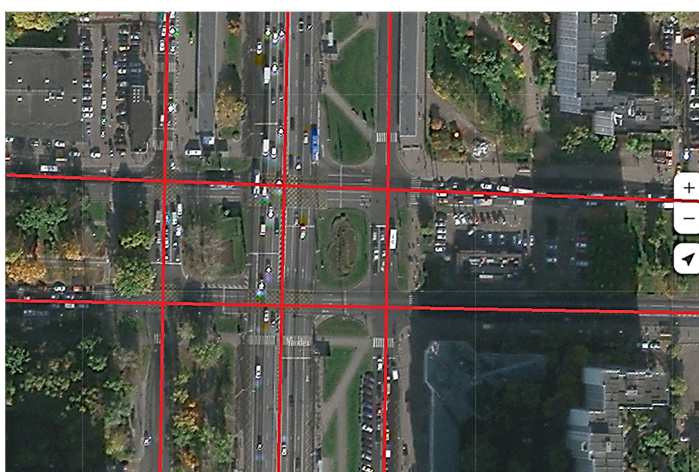


Рис. 3. Скриншот карты Яндекс, дороги показаны красным цветом

Построение автомагистрали выполняется с помощью геометрии и библиотек имитационного моделирования в программной среде AnyLogic. После готовности геометрии аварийного участка с помощью наложения линий дорог на карту местности происходит добавление потоков автомобилей для каждого из направлений маршрутов. Таких маршрутов насчитывается 12. При помощи алгоритма, состоящего из элементов carSource, carMoveTo, carDispose и traffic-light, проектируются модели транспортных маршрутов [6]. Таким образом, определяются признаки неблагоприятных событий и устанавливаются критерии благоприятных событий [7].

Чтобы правильно организовать процесс анализа автомобильного потока, следует определить:

1. Цель.
2. Сцену.
3. Набор параметров.
4. Элементы управления.
5. Статистику.

Построение автомобильного потока и маршрутов наземного пассажирского транспорта проводятся с помощью Яндекс-карт. Транспортное движение участка Алтуфьевского шоссе, как показано на рис. 4, проектируется по автомобильному маршруту на дорогах и перекрестках.

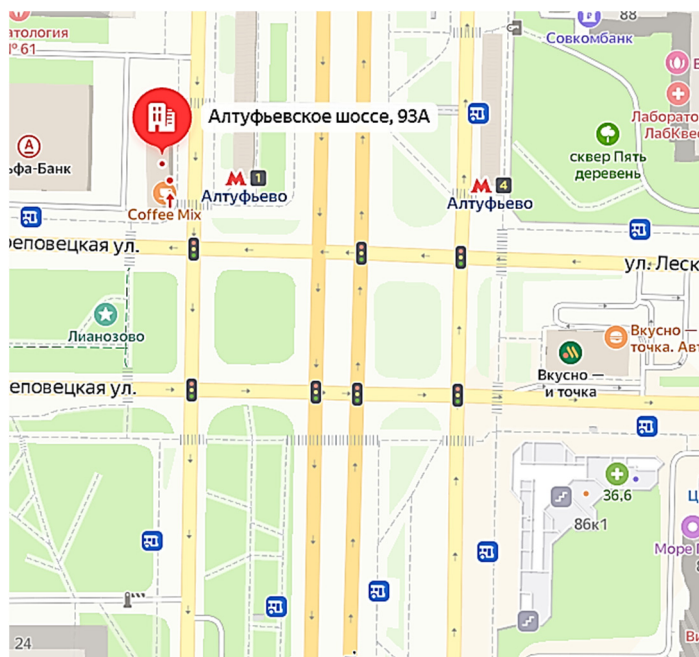


Рис. 4. Построение в программной среде AnyLogic плана автомобильного потока по карте движения Яндекс, участок Алтуфьевского шоссе

Проблемные участки дороги моделируются с учетом правил ПДД, внутреннего движения в городе, светофоров и стоп-линий [8]. Это позволяет в полной мере увидеть происходящую ситуацию на дороге и предпринять необходимые меры безопасного движения, чтобы не допустить дорожных происшествий. Данный участок рассматривался на заседаниях комиссии по

безопасности дорожного движения в префектуре. Здесь было много аварий с участием пешеходов. Рядом с этими участками располагаются семь корпусов школ и Училище олимпийского резерва, как обозначено в источнике [9].

