

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**  
**Кафедра МО ЭВМ**

**ОТЧЕТ**  
**по научно-исследовательской практике**  
**Тема: Обзор статьи «An Ethical Trajectory Planning Algorithm for**  
**Autonomous Vehicles»**

Студент гр. 1304

Студент гр. 1304

Студент гр. 1304

Руководитель

Шаврин А.П.

Ефремов А.А.

Макки К.Ю.

Иванов Д.В.

Санкт-Петербург

2024

## ЗАДАНИЕ НА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ПРАКТИКУ

Студент Шаврин А.П.

Студент Ефремов А.А.

Студент Макки К.Ю.

Группа 1304

Тема практики: Обзор статьи «An Ethical Trajectory Planning Algorithm for Autonomous Vehicles»

Задание на практику:

Выполнить подробный обзор предложенной статьи, включающий в себя анализ:

- поставленных в рамках исследования цели и задач
- тематики статьи
- методов обоснования
- используемых данных
- результатов исследования

Сроки прохождения практики: 05.03.2024 – 13.05.2024

Дата сдачи отчета: 05.05.2024

Дата защиты отчета: 05.05.2024

Студент

Шаврин А.П.

Студент

Ефремов А.А.

Студент

Макки К.Ю.

Руководитель

Иванов Д.В.

## **АННОТАЦИЯ**

Цель научно-исследовательской практики – получение навыков анализа научных работ.

Оригинальное название исследуемой статьи: An Ethical Trajectory Planning Algorithm for Autonomous Vehicles.

Русскоязычное название исследуемой статьи: Алгоритм этического планирования траектории для автономных транспортных средств.

Авторы исследуемой статьи: Maximilian Geisslinger, Franziska Poszler, Markus Lienkamp.

Цель исследования, приведенная авторами в статье: разработка этического алгоритма для планирования траектории автономных транспортных средств (АТС) с справедливым распределением риска.

## **SUMMARY**

The purpose of research practice is to gain skills in analyzing scientific work.

Original title of the article under study: An Ethical Trajectory Planning Algorithm for Autonomous Vehicles.

Russian title of the researched article: Алгоритм этического планирования траектории для автономных транспортных средств.

Authors of the researched article: Maximilian Geisslinger, Franziska Poszler, Markus Lienkamp.

The purpose of the research cited in the article: Development of an ethical algorithm for planning the trajectory of autonomous vehicles (AVs) with a fair distribution of risk.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	5
1.	Поставленная цель и задачи	6
2.	Тематика статьи	8
3.	Методы обоснования	9
4.	Характеристика используемых данных	10
4.1.	Методы проведения эксперимента	10
4.2.	Используемые данные и их характеристики	10
4.3.	Способы обработки измерений	11
4.4.	Правомерность выводов по итогам эксперимента	12
5.	Характеристика выводов	14
5.1.	Сравнение достигнутых результатов с поставленными целями и задачами и степень раскрытия результатов	14
5.2.	Направления дальнейших исследований	16
6.	Достигнутый результат	18
6.1.	Чем именно является результат	18
6.2.	Характер результата	19
6.3.	Характеристики результата	19
6.4.	Границы применимости результата и степень его универсальности	22
6.5.	Технические ограничения полученного результата	22
6.6.	Недостатки полученного решения	22
6.7.	Вопросы касательно результата	23
7.	Качество списка литературы в статье	24
8.	Качество иллюстративного материала	25
	Заключение	26

## **ВВЕДЕНИЕ**

В условиях быстрого развития автономных транспортных средств (АТС) и необходимости обеспечения безопасности на дорогах становится все более актуальным исследование этических алгоритмов планирования траектории движения. Этот вид исследования имеет прямое воздействие на разработку и внедрение автономных систем управления транспортом, помогая снизить риски для участников дорожного движения и повысить общественное доверие к автономной технологии. Такие исследования не только способствуют повышению безопасности на дорогах, но и обеспечивают основу для разработки законодательства и стандартов, регулирующих использование автономных транспортных средств, что делает их незаменимым инструментом в современной транспортной индустрии.

