

Шувалов Никита Петрович, студент,
Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики

Захарова Оксана Игоревна,
кандидат технических наук, доцент,
Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики

Куляс Олег Леонидович,
Кандидат технических наук, с.н.с.,
Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики

КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ В АВТОНОМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ: СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ И ВЫЗОВЫ

Аннотация. В статье анализируется роль компьютерного зрения в системах восприятия автономных транспортных средств: рассмотрены принципы работы камер, LiDAR и радара, предложена архитектура сенсорной фузии, выполнен сравнительный анализ сенсоров и сформулированы основные вызовы внедрения полностью автономного транспорта.

Ключевые слова: Компьютерное зрение, автономные транспортные средства, LiDAR, радар, сенсорная фузия.

Введение

Развитие автономных транспортных средств (АТС) является одним из наиболее технологически сложных направлений современной инженерии и искусственного интеллекта. Ключевым элементом, обеспечивающим возможность безопасного передвижения без участия человека, выступает система восприятия – способность автомобиля видеть и понимать окружающий мир. Компьютерное зрение играет в этом процессе первостепенную роль, отвечая за интерпретацию данных, поступающих с различных сенсоров.

Задачей данного исследования является анализ современных достижений в области компьютерного зрения для АТС, а также выявление основных вызовов, препятствующих внедрению полностью автономного транспорта. Для достижения этой цели рассматривается архитектура взаимодействия трех основных типов сенсоров, проводится их сравнение и анализ интеграции данных.

1. Роль компьютерного зрения в восприятии окружающей среды

Компьютерное зрение в контексте автономных транспортных средств представляет собой совокупность методов, позволяющих автомобилю извлекать, обрабатывать и анализировать визуальную информацию для принятия решений о движении [1]. Система должна решать ряд критически важных задач: обнаружение и классификация объектов (другие автомобили, пешеходы, велосипедисты), определение свободного пространства, распознавание дорожных знаков и сигналов светофора, а также слежение за дорожной разметкой [2].

Современные достижения в этой области неразрывно связаны с прогрессом в сфере глубокого обучения, в частности, сверточных нейронных сетей (CNN). Архитектуры, такие как YOLO (You Only Look Once) и семейство моделей Transformer, позволяют обрабатывать видеопоток в реальном времени с высокой точностью, одновременно обнаруживая десятки различных классов объектов.



2. Детальный анализ сенсорных систем

В данном разделе представлено подробное описание каждого из трех основных типов сенсоров, используемых в автономных транспортных средствах. Для каждого сенсора приведена графическая схема, иллюстрирующая принцип его работы и этапы обработки данных.

2.1. Камера

Камера является наиболее информативным сенсором, так как воспринимает свет в видимом спектре. Она предоставляет богатую текстурную и цветовую информацию, что делает ее незаменимой для задач классификации и семантической сегментации.

Принцип работы. Матрица камеры (CCD или CMOS) фиксирует интенсивность света в трех цветовых каналах (RGB), формируя двумерное изображение. В системах АТС часто используются стереокамеры, которые позволяют вычислять глубину сцены методом триангуляции.

Процесс обработки данных камеры:

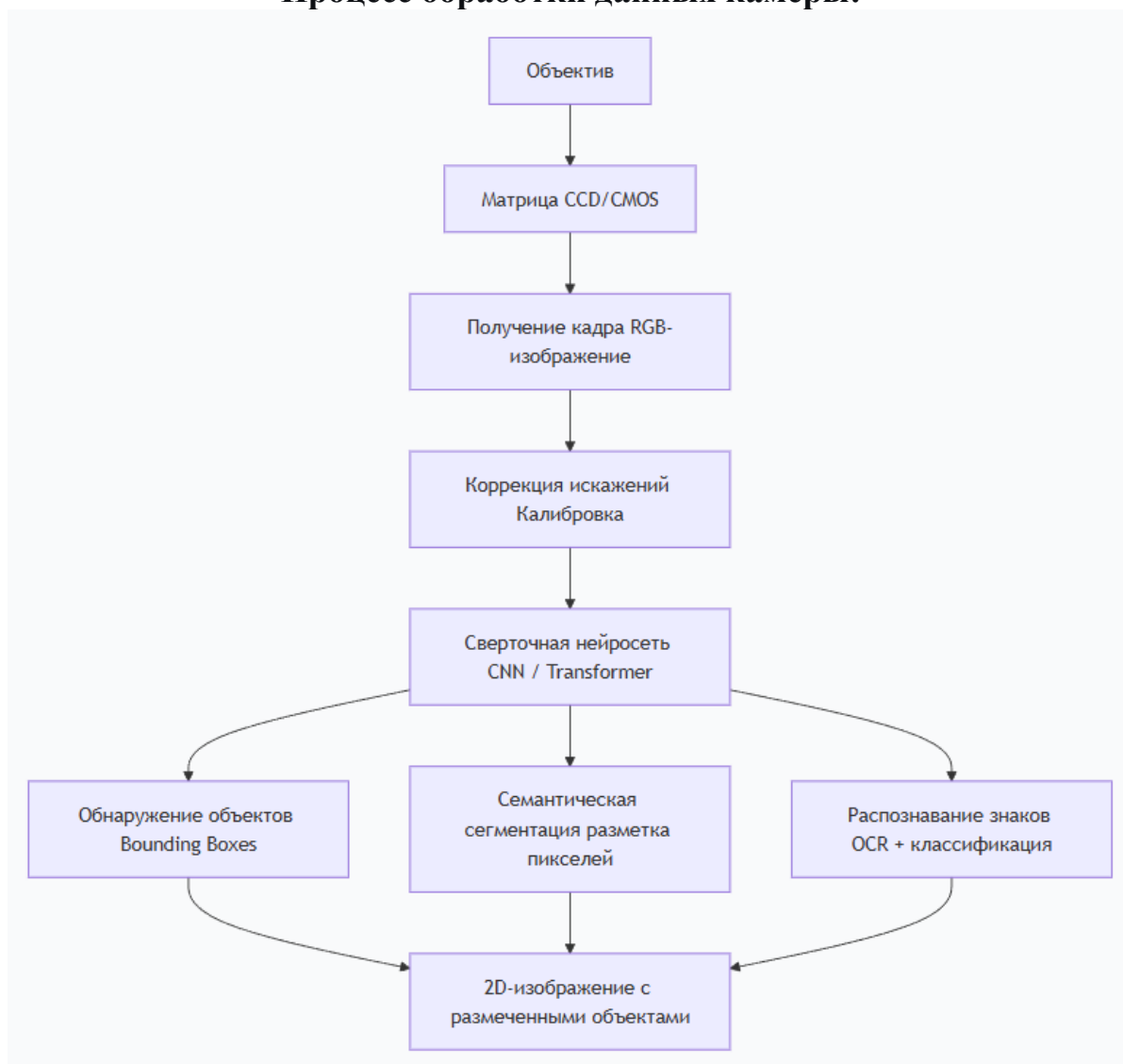


Рисунок 2.1. Схема обработки данных камеры.



Выходные данные. Структурированное 2D-изображение с наложенными ограничивающими рамками вокруг обнаруженных объектов, сегментированная карта дорожной сцены, а также текстовое описание распознанных знаков.

2.2. LiDAR (Light Detection and Ranging)

LiDAR – технология активного зондирования, использующая лазерные импульсы для создания высокоточной трехмерной карты окружающего пространства [3].

Принцип работы. Сенсор испускает тысячи лазерных лучей в секунду и измеряет время, за которое каждый отраженный луч возвращается обратно (Time-of-Flight). Зная скорость света и время задержки, вычисляется расстояние до точки отражения. Вращающийся механизм позволяет сканировать пространство на 360 градусов.