На рассматриваемом участке определены опасные зоны движения машин. Из-за резкого увеличения числа автомобилей вероятность возникновения аварий становится выше. Сформированный поток машин показан на рис. 5.

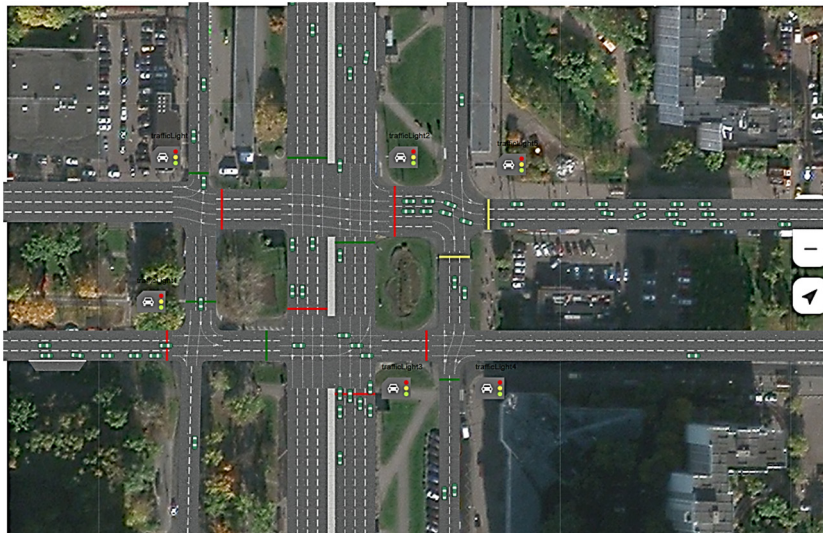


Рис. 5. Сформированный поток машин в имитационной среде AnyLogic

Для оптимизации длительности фаз имеющихся шести светофоров требуется ввести новые параметры [10]. В качестве целевой функции используется среднее время проезда машин на перекрестках. Специально для эксперимента построена популяция на агенте `main`, которая обозначена как «автомобиль». Для каждого потока машин была выбрана новая популяция. На гистограмме «ВремяПроезда» указана статистика времени проезда каждого перекрестка. Все вышеприведенные действия показаны на рис. 6.

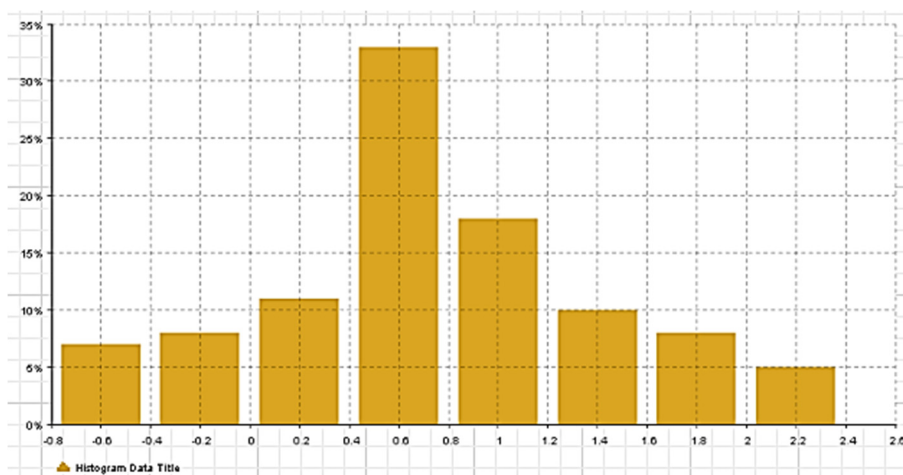


Рис. 6. Гистограмма «Время проезда» перекрестка

На рис. 7 показаны главные составляющие модели, блоки для реализации автомобильного потока, схема многопоточного движения и параметры, измеряющие время проезда модели автомобиля, в зависимости от потока (существует 10 автомобильных потоков и один автобусный поток).

