

Р. М. Хусаинов

АДАПТИВНЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Ключевые слова: объекты дорожной инфраструктуры, изображения дорожных сцен, адаптивная энергоэффективная модель, выборка данных, вероятность распознавания.

В статье представлена задача распознавания основных объектов дорожной инфраструктуры (дорожный знак, дорожная разметка, светофоры). Для ее решения предлагается использовать адаптивные энергоэффективные модели, позволяющие распознавать дорожные объекты с учетом динамично меняющихся условий. Предложена уникальная база изображений дорожных сцен, на котором изображены объекты дорожной инфраструктуры. Метод обучения и тестирования адаптивной энергоэффективной модели распознавания объектов дорожной инфраструктуры включает в себя последовательные этапы: сбор исходных данных в виде изображений дорожных сцен распознаваемых объектов (дорожные знаки, дорожная разметка, светофоры); разметка исходных изображений; построение архитектуры модели; выбор инструментальных средств для моделирования; обучение и тестирование модели; оценка адекватности модели с использованием матрицы ошибок и метрик классификации. Разметка данных произведена ручным способом с применением инструмента LabelImg. Из исходных изображений дорожных сцен сформированы обучающая, валидационная и тестовая выборки. Для обучения и тестирования адаптивной энергоэффективной модели выбраны инструментальные средства: язык программирования Python, интерактивная облачная среда Google Colaboratory, библиотека Ultralytics. Проведено обучение существующих модификаций моделей: YOLOv8n, YOLOv8s, YOLOv8m, YOLOv8l, YOLOv8x. Время обучения моделей составила примерно 1,5 часа. Проводится оценка адекватности адаптивных энергоэффективных моделей с использованием матрицы ошибок и метрик классификации (Precision, Recall, F1-score, mAP). В перспективе целесообразно расширение классов (временные знаки, оградительные ленты, дорожные барьеры, дорожные конусы), использование адаптивных энергоэффективных моделей в мобильном приложении или планшетах для распознавания перечисленных объектов при проведении ремонтных работ в режиме реального времени.

R. M. Khusainov

ADAPTIVE ENERGY-EFFICIENT MODELS FOR RECOGNITION OF ROAD INFRASTRUCTURE OBJECTS

Keywords: road infrastructure objects, road scene images, adaptive energy-efficient model, data sampling, recognition probability.

The article presents the problem of recognizing the main road infrastructure objects (road sign, road marking, traffic lights). To solve it, it is proposed to use adaptive energy-efficient models that allow recognizing road objects taking into account dynamically changing conditions. A unique database of road scene images is proposed, which depict road infrastructure objects. The method of training and testing the adaptive energy-efficient model for recognizing road infrastructure objects includes the following successive stages: collecting initial data in the form of images of road scenes of recognizable objects (road signs, road marking, traffic lights); labeling the initial images; constructing the model architecture; selecting toolkits for modeling; training and testing the model; assessing the adequacy of the model using the error matrix and classification metrics. Data labeling was done manually using the LabelImg tool. Training, validation, and test samples were formed from the initial images of road scenes. The following tools were selected for training and testing the adaptive energy-efficient model: Python programming language, Google Colaboratory interactive cloud environment, Ultralytics library. Existing modifications of the models were trained: YOLOv8n, YOLOv8s, YOLOv8m, YOLOv8l, YOLOv8x. The training time for the models was approximately 1.5 hours. The adequacy of the adaptive energy-efficient models is assessed using the error matrix and classification metrics (Precision, Recall, F1-score, mAP). In the future, it is advisable to expand the classes (temporary signs, barrier tapes, road barriers, traffic cones), use adaptive energy-efficient models in a mobile application or tablets to recognize the listed objects during repair work in real time.

Введение

В настоящее время в организации дорожного движения основными объектами дорожной инфраструктуры являются дорожные знаки, дорожные разметки, сигналы светофоров [1-3]. Плохая видимость дорожных объектов является проблемой для водителей, которая имеет существенное значение, от них зависит соблюдение скоростного режима, направление движения наземного транспортного средства [4-6]. Данная проблема актуальна при изменении временных и погодных условий [7-9].