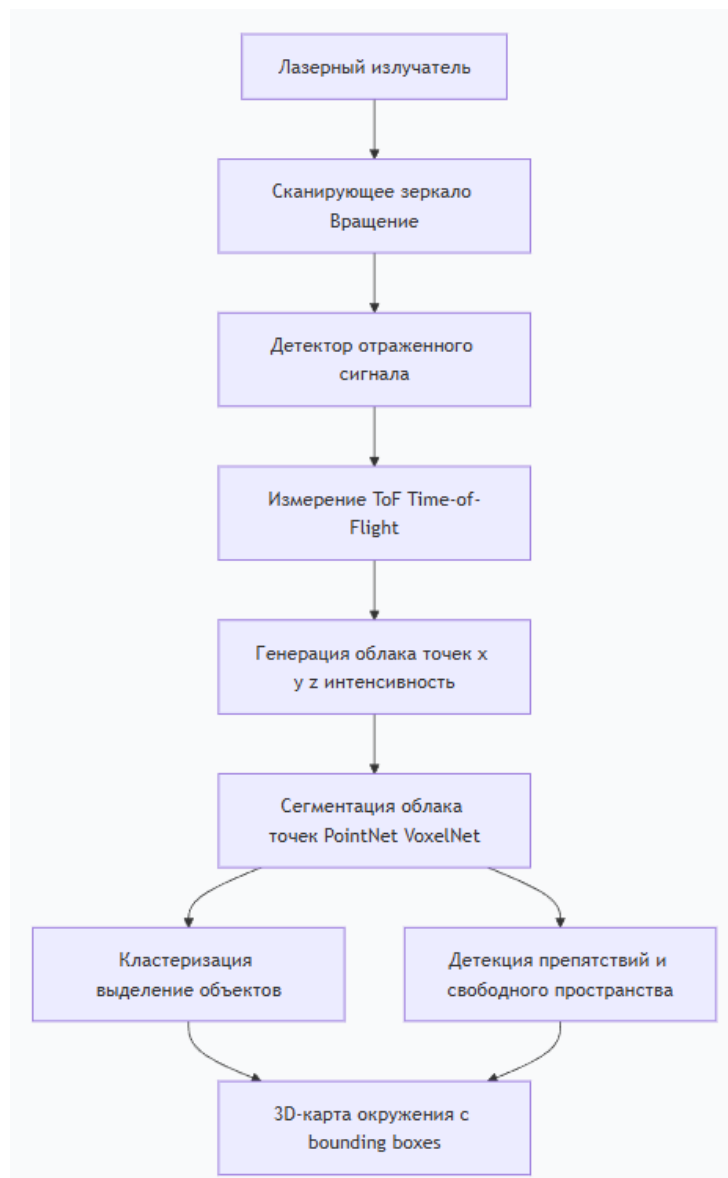


Рисунок 2.2. Схема обработки данных LiDAR.

Выходные данные. Трехмерное облако точек, где каждая точка имеет координаты в пространстве и значение интенсивности отраженного сигнала. После обработки это преобразуется в 3D-модель с выделенными объектами.



2.3. Радар (Radio Detection and Ranging)

Радар – технология, использующая радиоволны для обнаружения объектов и определения их скорости. Это наиболее устойчивый к внешним условиям сенсор [4].

Принцип работы: Радар испускает радиоволны и анализирует отраженный сигнал. Ключевой особенностью является использование эффекта Доплера: изменение частоты отраженной волны позволяет напрямую вычислить радиальную скорость объекта.