Результаты исследования подтвердили эффективность этического алгоритма планирования траектории движения автономных транспортных средств. В сравнении с другими алгоритмами, он продемонстрировал снижение рисков как для автономных транспортных средств, так и для других участников дорожного движения, особенно уязвимых. Это подтверждает значительный потенциал данного алгоритма для обеспечения безопасности на дорогах и создания этических систем управления автономными транспортными средствами.

## 1. ПОСТАВЛЕННАЯ ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Целью исследования является разработка этического алгоритма для планирования траектории автономных транспортных средств (АТС) с справедливым распределением риска.

Для достижения цели авторы поставили следующие задачи исследования:

1. Генерация всех траекторий движения АТС с этически нейтральными расчетами значений риска и присвоением их для каждой траектории.
2. Выбор набора траекторий, обеспечивающих минимальный возможный риск.
3. Расчет показателей суммарных траекторных издержек для выбранных допустимых траекторий с использованием основных этических принципов.
4. Проведение сравнительного анализа распределения рисков между разработанным этическим алгоритмом и другими существующими методами планирования траектории.

Разделы, раскрывающие вышеописанные задачи:

- Для решения первой задачи, в разделе "Расчет риска" авторы выбирают несколько траекторий в системе координат Френе, учитывая текущее состояние АТС, и определяют уровень риска для каждой из них (произведение вероятности столкновения и предполагаемого вреда от этого столкновения). Они используют вероятность столкновения, вычисляемую с помощью нейросетевой модели, а оценка предполагаемого вреда основывается на массе, скорости и других факторах, учитывая различие между защищенными и незащищенными участниками дорожного движения. Благодаря абстракции данной модели обеспечивается этическая нейтральность. Это позволяет учесть распределение рисков при планировании траектории как важный аспект принятия этических решений.

- Для выполнения второй задачи, в разделе “Максимальный допустимый риск” (ориг. “Maximum Acceptable Risk”) авторы вводят понятие максимально допустимого риска, который определяет, какая траектория разрешена, а какая - только при отсутствии других вариантов. Согласно этой концепции, траектории классифицируются на четыре уровня валидности, и выбор должен осуществляться с самого высокого уровня валидности. Таким образом гарантируется, что решение будет найдено, даже в случае невыполнения всех критериев качества.
- Для решений третьей задачи, в разделе “Распределение рисков” (ориг. “Risk Distribution”) авторы вычисляют функции этической стоимости для траекторий, находящихся в пределах наивысшего доступного уровня валидности. Были выделены три критерия, влияющих на оценку маршрута: мобильность, безопасность и комфорт. Функция стоимости безопасности является взвешенной суммой четырех этических принципов: байесовский, равенства, максимина и ответственности. Исходя из расчетов выбирается траектория с наиболее приемлемыми значениями.
- В завершение, в разделе "Результаты" (ориг. “Results”) авторы проводят сравнительный анализ этического алгоритма с эгоистичным и стандартным алгоритмами в 2000 симуляционных сценариях. Авторы анализируют риски, возникающие в результате различных подходов к планированию, а также смоделированные несчастные случаи и связанного с ними вреда с целью определения эффективности и справедливости разработанного алгоритма.

Поставленные цели и задачи отражаются в тематике статьи.

## 2. ТЕМАТИКА СТАТЬИ

Данная статья рассматривает этические проблемы в области автономной техники. Выбор данной области обоснуется тем, что с ростом искусственного интеллекта и автоматизации, моральные решения переходят к алгоритмам. Аварии с участием автономных транспортных средств поднимают не только технические вопросы, но и имеют этические последствия. В ходе исследования авторы статьи представляют алгоритм этического планирования движения, основанный на справедливом распределении риска.

*“Passengers of AVs have a personal incentive to ride in AVs that will protect them at all costs. This incentivizes developers and OEMs to program AVs with an appropriate selfish risk distribution towards the AV passengers. This type of risk distribution could ultimately lead to weaker road users being disadvantaged by higher risks...”*

Представленный алгоритм должен повысить безопасность на дорогах и соответствующие оценки авторы подробно разбирают на протяжении всей статьи.