В случае несвоевременного реагирования на дорожные знаки, установленные светофоры на перекрестках, нанесенные дорожные разметки возникают дорожно-транспортные происшествия [10-12]. Для их предотвращения разработаны следующие зарубежные системы распознавания объектов: Opel Eye, Speed Limit Assist, Traffic Sign Recognition, Road Sign Information [13-15]. Каждая из систем распознавания объектов имеет преимущества или недостатки. Такие системы имеют встроенный функционал (отсутствующий в настоящее время у российских производителей автомобилей), распознают определенный класс объектов, работают некорректно

при изменении погодных условий (туман, дождь, снег, солнечный блик) и временных условий (утренние и вечерние сумерки) [16-18]. Для решения задачи актуальна разработка новых моделей для распознавания объектов дорожной инфраструктуры.

Постановка задачи

Приведем постановку задачи по распознаванию основных объектов дорожной инфраструктуры. Пусть $I = \{I_1, I_2, \dots, I_N\}$ представляет собой множество дорожных сцен, на котором изображены знаки дорожного движения, дорожные разметки и светофоры размерностью N . Каждое изображение сформировано с учетом погодных условий (дождь, снег, солнечный блик) и временных условий (утренние и вечерние сумерки).

Требуется определить положения ограничивающих рамок вокруг обнаруженных объектов и вероятность σ (t_0) определяемых классов объектов с учетом указанных условий.

Метод построения модели

Существует множество методов построения моделей, учитывающих особенность прикладной области их использования [19-21]. На основе метода Knowledge Discovery in Databases технология построения модели включает в себя решение основных задач: сбор исходных данных; предварительная обработка данных; выбор архитектуры нейронной сети; формирование обучающей и тестовой выборки; обучение нейронной сети; оценка адекватности модели [22-24].

Для распознавания таких классов объектов, как дорожный знак, дорожная разметка и светофор, применяются адаптивные энергоэффективные модели. Адаптивность моделей заключается в том, что они проводят обработку данных в режиме реального времени на устройствах с ограниченными ресурсами (смартфонах или планшетах), что позволяет классифицировать объекты на фрагменте изображения (в кадре) с учетом динамично меняющихся условий.

Адаптивная энергоэффективная модель формализуется с учетом критериев, влияющих на их производительность в зависимости от решаемой задачи. Расчет указанной модели осуществляется по разработанной формуле.

$$АЭМ = f(A, C, B, \Phi, K, F),$$

где A – архитектура модели. Как правило, архитектура бывает следующей: LeNet, AlexNet, VGG16, GoogleNet, ResNet, R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN, YOLO, SSD, RetinaNet; C – скорость, которая требуется для обработки одного кадра. Это важно для распознавания уникальных изображений. B – время, необходимое для обработки одного кадра; Φ – энергоэффективность (количество энергии, потребляемое моделью при распознавании на мобильных устройствах); K – количество классов (число объектов, которые необходимо распознать); F – факторы, влияющие на распознавание объектов в кадре: погодные (дождь, снег, солнечный блик) и временные (утренние и вечерние сумерки).

Метод обучения и тестирования адаптивной

энергоэффективной модели распознавания объектов дорожной инфраструктуры включает в себя последовательные этапы: сбор исходных данных в виде изображений дорожных сцен распознаваемых объектов (дорожные знаки, дорожная разметка, светофоры); разметка исходных изображений; построение архитектуры адаптивной энергоэффективной модели; выбор инструментальных средств для моделирования; обучение и тестирование указанной модели; оценка адекватности выбранной модели с использованием матрицы ошибок и метрик классификации [25-27].

Для моделирования главным этапом является построение архитектуры, от которой зависит решение поставленной задачи. Архитектура формирования адаптивных энергоэффективных моделей представлена на рисунке 1.