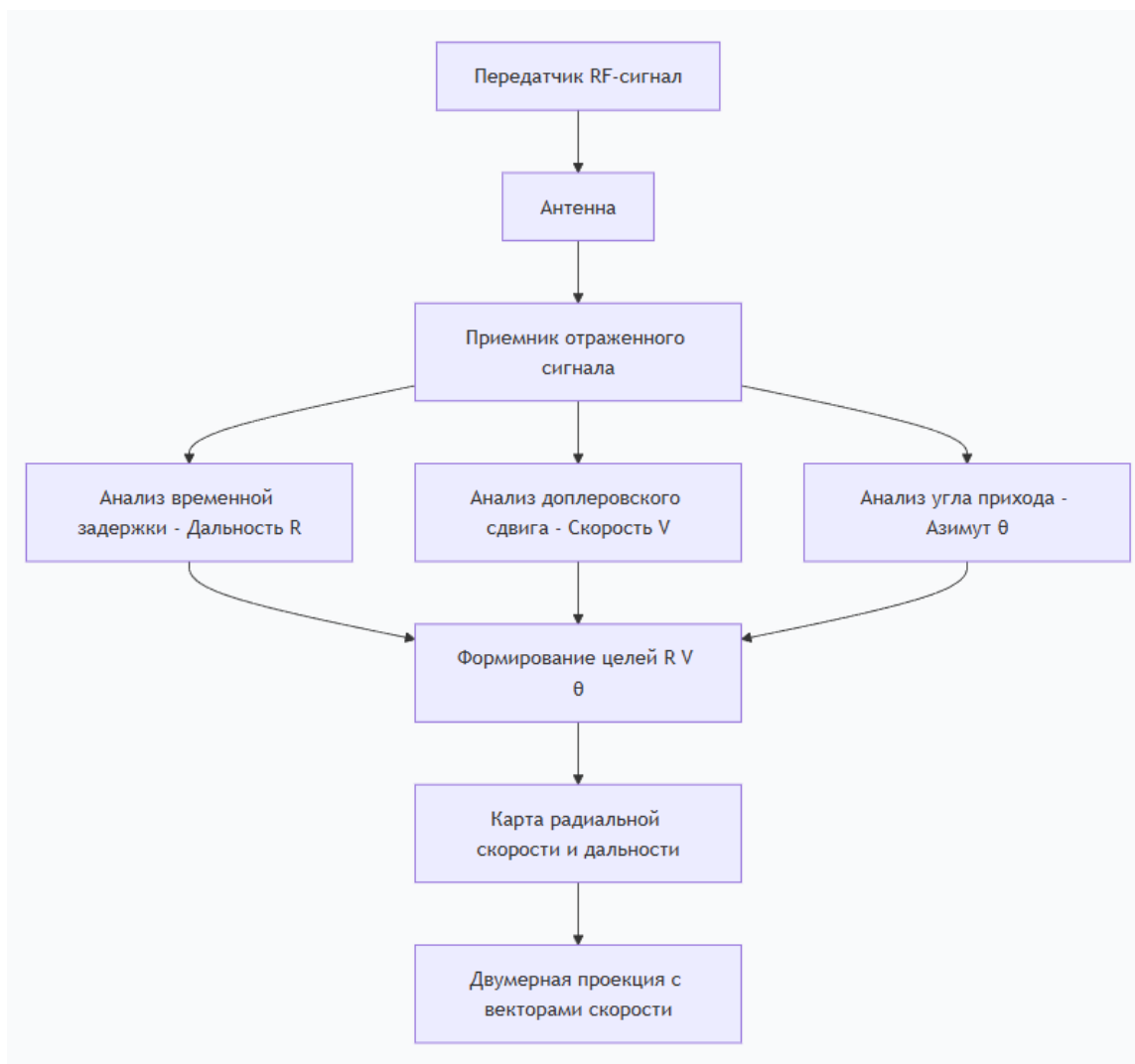


Рисунок 2.3. Схема обработки данных радара.

Выходные данные. Список обнаруженных целей с параметрами: дальность, азимутальный угол, радиальная скорость и интенсивность отраженного сигнала.

3. Архитектура взаимодействия сенсоров

Ни один отдельно взятый сенсор не является достаточным для всех условий эксплуатации. Современные автономные транспортные средства используют комбинацию всех трех типов датчиков, данные которых объединяются (сенсорная фузия) для создания целостной и надежной картины мира [5].