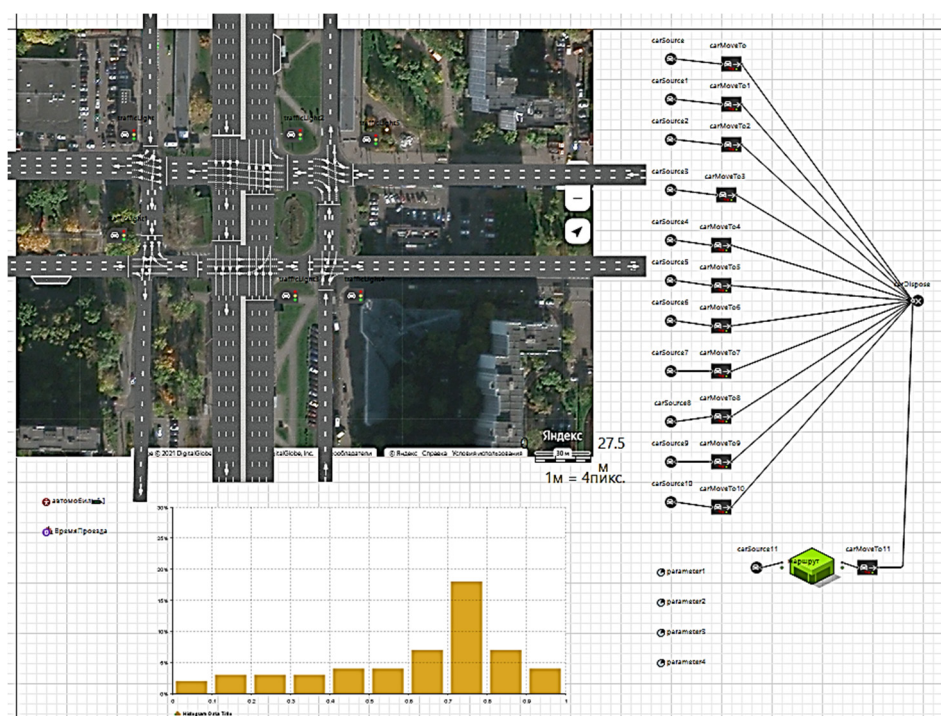


Рис. 7. Создание блок-схемы анализа аварийных участков

В параметре «ВремяПроезда» можно наблюдать среднее время проезда автомобиля – 69.157, такое значение является нормальным (рис. 8, справа). В эксперименте по оптимизации лучший средний показатель составил 67.106 (рис. 8, слева).

car_flow_analysis : Optimization

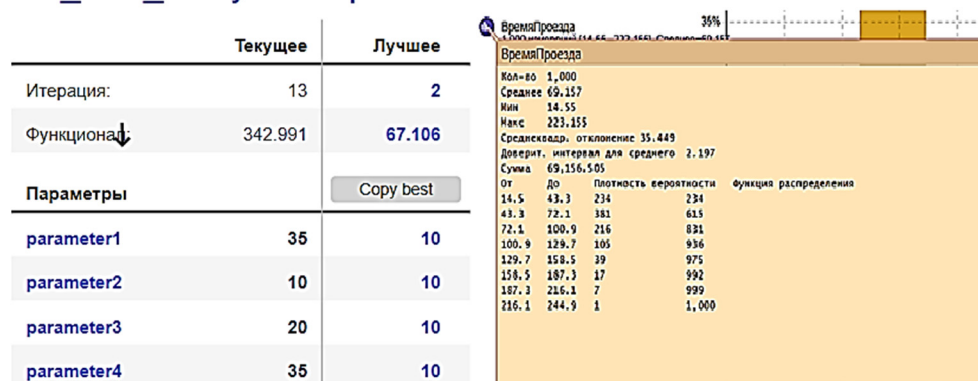


Рис. 8. Определение среднего времени проезда автомобилем перекрестка

Проблема, на решение которой направлены все действия в программной среде, – это повышенный риск встречному потоку столкнуться с машиной, находящейся в опасной зоне. Опасная зона характеризуется направлением основного и встречного потока в моменте, когда машина остановилась внутри перекрестка. Данную ситуацию можно наблюдать на рис. 9. Когда светофор горит зеленым цветом, водитель продолжает движение, и в этот период существует высокая вероятность, что машина не успеет затормозить, а водитель не справится с управлением. Частота аварий, по прогнозам карт, конспектируется во время утреннего движения и вечерних пробок. Отсутствие концентрации, усталость и беспечность водителя отягощают последствия аварии. Чтобы помочь водителю преодолеть опасность и не быть причиной смерти другого человека, требуется ввести определенные условия безопасности на дороге, разработать методику работы светофора и камер именно для передачи сигналов переключения светофора на красный свет во время опасной ситуации.