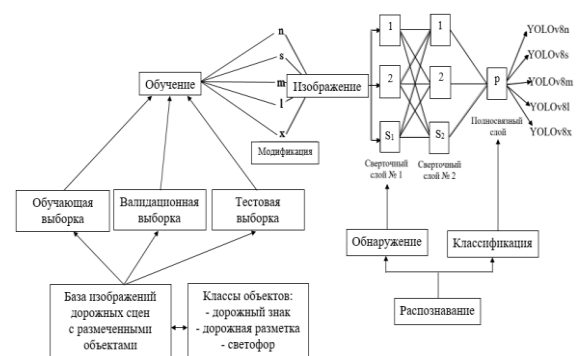


Рис. 1 – Архитектура адаптивных энергоэффективных моделей

Fig. 1 – Architecture of adaptive energy efficient models

База изображений дорожных сцен подразделяется на обучающую, валидационную и тестовую выборки [28]. Данные выборки передаются в сверточную нейронную сеть, которая проводит обработку данных [29-31]. Распознавание объектов дорожной инфраструктуры включает в себя этапы: обнаружение и классификация [32-34]. На этапе обнаружения в сверточных слоях выделяются признаки из изображения. Обнаруженные объекты выделяются ограничивающей рамкой [35-37]. В полносвязном слое на этапе классификации выделенные объекты группируются по классам с указанием вероятности σ (t_0). На выходе формируются адаптивные энергоэффективные модели, позволяющие распознавать объекты дорожной инфраструктуры с учетом динамически меняющихся условий (погодных и временных).

Обучение и тестирование модели

Для обучения и тестирования адаптивной энергоэффективной модели является выбор инструментальных средств, таких как язык программирования Python и интерактивная облачная среда Google Colaboratory [38, 39]. При написании программного кода использована библиотека Ultralytics [40].

Объем данных состоит из 400 уникальных

изображений дорожных сцен с различными разрешениями в формате «jpg» и разнообразными видами условий (погодных и временных), на которых изображены объекты дорожной инфраструктуры (дорожные знаки, дорожная разметка, светофоры). В данном наборе содержатся примерно 1400 дорожных знаков, 400 дорожных разметок и 200 светофоров, это достаточно для обучения модели.

В работе сформированы следующие выборки данных: 300 изображений дорожных сцен – для обучающей выборки, 50 – для валидационной выборки, 50 – для тестовой выборки. В выборках данных содержатся две папки: «images» (изображения) в формате «jpg» и «labels» (метки) в формате «txt». В обучающей выборке примерно 200 изображений дорожных сцен сформированы с учетом осенне-весеннего сезона, 100 – с учетом зимнего и летнего сезона. В валидационной выборке 35 изображений дорожных сцен сформированы с учетом осенне-весеннего сезона, 15 – с учетом зимнего и летнего сезона. В обучающей выборке примерно 200 изображений дорожных сцен сформированы с учетом утренних сумерек, 100 – с учетом вечерних сумерек. В валидационной выборке 35 изображений дорожных сцен сформированы с учетом утренних сумерек, 15 – с учетом вечерних сумерек.

Проведено обучение существующих модификаций моделей: YOLOv8n, YOLOv8s, YOLOv8m, YOLOv8l, YOLOv8x. Время обучения модели YOLOv8n составила 1 час 21 минута, YOLOv8s – 1 час 47 минут, YOLOv8m – 1 час 15 минут, YOLOv8l – 1 час 26 минут, YOLOv8x – 1 час 32 минуты.

Вес модели YOLOv8n равен 6,111 МБ; YOLOv8s – 21,997 МБ; YOLOv8m – 50,822 МБ; YOLOv8l – 85,610 МБ, YOLOv8x – 133,531 МБ. Все модели YOLOv8 после обучения имеют формат «pt».

На рисунке 2 представлен процесс обучения на примере выбранной модели YOLOv8m.