### 3. МЕТОДЫ ОБОСНОВАНИЯ

Для оценки безопасности траектории авторы использовали этические принципы (байесовский, равенства, максимина и ответственности), представляющие собой математические функции. Для оценки эффективности алгоритма использовались эмпирические методы оценки, представляющие собой сравнение результатов работы этического алгоритма с другими методами планирования траектории в большом количестве симуляционных сценариев.

Использование этических принципов оценки подтверждается в разделах “Распределение рисков” (ориг. “Risk Distribution”), а каждый принцип подробно описывается в разделах “Байес, Равенство и Принцип максимина” (ориг. “Bayes, Equality & Maximin Principle”) и “Принцип ответственности” (ориг. “Responsibility Principle”).

*“Translating ethical distribution principles into a mathematical representation in the form of trajectory costs provides the basis for our ethical algorithm. In a weighted sum, our risk cost function combines costs for the Bayes principle, the equality principle, maximin principle, and the responsibility principle.”*

Использование эмпирических методов оценки подтверждается в разделе “Результаты” (ориг. “Results”), где описывается проведенное сравнение алгоритмов и их эмпирическая оценка на 2000 симуляционных сценариях.

*“For this purpose, we compare our ethical algorithm with a selfish algorithm and a standard algorithm. The selfish algorithm strives to minimize the AV’s risk and does not account for the risks of other road users, while the standard algorithm does not consider risk at all. For our empiric evaluation, we run these three types of algorithms in 2000 simulation scenarios using CommonRoad”.*

## **4. ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДАННЫХ**

Для оценки эффективности и надежности предложенного этичного алгоритма планирования траектории авторы провели эксперимент. Авторы использовали имитатор автономного вождения, чтобы проверить алгоритм в различных сценариях и сравнить его с существующими подходами.

### **4.1. Методы проведения эксперимента**

Эксперимент проводился с использованием компьютерного моделирования, который позволил сравнить разработанный алгоритм с результатами работы других алгоритмов. Результаты эксперимента были наглядно представлены в виде графиков, что обеспечило более полное понимание процесса исследования. Для анализа эффективности различных подходов к планированию траектории автономных транспортных средств, авторы запустили три типа алгоритмов в 2000 сценариях моделирования. Они уделили особое внимание 100 наиболее значимым сценариям, которые были выбраны с целью максимальной релевантности анализу рисков. Такой подход позволил более детально рассмотреть последствия различных подходов к планированию и выявить возможные несчастные случаи.

### **4.2. Используемые данные и их характеристики**

В исследовании использовались данные о движении автономных транспортных средств (АТС) в различных сценариях дорожного движения предоставляемые CommonRoad. Эти сценарии включают в себя информацию о скорости, ускорении, расстоянии до других объектов на дороге и других параметрах движения. Для формирования сценариев использовались различные подходы: часть из них была записана в реальных дорожных условиях, в то время как другие создавались вручную с целью создания экстремальных ситуаций, наиболее репрезентативных для анализа безопасности. Эти сценарии охватывают разнообразные условия движения и были смоделированы в различных регионах мира. Такой подход позволяет учесть разнообразие

дорожных ситуаций и обеспечить более всесторонний анализ предложенных алгоритмов. В статье отсутствует подробное описание вручную создаваемых экстремальных сценариев, поскольку это лишь общее описание данных, предоставляемых CommonRoad.

*“The scenarios are partly real-world recorded or handcrafted to create explicitly safety-critical situations. They cover a wide variety of environments, such as urban, rural, and highway, in different regions, such as the USA, Europe, and China.*

С помощью предоставленных данных удалось симулировать работу нескольких алгоритмов планирования траектории, что позволило произвести сравнительный анализ и дальнейшую обработку полученных измерений.

#### **4.3. Способы обработки измерений**

Был проведён сравнительный анализ трех алгоритмов планирования траектории движения АТС, включая алгоритм разработанный авторами, на сценариях описанных выше. Авторы сравнивают три группы участников дорожного движения: сам беспилотный автомобиль, все остальные участники дорожного движения, кроме АТС, и уязвимые участники дорожного движения.