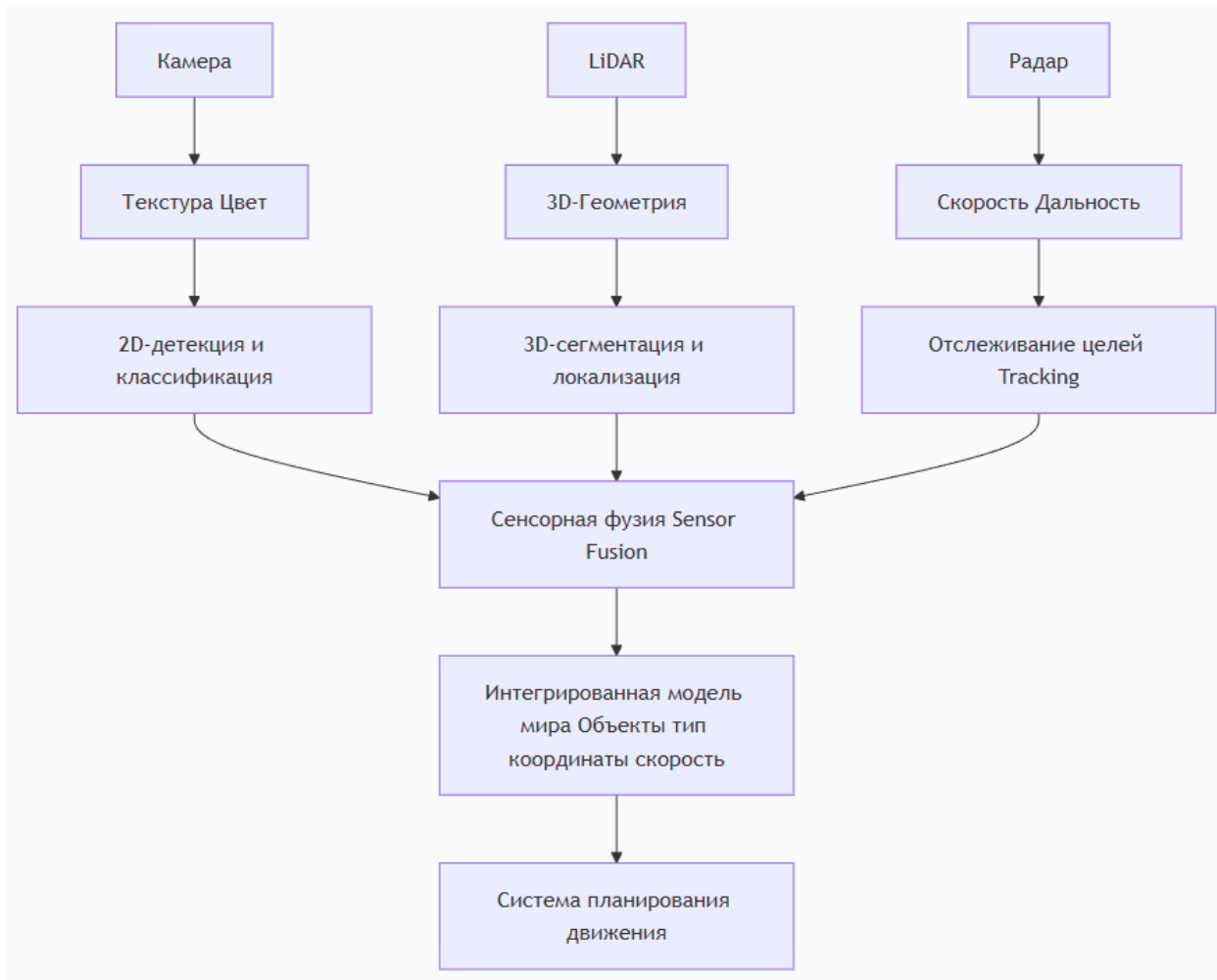


Рисунок 3. Архитектура взаимодействия сенсоров автономного транспортного средства

Процесс сенсорной фузии объединяет данные от всех трех источников после их предварительной обработки. Результатом является интегрированная 3D-модель окружения, где каждый объект локализован в пространстве, классифицирован и имеет измеренную скорость. Эта модель подается на вход системе планирования движения.

4. Сравнительный анализ сенсорных технологий

Для понимания роли каждого компонента проведем их сравнительный анализ по ключевым критериям.

Таблица 1.