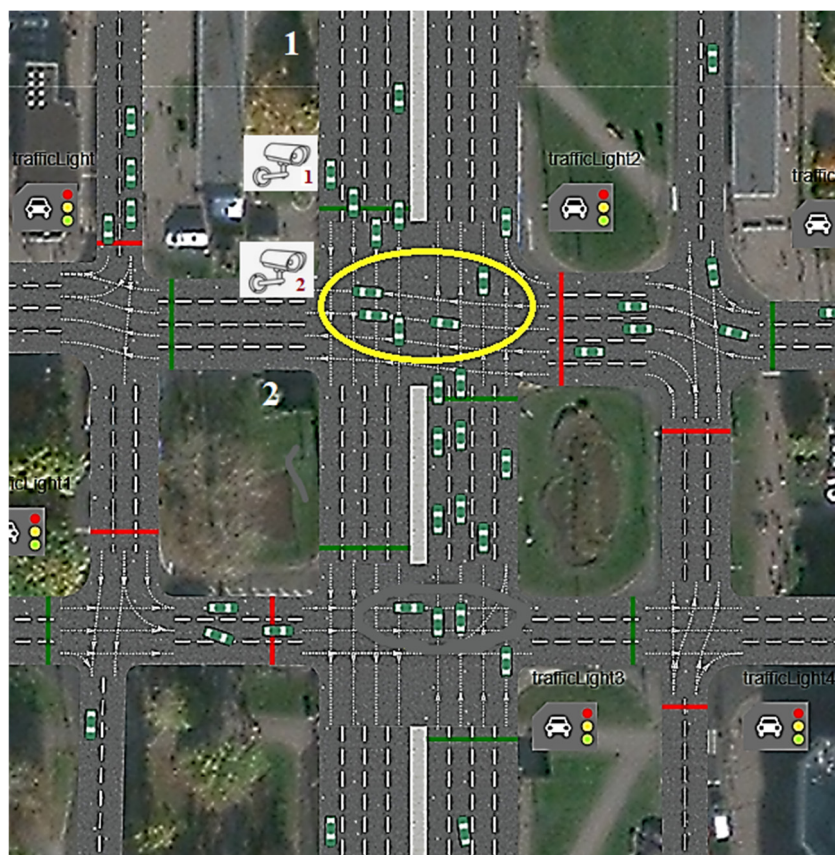


Рис. 9. Опасная зона риска автомобильной катастрофы

Камеры города оборудованы умной системой обнаружения и комплексной политикой передачи данных, следовательно, есть возможность использовать алгоритм распознавания ситуации и начать регулировать светофор в короткие сроки. Для корректной работы системы камер умного видеонаблюдения следует подготовить обучающую выборку для нейросети [11]. Обучающая выборка должна состоять из множества происходящих ситуаций

с автомобилями, находящимися в условии риска встречного столкновения [12]. По факту готовности обученной модели нейросети результаты внедряются в базу знаний для аналитико-прогностической системы, чтобы обеспечивать возможность своевременного оповещения автомобилистов об опасной ситуации на дороге путем переключения сигнальных огней светофора.

При построении инструментами имитационного моделирования аналитической модели потока машин был выявлен риск столкновений основного и встречного потоков автомобилей [13]. Желтым цветом на рис. 9 показана смоделированная ситуация направления машин в момент работы светофора при включении зеленого цвета. Желтым кругом отмечена предаварийная ситуация: совершение встречным потоком машин наезда на автомобиль, находящийся в опасной зоне передвижения на перекрестке. В реальной обстановке водитель может затормозить или увернуться, но такое решение создаст еще более критическую ситуацию. Автомобили, которые едут по полосе за объектом исследования, примут либо то же самое решение, либо создадут аварию с участием всех последующих транспортных средств. При запуске модели демонстрируется опасный участок в состоянии многопоточности и подтверждается аварийная ситуация, а именно гипотеза 2.