Сравнение с другими алгоритмами проводилось на основании следующих показателей:

1. Риски, возникающие в результате различных подходов к планированию.

Уровень риска - это произведение вероятности столкновения и предполагаемого вреда от этого столкновения. Вероятность столкновения вычисляется с помощью нейросетевой модели, а оценка предполагаемого вреда основывается на массе, скорости, учитывая различие между защищенными и незащищенными участниками дорожного движения.

Чтобы назначать значение риска для каждого участника дорожного движения в зависимости от планируемой траектории движения АТС используется формула:

*“In our work, we adopt the definition of risk as an expected value. Accordingly, risk is defined as the product of a probability that a certain event will occur and a measure of the consequences of that event”*

2. Ущерб в смоделированных несчастных случаях.

Ущерб рассчитывается на основании массы и скорости столкнувшихся объектов, а также угла и площади удара по формуле (1) выше.

Ущербы во всех смоделированных несчастных случаях суммируются и получается суммарный ущерб для соответствующих групп участников дорожного движения, по которому и производится дальнейшее сравнение алгоритмов.

*“Other impact factors that we consider are the mass of both colliding parties, the angle of impact, and the impact area.”*

Новый алгоритм продемонстрировал хорошие результаты как по показателю риска, так и по показателю суммарного ущерба, что позволяет авторам сделать правомерные выводы по итогам эксперимента.

#### **4.4. Правомерность выводов по итогам эксперимента**

Проведенный анализ показывает, что учет рисков при планировании траектории способствует снижению общего риска для всех участников дорожного движения. Сравнивая эгоистический алгоритм с предложенным нами этическим подходом, мы наблюдаем те же риски для АТС, что и при использовании эгоистического алгоритма. Однако, в то же время, риски для сторонних участников дорожного движения, и особенно для уязвимых, значительно ниже. Оценка ущерба в смоделированных несчастных случаях

показывает, что расчетный вред для этических и эгоистичных алгоритмов аналогичен.

Эксперимент проводится с использованием сценариев, охватывающих большое количество как реальных дорожных условий, так и созданных вручную экстремальных ситуаций, что позволяет рассмотреть большинство возможных исходов. Статистические данные относительно других алгоритмов занимают выигрышную позицию, из чего можно сделать вывод, что эксперимент является всеобъемлющим и подтверждает правомерность заключения о том, что он является эффективным для справедливого распределения рисков между участниками дорожного движения. Из этого следует, что приведенный авторами алгоритм будет полезен в области беспилотных транспортных средств, робототехники и других направлениях.

## **5. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫВОДОВ**

Чтобы оценить результативность исследования и охарактеризовать сделанные выводы необходимо провести сравнение достигнутых результатов с поставленными целями.

### **5.1. Сравнение достигнутых результатов с поставленными целями и задачами и степень раскрытия результатов**

Итогом работы авторов стал разработанный этический алгоритм для планирования траектории АТС. Справедливость распределения риска была подтверждена эмпирически в разделе “Результаты (ориг. Results)” - этический алгоритм способствует снижению общего риска для всех участников дорожного движения при планировании траектории в сравнении с эгоистичным и стандартным. Таким образом, поставленная цель была достигнута.

Результат поставленной цели в статье раскрыт подробно в разделе “Обсуждение (ориг. Discussion)”. Авторы пришли к выводу, что они обеспечивают основу для этического планирования траектории с помощью разработанного алгоритма, который позволяет правильно представить сложную среду беспилотных транспортных средств. Принятые ими этические принципы обеспечивают прозрачность принятия решений и в будущем они также могут представлять интерес для других приложений ИИ.

Авторы статьи поставили перед собой ряд задач:

1. Генерация всех траекторий движения АТС с этически нейтральными расчетами значений риска и присвоением их для каждой траектории.