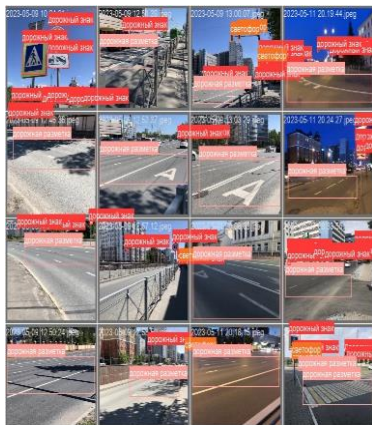


Рис. 2 – Результаты обучения модели на валидационной выборке данных

Fig. 2 – Results of model training on validation data sample

Каждый объект дорожной инфраструктуры выделяется ограничивающей рамкой с указанием класса (дорожный знак, дорожная разметка,

светофор), написанного в программном коде на русском языке.

Тестирование адаптивной энергоэффективной модели проводилось на тестовой выборке данных, состоящей из 50 изображений дорожных сцен. Тестовые данные сформированы с учетом факторов, связанных с временными условиями (утренние и вечерние сумерки), погодными условиями (дождь, солнечный блик, снег) и оптическим пространственным явлением (тень).

В тестовой выборке примерно 35 изображений дорожных сцен сформированы с учетом осенне-весеннего сезона, 10 – с учетом зимнего и летнего сезона, 5 – с учетом оптического пространственного явления (тень). 35 изображений дорожных сцен сформированы с учетом утренних сумерек, 15 – с учетом вечерних сумерек.

Результат вероятности распознавания дорожной разметки $\sigma(t_0) = 0.5$ представлен на рисунке 3.



Рис. 3 – Распознавание дорожной разметки на основе предложенной модели

Fig. 3 – Recognition of road markings based on the proposed model

Результаты вероятности распознавания дорожных знаков $\sigma(t_1) = 0.71$, $\sigma(t_2) = 0.85$, $\sigma(t_3) = 0.83$, $\sigma(t_4) = 0.86$, $\sigma(t_5) = 0.84$ и дорожной разметки $\sigma(t_6) = 0.65$ представлены на рисунке 4.



Рис. 4 – Распознавание дорожных объектов на основе предложенной модели

Fig. 4 – Recognition of road objects based on the proposed model

В машинном обучении для оценки качества моделей использованы метрики классификации:

Precision (точность), Recall (полнота) и F1-score, mAP (mean Average Precision). Для каждой модели рассчитаны значения метрик Precision, Recall, F1-score, mAP50, mAP50-95. Результаты значения метрик на примере модели YOLOv8m представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты значения метрик классификации модели

Table 1 – Results of model classification metrics values

Наименования объектов дорожной инфраструктуры	Значения метрик классификации модели				
	Precision	Recall	mAP 50	mAP 50-95	F1-score
дорожный знак	0,762	0,482	0,52	0,26	0,59
дорожная разметка	0,632	0,661	0,65	0,301	0,646
светофор	0,72	0,387	0,414	0,142	0,503
Итого	0,705	0,51	0,528	0,234	0,58

Полученные результаты вероятности распознавания объектов дорожной инфраструктуры позволяют сделать вывод о том, что адаптивные энергоэффективные модели являются адекватными. Благодаря качественному обучению предложенные модели могут обнаружить и классифицировать объекты в дорожных сценах.

Заключение

Предложенные адаптивные энергоэффективные модели распознавания объектов дорожной инфраструктуры на изображениях дорожных сцен являются главным инструментом для использования в мобильном приложении в целях поддержки принятия решений водителем в различных ситуациях. Эти модели обеспечивают высокую вероятность по оценке распознавания объектов и скорость обработки данных, что важно для своевременного реагирования водителем на дорожные условия.

Использование адаптивных энергоэффективных моделей в мобильных приложениях повышает уровень безопасности на дорогах, исключая риски возникновения аварийных происшествий.

В перспективе, с целью научного направления, связанного с распознаванием объектов дорожной инфраструктуры, необходимо расширение классов (временные знаки, оградительные ленты, дорожные барьеры, дорожные конусы) для распознавания перечисленных объектов при проведении ремонтных работ на дорогах.