Метод поиска неблагоприятных событий на дороге основывается на применении алгоритмов распознавания (глубинные нейронные сети), машинного обучения и анализа данных, следовательно результатом работы является аналитико-прогностическая модель обнаружения опасной зоны, показана составной частью метода на рис. 10.

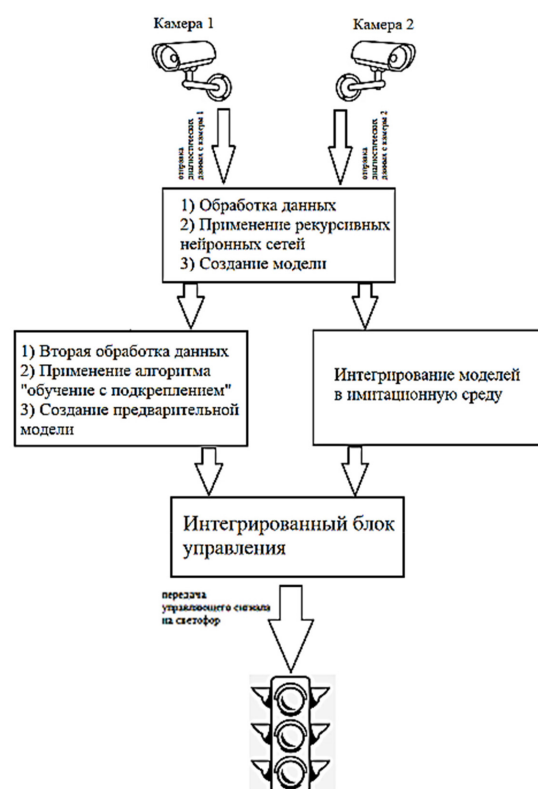


Рис. 10. Метод определения неблагоприятного события и опасной зоны на многополосной дороге

Опасная зона создается в момент движения встречного потока на зеленый свет светофора в направлении перекрестка, на котором в этот момент времени находятся машины. Задача алгоритма – подать сигнал после обработки информации с видеопотока, на светофор, тем самым переключив его на красный.

Дальнейшее применение алгоритмов машинного обучения, а именно обучение с подкреплением, выполняет условие в данной среде – если машина есть на перекрестке, то должна быть и другая машина на встречной перпендикулярной полосе движения. Следовательно, программа переключается на просмотр камеры 1, далее применяется алгоритм распознавания видеопотока и выполняется условие:

1. Если есть машины, то включается красный свет светофора для данной полосы движения.

2. Если нет машин на расстоянии, равном тормозному пути автомобиля, продолжает гореть зеленый.

Для более подробного анализа видеопотока требуется использовать две камеры, направленные на перекресток, т.е. место неблагоприятного события и на перпендикулярно расположенную встречную полосу движения. Далее собранные данные идут на обработку с помощью глубоких нейронных сетей и в блок управления безопасностью со встроенным алгоритмом обучения. Расположение камер показано на рис. 9, камера 1 направлена на перпендикулярно расположенную к перекрестку встречную полосу движения, также камера 2 направлена на исследуемый перекресток. Стадия обнаружения опасной зоны строится с использованием рекурсивных нейронных сетей, а именно идет сбор данных с видеопотока камер (1 и 2) и их обработка, следующие шаги основываются на создании модели машинного обучения посредством использования обучения с подкреплением. Результаты данной модели формируются в блок-системы управления, где также формируются сигналы переключения для светофора. Схема алгоритма показана на рис. 10.

Алгоритм нового условия:

1. Проведение научно-исследовательской работы в области безопасности опасных зон дорожного полотна.

2. Рассмотрение подобных случаев и накопление диагностической информации для дальнейшей обработки данных алгоритмом, продемонстрированным на рис. 10.

3. Внедрение процедур усовершенствования в блок-системы безопасности дорожного движения на основе интеллектуального анализа видеопотока.

4. Прогностическая модель карты опасных зон дорожного полотна в городе.