В разделе “Расчеты Риска (ориг. Risk Calculation)” авторы сгенерировали все траектории движения АТС с помощью нейросетевой модели. Для каждой траектории авторы рассчитали этически-нейтральные значения риска по выведенным математическим формулам. Таким образом, первая задача была выполнена.

Результат поставленной задачи в статье не раскрыт. Приведено только описание решения задачи, а выводы по проведенному решению отсутствуют.

2. Выбор набора траекторий, обеспечивающих минимальный возможный риск.

В разделе “Максимально Допустимый Риск (ориг. Maximum Acceptable Risk)” авторы ввели понятие максимально допустимого риска, который определяет, какая траектория разрешена, а какая - только при отсутствии других вариантов. Согласно этой концепции, авторы классифицируют траектории на четыре уровня валидности. Выбор наиболее благоприятной траектории осуществляется с самого высокого уровня валидности. Таким образом, вторая задача была выполнена.

Результат поставленной задачи раскрыт в статье. Авторы делают вывод, что работа с максимально допустимым риском создает, с одной стороны, более эффективные решения при условии надежной оценки риска АТС и, с другой стороны, прозрачность по отношению ко всем участникам дорожного движения, обеспечивающим функционирование АТС.

3. Расчет показателей суммарных траекторных издержек для выбранных допустимых траекторий с использованием основных этических принципов.

В разделе “Распределение рисков (ориг. Risk Distribution)” авторы рассчитали суммарные издержки для траекторий, находящихся в пределах наивысшего доступного уровня валидности. Были выделены критерии, влияющие на оценку маршрута: мобильность, безопасность и комфорт. Для расчета стоимости безопасности была использована взвешенная сумма четырех этических принципов: Байесовский, Равенства и Максимины, описанных в разделе “Принцип Байеса, Равенства и Максимины (ориг. Bayes, Equality & Maximin Principle)”, а также Принцип Ответственности из одноименного раздела (ориг. Responsibility Principle). Таким образом, третья задача была выполнена.

Результат поставленной задачи раскрыт в статье. Подробно описан каждый из принципов и его этическое влияние на расчет суммарных издержек.

4. Проведение сравнительного анализа распределения рисков между разработанным этическим алгоритмом и другими существующими методами планирования траектории.

В разделе “Результаты (ориг. Results)” авторы провели сравнительный анализ этического алгоритма с эгоистичным и стандартным алгоритмами в 2000 симуляционных сценариях. Были проанализированы риски, возникающие в результате различных подходов к планированию, а также смоделированные несчастные случаи и связанный с ними ущерб. Для наглядности анализа были приведены соответствующие графики - График Риска и График Суммарного Ущерба. Результаты показали, что разработанный алгоритм эффективнее и справедливее по сравнению с другими. Таким образом, четвертая задача была выполнена.

Результат поставленной задачи раскрыт в статье. Приведено распределение рисков и ущерба между участниками дорожного движения, на основании которых сделан вывод, что разработанное справедливое распределение рисков перекладывает риски с уязвимых участников дорожного движения на автономное транспортное средство, предоставляя уязвимым участникам дорожного движения такой же уровень защиты, как и другим участникам дорожного движения.

Подводя итог, ожидаемые результаты действительно были достигнуты. В разделе “Обсуждение (ориг. Discussion)” авторы ставят точку, кратко описывая полученный в ходе исследования алгоритм, а также обозначают направления для дальнейших исследований.

## **5.2. Направления дальнейших исследований**

Авторы предлагают для дальнейшего исследования определение наиболее оптимальных весовых коэффициентов алгоритма, поскольку разные страны, культуры или даже отдельные люди могут требовать разных этических акцентов.

*“While we provide a framework for ethical trajectory planning with our algorithm, we do not yet specify parameters such as the weighting factors of each principle or a value for the maximum acceptable risk....The definition of these parameters should be the result of a social consensus agreed upon by all road users and susceptible to future research.”*



Также авторы акцентируют внимание на том, что они оставляют в своем алгоритме возможность для модификаций, которые могут потребоваться в зависимости от различных культур или областей применения, но предлагают задуматься о возможном влиянии этических норм на предвзятость моделирования на принятие этических решений.