Для практического применения актуально внедрение системы распознавания объектов дорожной инфраструктуры в приборную панель легковых и грузовых автомобилей, маршрутных такси, автобусов и троллейбусов, а также проведение тестирования системы перечисленных наземных транспортных средств на федеральных дорогах М-11 «Нева» (Москва - Санкт-Петербург), М-12 «Восток» (Москва - Тюмень).

Литература

1. М.Х. Гатиятуллин, А.А. Кучерова, *Вестник НЦБЖД*, 1 (51), 103-110 (2022).
2. Р.В. Николаева, П.Л. Щур, *Техника и технология транспорта*, 2 (25), 12 (2022).
3. Л.В. Павлова, Н.В. Богачев, *Тенденции развития науки и образования*, 101-4, 148-151 (2023).
4. Е.В. Голов, *Вестник гражданских номеров*, 3 (86), 139-148 (2021).
5. О.В. Майборода, В.А. Окружнов, А.Е. Чебышев, *Научный вестник автомобильного транспорта*, 1, 35-50 (2020).
6. Т.В. Дормидонтова, А.П. Осипов, Б.В. Егунов, *Тенденции развития науки и образования*, 74-3, 50-53 (2021).
7. Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, М.А. Караванова, *Региональная архитектура и строительство*, 1 (50), 110-115 (2022).
8. В.И. Бочкарев, Е.В. Жустарёва, М.Г. Горячев, *Транспортные сооружения*, 10, 3, 1-19 (2023).
9. В.И. Бочкарев, Е.В. Жустарёва, Д.А. Панов, *Транспортное строительство*, 3, 18-22 (2024).
10. А.С. Катасёв, Р.М. Хусаинов, Н.Г. Талипов, Д.В. Шалаева, *Программные продукты и системы*, 1, 69-76 (2024).
11. Д.С. Ратушин, *Новые материалы и технологии в машиностроении*, 39, 80-82 (2024).
12. Р.В. Николаева, Р.Ф. Валиев, *Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура*, 2 (2), 92-99 (2023).
13. *Автомобили Opel обретают зрение: видеокamera Opel Eye читает дорожные знаки, повышая безопасность движения*. URL: <https://www.drive.ru/blogs/opel/4efb332700f11713001e3dda.html> (дата обращения: 02.12.2024).
14. *Автомобиль Audi представила функцию распознавания сигнала светофора и оптимизацию скорости*. URL: <https://hightech.fm/2019/02/20/audi-glosa> (дата обращения: 02.12.2024).
15. *Информация о дорожных знаках RSI*. URL: <https://www.volvocars.com/ru/support/manuals/s60/2017w17/podderzhka-voditelya/informaciya-na-dorozhnyh-znakah-informacii-o-dorozhnyh-znakah-rs> (дата обращения: 02.12.2024).
16. М. Р. Нейжмак, А.И. Епихин, *Эксплуатация морского транспорта*, 4 (101), 25-29 (2021).
17. П.М. Макаров, В.Д. Русских, В.Д. Пашенцев, Т.В. Сафонова, А.В. Мокряк, *Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право*, 4 (48) 4-11 (2023).
18. Е.М. Мачеев, А.В. Девяткин, А.Р. Музалевский, *Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям*, 1, 126-129 (2022).
19. А.С. Михайлов, *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*, 3, 64-68 (2013).
20. J. M. Pea, *Intelligent data analysis*, 14, 2, 157-158 (2010).
21. Y. Wang, *International journal of intelligent information and database systems*, 5, 5, 452-467 (2011).
22. M.J. Frawley, *AI Magazine*, 1-10 (2023).
23. В.И. Городецкий, *Новости искусственного интеллекта*, 3, 3-12 (2002).
24. В.И. Городецкий, *Новости искусственного интеллекта*, 4, 3-9 (2002).
25. С.А. Намазов, Р.М. Хусаинов, Н.Г. Талипов, *Вестник Технологического университета*, 27, 3, 90-95 (2024).
26. Т.Э. Шульга, Д.А. Солопекин, *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика*, 2, 85-95 (2024).