Последующий анализ многопоточного транспортного движения должен определить зависимость времени проезда автомобилей по перекрестку от времени появления машин, создающих риск аварии на основе построенной имитационной модели [14]. Это поможет внести изменения для обновления созданных условий безопасности на дороге, тем самым улучшить характеристики эксплуатации [15].

Программная среда имитационного моделирования AnyLogic способствует высокому качеству интегрирования искусственных нейронных сетей в имитационную модель и позволяет создать цифровой двойник для проверки

аналитико-прогностической модели. Как продемонстрировано в гипотезе 1, фазы светофоров и расположение транспортного средства зависят от параметра, увеличивающего степень аварийности дороги. Данным параметром можно считать опасную зону, следуя формулировке, создание ее в момент движения встречного потока на зеленый свет светофора в направлении перекрестка, на котором в этот момент времени находятся машины. Данное объяснение складывалось из совокупности действий, происходящих в имитационной модели, как показано на рис. 9. Гипотеза 2 гласит об увеличении вероятности столкновения находящихся транспортных средств в опасной зоне, что также подтверждено столкновениями автомобилей в имитационной модели (см. рис. 9). Это обусловлено анализом скорости двух потоков (1 и 2). Скорость автомобиля равна 60 км/ч на Алтуфьевском шоссе, время прибытия до перекрестка по дороге 2 составляет 70 с, а время прибытия по дороге 1 до перекрестка составляет 60 с, эти показатели подтверждают гипотезу 2 и столкновение двух машин.

Обсуждение

Проведенный анализ безопасности движения в состоянии многопоточности предполагает в дальнейшем использование нейронных сетей и машинного обучения. Модель машинного обучения строится на данных, которые разделяются на обучающую выборку и тестовую либо являются пространственными данными с пометками параметров видеопотока. Определение области аварийных участков и создание условий безопасности дает ясность параметров для разработки системы управления защитных мер автомобильного потока как аналитико-прогностического метода для координирования ситуационного процесса дороги. Для создания прогностической модели потребуется актуальная имитационная среда дорожного полотна и прописанные отклики среды для обучения с подкреплением. Преимущественно разработка данной среды будет продолжаться в программе AnyLogic.

В аналитическом обзоре представлены разработки, ориентированные на предотвращения дорожных происшествий. Эти методы определения аварий основаны на внедрении искусственных нейронных сетей и аппаратно-программного комплекса для встраивания в общую систему. Главными отличиями данных разработок от аналитико-прогностического метода, созданного для обнаружения опасных зон и предотвращения аварий, являются:

1. Отсутствие анализа признаков опасных зон на перекрестках, анализ предшествующих характеристик критериев аварий, статистический анализ компонент автомобиля.
2. Отсутствие прогностической модели для выявления возможных опасных участков дорог в городе с помощью сканирования карт и параметров.
3. Отсутствие узкопрофильного исследования данного направления.
4. Отсутствие экспертной оценки с помощью искусственных нейронных сетей.
5. Отсутствие многоагентной модели, построенной с помощью обучения с подкреплением на базе Anylogic.
6. Отсутствие цифрового двойника на основе прогностической модели распознавания опасной ситуации на дороге.

Заключение

Смоделирована дорожная сеть участка Алтуфьевского шоссе и проведен анализ моделей всех автомобильных потоков, где не было обнаружено трудных мест проезда. Опасный участок был исследован на предмет устранения проблемы.

На основе всех пройденных этапов был сформирован метод определения и предотвращения неблагоприятного события на многополосной дороге, определено новое условие безопасности нахождения в опасной зоне перекрестка. Таким образом, новым условием безопасной ситуации на дороге является предупреждение столкновения с помощью глубинных нейронных сетей и передачи сигнала на светофор для своевременного переключения.

В дальнейшем введенные параметры анализа фаз светофора на перекрестке обеспечат высокую точность определения ситуации на дороге с помощью умного видеонаблюдения благодаря алгоритмам поиска зависимостей, что даст возможность создания обучающей выборки и внедрение ее в эксплуатацию перекрестка и светофоров. Предложенная методика безопасного пользования дороги зависит прежде всего от качественного определения местоположения машины на видеопотоке и применения методов машинного обучения.