Сравнительный анализ сенсоров для автономных транспортных средств

Критерий	Камера	LiDAR	Радар
Информационная насыщенность	Высокая	Средняя	Низкая
Точность классификации	Высокая	Средняя	Очень низкая
Точность определения расстояния	Средняя	Очень высокая	Высокая
Точность определения скорости	Косвенная	Косвенная	Прямая
Работа в темноте	Плохая	Отличная	Отличная
Работа в непогоду	Плохая	Средняя	Отличная
Стоимость	Низкая	Очень высокая	Средняя



Анализ данных из таблицы 1 подтверждает необходимость мультисенсорного подхода. Камера обеспечивает понимание семантики сцены. Радар гарантирует надежность в любых условиях и прямое измерение скорости. LiDAR выступает в роли инструмента для точного позиционирования. Зависимость от дорогостоящего LiDAR является одним из главных экономических вызовов на пути к массовому производству.

5. Современные вызовы

Технология компьютерного зрения для АТС сталкивается с рядом серьезных вызовов:

1. **Редкие события:** Невозможно обучить нейросеть на все возможные дорожные ситуации. Обеспечение безопасности в нестандартных сценариях остается главной проблемой.

2. **Объяснимость решений:** Системы глубокого обучения являются "черным ящиком". Сложность объяснения принятых решений критична для сертификации и расследования инцидентов.

3. **Вычислительные ресурсы:** Обработка потоков данных от всех сенсоров в реальном времени требует значительных вычислительных мощностей и энергопотребления.

4. **Стоимость компонентов:** Основной сдерживающий фактор для массового внедрения – высокая стоимость LiDAR. Индустрия работает над созданием более доступных твердотельных аналогов.

5. **Зависимость от карт:** АТС зависят от актуальности высокоточных карт, поддержание которых является сложной логистической задачей.

Заключение

Компьютерное зрение является фундаментом современных автономных транспортных средств. Достижения в области глубокого обучения и сенсорной фузии позволили достичь высоких результатов в восприятии окружающей среды. Как показал сравнительный анализ, каждый сенсор выполняет уникальную функцию: камера отвечает за понимание сцены, LiDAR обеспечивает геометрическую точность, радар гарантирует надежность измерения скорости и работы в сложных погодных условиях.

Синергия этих трех технологий позволяет компенсировать недостатки каждого отдельного сенсора, создавая надежную интегрированную модель мира. Главные вызовы на пути к полной автономии лежат в области обработки редких событий, обеспечения объяснимости алгоритмов и снижения стоимости ключевых компонентов. Преодоление этих барьеров определит будущее беспилотного транспорта.

Список литературы:

1. Якунин А.Г. Компьютерное зрение в системах автономного управления транспортными средствами. // Автоматика и телемеханика. – 2022. – № 5. – С. 45-58. // URL: <https://www.mathnet.ru/at>

2. Смирнов В.А., Козлов Д.С. Методы обнаружения объектов в системах технического зрения беспилотных автомобилей. // Информационные технологии. – 2023. – Т. 29. – № 3. – С. 112-121. // URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50789345>

3. Григорьев А.Н., Морозов Д.А. LiDAR-сенсоры в системах автономного вождения: обзор технологий. // Радиотехника и электроника. – 2022. – Т. 67. – № 4. – С. 321-334. // URL: <https://journals.rcsi.science/0033-8494/>

4. Федотов П.С. Радиолокационные системы для автономного транспорта. // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2023. – № 1. – С. 67-75. // URL: <https://www.madi.ru/vestnik/>

5. Егоров К.В., Соколов А.Г. Сенсорная фузия в системах помощи водителю и автономного вождения. // Интеллектуальные системы. – 2022. – Т. 26. – № 2. – С. 91-106. // URL: <https://intsys.msu.ru/>



6. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2016. – С. 779-788. // URL: <https://arxiv.org/abs/1506.02640>

7. Лебедев И.П. Стереозрение в робототехнических комплексах: принципы и алгоритмы. // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2021. – Т. 22. – № 8. – С. 403-412. // URL: <https://novtex.ru/mau/>

8. Новиков С.В. Экономические аспекты внедрения автономных транспортных средств. // Вопросы экономики. – 2023. – № 7. – С. 87-102. // URL: <https://www.vopreco.ru/>

9. Васильев П.Ю. Проблема редких событий в системах искусственного интеллекта для беспилотного транспорта. // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2022. – № 4. – С. 53-64. // URL: <https://www.aidt.ru/>