27. Т.Э. Шульга, Д.А. Солопекин, *Математические методы в технологиях и технике*, 6, 98-101 (2023).
28. Р.М. Хусайнов, Н.Г. Талипов, *Вестник Технологического университета*, 27, 8, 116-119 (2024).
29. Е.В. Кривоногова, Г.А. Рябов, Р.В. Яровой, *Тенденции развития науки и образования*, 100-5, 40-42 (2023).
30. А.В. Гусев, *Экономика. Информатика*, 50, 3, 624-632 (2023).
31. Г.А. Рябов, Е.В. Кривоногова, Д.Ю. Изотов, Н.И. Абрамова, *Тенденции развития науки и образования*, 99-7, 131-136 (2023).
32. Т.Р. Базиев, *Дневник науки*, 5 (77), 1-14 (2023).
33. А.С. Потапов, Т.А. Липский, А.М. Копытин, *Вопросы науки*, 2, 31-37 (2024).
34. А.В. Холкин, И.И. Бикмуллина, *Вестник НЦБЖД*, 3 (61), 111-117 (2024).
35. А.М. Казанцева, Е.А. Рыжкова, Д.В. Масанов, *Инженерный вестник Дона*, 3 (99), 114-123 (2023).
36. И.Ф. Купряшкин, *Журнал радиоэлектроники*, 6 (2022).
37. Ю.Э. Корчагин, К.Д. Титов, В.И. Ключникова, А.В. Лучкова, *Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций*, 5, 60 (2022).
38. *Инструмент для аннотаций изображений LabelImg*. URL: <https://github.com/HumanSignal/labelImg> (дата обращения 05.02.2024).
39. *Интерактивная облачная среда Google Colaboratory*. URL: <https://colab.research.google.com/> (дата обращения 02.12.2024).
40. Библиотека *Ultralytics*. URL: <https://docs.ultralytics.com/ru/quickstart/#use-ultralytics-with-python> (дата обращения 02.12.2024).
14. Audi car introduced traffic light signal recognition and speed optimization. URL: <https://hightech.fm/2019/02/20/audi-glosa> (accessed on 02.12.2024).
15. RSI traffic sign information. URL: <https://www.volvocars.com/ru/support/manuals/s60/2017w17/podderzhka-voditelya/informaciya-na-dorozhnyh-znakah-informacii-o-dorozhnyh-znakah-rs> (accessed on 02.12.2024).
16. M. R. Neizhmak, A. I. Epikhin, *Operation of maritime transportation*, 4 (101), 25-29 (2021).
17. P.M. Makarov, V.D. Russkikh, V.D. Pashentsev, T.V. Safonova, A.V. Mokryak, *Information Technologies and Systems: Management, Economics, Transportation, Law*, 4 (48) 4-11 (2023).
18. E.M. Macheev, A.V. Devyatkin, A.R. Muzalevsky, *International Conference on Soft Computing and Measurement*, 1, 126-129 (2022).
19. A.S. Mikhailov, *Bulletin of Ivanovo State Power Engineering University*, 3, 64-68 (2013).
20. J. M. Pea, *Intelligent data analysis*, 14, 2, 157-158 (2010).
21. Y. Wang, *International journal of intelligent information and database systems*, 5, 5, 452-467 (2011).
22. M. J. Frawley, *AI Magazine*, 1-10 (2023).
23. V.I. Gorodetsky, *Artificial Intelligence News*, 3, 3-12 (2002).
24. V.I. Gorodetsky, *Artificial Intelligence News*, 4, 3-9 (2002).
25. S.A. Namazov, R.M. Khusainov, N.G. Talipov, *Herald of Technological University*, 27, 3, 90-95 (2024).
26. T.E. Shulga, D.A. Sолопекин, *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2, 85-95 (2024).
27. T.E. Shulga, D.A. Sолопекин, *Mathematical Methods in Technology and Engineering*, 6, 98-101 (2023).
28. R.M. Khusainov, N.G. Talipov, *Herald of Technological University*, 27, 8, 116-119 (2024).
29. E.V. Krivonogova, G.A. Ryabov, R.V. Yarovoy, *Trends in the Development of Science and Education*, 100-5, 40-42 (2023).
30. A.V. Gusev, *Ekonomika. Informatics*, 50, 3, 624-632 (2023).
31. G.A. Ryabov, E.V. Krivonogova, D.Y. Izotov, N.I. Abramova, *Trends in the Development of Science and Education*, 99-7, 131-136 (2023).
32. T.R. Baziev, *Dnevnik nauki*, 5 (77), 1-14 (2023).
33. A.S. Potapov, T.A. Lipsky, A.M. Kopytin, *Voprosy nauki*, 2, 31-37 (2024).
34. A.V. Kholkin, I.I. Bikmullina, *Vestnik NCBZhD*, 3 (61), 111-117 (2024).
35. A.M. Kazantseva, E.A. Ryzhkova, D.V. Masanov, *Engineering Bulletin of Don*, 3 (99), 114-123 (2023).
36. I.F. Kupryashkin, *Journal of Radioelectronics*, 6 (2022).
37. Y.E. Korchagin, K.D. Titov, V.I. Klyuchnikova, A.V. Luchkova, *Modern Problems of Radioelectronics and Telecommunications*, 5, 60 (2022).
38. *LabelImg image annotation tool LabelImg*. URL: <https://github.com/HumanSignal/labelImg> (accessed 05.02.2024).
39. *Google Colaboratory interactive cloud environment*. URL: <https://colab.research.google.com/> (accessed 02.12.2024).
40. *Ultralytics Library*. URL: <https://docs.ultralytics.com/ru/quickstart/#use-ultralytics-with-python> (accessed 02.12.2024).