Список литературы

1. В России запущен первый комплекс для мониторинга состояния дорог при помощи нейросетей. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Система_мониторинга_состояния_дорог_при_помощи_нейросетей_от_Ростелекома (дата обращения: 12.04.2023).
2. В Москве начали использовать нейросети для контроля состояния дорог. URL: <https://tass.ru/obschestvo/17101239> (дата обращения: 12.04.2023).
3. Нейронные сети на страже правил дорожного движения. URL: <https://habr.com/ru/post/509734/> (дата обращения: 12.04.2023).
4. Проблемы безопасности дорожного движения, разбираем по пунктам. URL: <https://habr.com/ru/post/440614/> (дата обращения: 12.04.2023).
5. Юшков В. С., Юшков Б. С., Бургонутдинов А. М. Система активной безопасности и снижение аварийности на автомобильных дорогах // Вестник Московского государственного строительного университета. 2014. № 10. С. 168–176
6. Чжан Л., Зиглер Б. П., Лайли Ю. Разработка моделей для моделирования. 1-е изд. Elsevier, 2019. 453 с.
7. Тарко А. Измерение безопасности дорожного движения с помощью суррогатных событий. 1-е изд. Амстердам : Elsevier, 2019. 252 с.
8. Зеруал А., Хитта М. М., Сан Ю., Харроу Ф. Моделирование и управление дорожным движением: использование статистического мониторинга и глубокого обучения. 1-е изд. Elsevier, 2021. 268 с.
9. На Лескова появилось шесть новых светофоров. URL: <https://svao.mos.ru/presscenter/news/detail/10636013.html> (дата обращения: 12.04.2023).
10. Тан К., Больце М., Накамура Х., Тянь Ц. Мировая практика управления сигналами дорожного движения: фиксированный контроль времени на изолированных перекрестках // Всемирная конференция общества транспортных исследований. 1-е изд. Elsevier, 2019. 344 с.
11. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / пер. с англ. А. А. Слинкина. 2-е изд., испр. М. : ДМК Пресс, 2018. 652 с.
12. Хинкель Г. NMF: мультиплатформенный фреймворк моделирования // Международная конференция по теории и практике преобразований моделей. Springer, Cham, 2018. С. 184–194.

13. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. СПб. : Питер, 2018. 400 с.
14. Шелухин О. И. Сетевые аномалии. Обнаружение, локализация, прогнозирование. М. : Горячая линия – Телеком, 2019. 448 с.
15. Хасты Т., Тибширани Р., Фридман Дж. Элементы статистического обучения. Интеллектуальный анализ данных, логический вывод и прогнозирование. 2-е изд. Springer, 2009. 745 с.