References

1. M.H. Gatiyatullin, A.A. Kucheroва, *Vestnik NCBZhD*, 1 (51), 103-110 (2022).
2. R.V. Nikolaeva, P.L. Shchur, *Technics and Technology of Transport*, 2 (25), 12 (2022).
3. L.V. Pavlova, N.V. Bogachev, *Trends in the Development of Science and Education*, 101-4, 148-151 (2023).
4. E.V. Golov, *Bulletin of Civil Numbers*, 3 (86), 139-148 (2021).
5. O.V. Maiboroda, V.A. Okruzhnov, A.E. Chebyshev, *Scientific Bulletin of Automobile Transport*, 1, 35-50 (2020).
6. T.V. Dormidontova, A.P. Osipov, B.V. Egunov, *Trends in the Development of Science and Education*, 74-3, 50-53 (2021).
7. E.R. Domke, S.A. Zhestkova, M.A. Karavanova, *Regional Architecture and Construction*, 1 (50), 110-115 (2022).
8. V.I. Bochkarev, E.V. Zhustaryova, M.G. Goryachev, *Transportation Structures*, 10, 3, 1-19 (2023).
9. V.I. Bochkarev, E.V. Zhustaryova, D.A. Panov, *Transportation Construction*, 3, 18-22 (2024).
10. A.S. Katasev, R.M. Khusainov, N.G. Talipov, D.V. Shalaeva, *Program Products and Systems*, 1, 69-76 (2024).
11. D.S. Ratushin, *New Materials and Technologies in Mechanical Engineering*, 39, 80-82 (2024).
12. R.V. Nikolaeva, R.F. Valiev, *Automobile roads and transport infrastructure*, 2 (2), 92-99 (2023).
13. Opel cars acquire vision: Opel Eye video camera reads road signs, increasing traffic safety. URL: <https://www.drive.ru/blogs/opel/4efb332700f11713001e3dda.html> (accessed on 02.12.2024).

© Р. М. Хусайнов – аспирант кафедры Систем информационной безопасности, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, Казань, Россия, rumil_husainov98@mail.ru.

© R. M. Khusainov – PhD-student of Information Security Systems department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan, Russia, rumil_husainov98@mail.ru.