References

1. *V Rossii zapushchen pervyy kompleks dlya monitoringa sostoyaniya dorog pri pomoshchi neyrosetey = The first complex for monitoring the condition of roads using neural networks has been launched in Russia.* (In Russ.). Available at: https://www.tadviser.ru/index.php/Proekt:Sistema_monitoringa_sostoyaniya_dorog_pri_pomoshchi_neyrosetey_ot_Rostelekoma (accessed 12.04.2023).
2. *V Moskve nachali ispol'zovat' neyroseti dlya kontrolya sostoyaniya dorog = In Moscow, neural networks began to be used to monitor the condition of roads.* (In Russ.). Available at: <https://tass.ru/obschestvo/17101239> (accessed 12.04.2023).
3. *Neyronnye seti na strazhe pravil dorozhnogo dvizheniya = Neural networks on guard of the rules of the road.* (In Russ.). Available at: <https://habr.com/ru/post/509734/> (accessed 12.04.2023).
4. *Problemy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya, razbiraem po punktam = Problems of road safety, we analyze them point by point.* (In Russ.). Available at: <https://habr.com/ru/post/440614/> (accessed 12.04.2023).
5. Yushkov V.S., Yushkov B.S., Burgonutdinov A.M. Active safety system and reduction of accidents on highways. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta = Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering.* 2014;(10): 168–176. (In Russ.)
6. Chzhan L., Zigler B.P., Layli Yu. *Razrabotka modeley dlya modelirovaniya. 1-e izd. = Development of models for modeling. 1st ed.* Elsevier, 2019:453. (In Russ.)
7. Tarko A. *Izmerenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya s pomoshch'yu surrogatnykh sobytij. 1-e izd. = Measuring road safety using surrogate events. 1st ed.* Amsterdam: Elsevier, 2019:252. (In Russ.)
8. Zerial A., Khitta M. M., San Yu., Kharrou F. *Modelirovanie i upravlenie dorozhnym dvizheniem: ispol'zovanie statisticheskogo monitoringa i glubokogo obucheniya. 1-e izd. = Traffic modeling and management: using statistical monitoring and deep learning. 1st ed.* Elsevier, 2021:268. (In Russ.)
9. *Na Leskova poyavilos' shest' novykh svetoforov = Six new traffic lights appeared on Leskov.* (In Russ.). Available at: <https://svao.mos.ru/presscenter/news/detail/10636013.html> (accessed 12.04.2023).
10. Tan K., Bol'tse M., Nakamura Kh., Tyan' Ts. World practice of traffic signal control: fixed time control at isolated intersections. *Vsemirnaya konferentsiya obshchestva transportnykh issledovaniy. 1-e izd = World Conference of the Society for Transport Research. 1st ed.* Elsevier, 2019:344. (In Russ.)
11. Gudfellou Ya., Bendzhio I., Kurvill' A. *Glubokoe obuchenie = Deep learning.* Transl. from the English by A.A. Slinkin. 2nd ed., corrected. Moscow: DMK Press, 2018:652. (In Russ.)
12. Khinkel' G. NMF: multiplatform modeling framework. *Mezhdunarodnaya konferentsiya po teorii i praktike preobrazovaniy modeley = International Conference on the Theory and Practice of Model Transformations.* Springer, Cham, 2018:184–194. (In Russ.)
13. Sholle F. *Glubokoe obuchenie na Python = Deep learning in Python.* Saint Petersburg: Piter, 2018:400. (In Russ.)
14. Shelukhin O.I. *Setevye anomalii. Obnaruzhenie, lokalizatsiya, prognozirovanie = Network anomalies. Detection, localization, forecasting.* Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2019:448. (In Russ.)

15. Khasti T., Tibshirani R., Fridman Dzh. *Elementy statisticheskogo obucheniya. Intel'lektual'nyy analiz dannykh, logicheskii vyvod i prognozirovanie. 2-e izd. = Elements of statistical training. Data mining, logical inference and forecasting. 2nd ed.* Springer, 2009:745. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Викторович Зыков

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры интеллектуальных
систем информационной безопасности,
МИРЭА – Российский технологический
университет
(Россия, г. Москва, пр-кт Вернадского, 78);
профессор, главный научный сотрудник
Высшей школы бизнеса,
Национальный исследовательский
университет «Высшая школа экономики»
(Россия, г. Москва, Покровский бульвар, 11)
E-mail: szykov@hse.ru

Sergey V. Zykov

Doctor of technical sciences,
associate professor, professor
of the sub-department of the intelligent
information security systems,
MIREA – Russian Technological University
(78 Vernadsky avenue, Moscow, Russia);
professor, chief researcher
of the Higher School of Business,
National Research University Higher
School of Economics
(11 Pokrovsky Boulevard, Moscow, Russia)

Святослав Александрович Золотухин

студент кафедры инструментального
и прикладного программного обеспечения,
МИРЭА – Российский технологический
университет
(Россия, г. Москва, пр-кт Вернадского, 78)
E-mail: svt.science.lab@gmail.com

Svyatoslav A. Zolotukhin

Student of the sub-departments
of the instrumental and applied software,
MIREA – Russian Technological University
(78 Vernadsky avenue, Moscow, Russia)

Мария Александровна Золотухина

аспирант кафедры цифровых технологий
обработки данных,
МИРЭА – Российский технологический
университет
(Россия, г. Москва, пр-кт Вернадского, 78)
E-mail: rtu_mary@mail.ru

Maria A. Zolotukhina

Postgraduate student of the sub-department
of digital data processing technologies,
MIREA – Russian Technological University
(78 Vernadsky avenue, Moscow, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 22.11.2022

Поступила после рецензирования/Revised 17.04.2023

Принята к публикации/Accepted 04.07.2023