*“For further development, it is important to account for possible bias in the modeling, which automatically influences ethical decision-making in our approach” “However, to what extent such a cultural determination is admissible would be subject to further research”*

В алгоритме авторы оставляют возможность для принятия маневра, повышающего риски, но выполнимого в случае невозможности выполнения более безопасных траекторий. Они оставляют возможность для исследования и определения порога риска при котором маневр является допустимым при наличии более безопасной траектории.

”It enables social debate on an important question within our society: “How much risk are we as a society willing to accept in exchange for mobility?” This question goes far beyond the issue of autonomous vehicles. It is likely to arise in more and more areas where understanding of risk through modern algorithms and big data is growing”

## **6. ДОСТИГНУТЫЙ РЕЗУЛЬТАТ**

В упомянутом разделе “Обсуждение (ориг. Discussion)” авторы кратко описывают результаты своего исследования. Однако более подробно он описан в разделе “Результаты (ориг. Results)”

### **6.1. Чем именно является результат**

Результат исследования представляет собой этический алгоритм планирования траектории для автономных транспортных средств в соответствии с нормативными указаниями и рекомендациями по предотвращению аварий.

Факторы, обеспечивающие этичность алгоритма:

1. Рассмотрение ущерба без учета:
  - Суждения о том, какой физический вред более серьезный.
  - Материального ущерба.
  - Личностных характеристик, таких как возраст, пол или показатели качества жизни.
2. Учет степени защищенности участников дорожного движения - защищенные (автомобили, грузовики и т.д.), незащищенные (пешеходы, велосипедисты и т.д.)
3. Использование различных стоимостных функций в зависимости от наивысшего доступного уровня валидности траектории.
4. Перевод принципов этического распределения в математическое представление в виде суммарных траекторных издержек, объединяя такие принципы, как принцип Байеса, равенства, максимина и ответственности.
  - Использование принципа Байеса для минимизации общего риска.
  - Использование принципа равенства для равномерного распределения рисков между участниками дорожного движения, чтобы использование принципа Байеса не создавало смещения с исключительно высокими рисками для отдельных участников дорожного движения в пользу низкого общего риска.
  - Использование принципа максимина для отдельного рассмотрения вероятности столкновения и вреда.

- Использование моральной ответственности для учета справедливости и гарантии, что участники дорожного движения ведут себя ответственно.

Нормативные указания формируют:

1. Комиссия ЕС «Горизонт» - Ethics of Connected and Automated Vehicles: recommendations on road safety, privacy, fairness, explainability and responsibility.
2. Немецкий этический кодекс - The German Ethics Code for Automated and Connected Driving.
3. Экономическая комиссия Организации Объединенных Наций для Европы (ЕЭК ООН) - World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations. Framework document on automated/autonomous vehicles.
4. Этические комитеты - AI4people: Ethical guidelines for the automotive sector- fundamental requirements and practical recommendations. Пороговые значения риска неявно устанавливаются властями и государственными нормативными актами: ограничение скорости в районах или правила безопасного расстояния неявно представляют собой взвешивание приемлемого риска по сравнению с такими значениями, как транспортный поток для всех участников дорожного движения.

Важно отметить, что особенностью результата, полученного в ходе исследования, также является и его характер.

## **6.2. Характер результата**

Результат исследования носит прикладной характер, так как конечным продуктом исследования является алгоритм, готовый к использованию автономными транспортными средствами для повышения безопасности на дороге. Для подтверждения слов о безопасности алгоритма авторы проводят эксперимент, в котором четко отражены основные характеристики полученного результата.

## **6.3. Характеристики результата**

На рисунке 5 с помощью графика вида «ящик с усами» отображены риски в у.е. для каждой из трех групп участников дорожного движения ((1) сам беспилотный автомобиль (АТС), (2) все остальные участники дорожного движения, кроме АТС, и (3) уязвимые участники дорожного движения) с использованием трех типов алгоритмов - этический, эгоистический и стандартный. Данные графики, позволяют очень компактно и наглядно представлять порядковые статистики одномерного закона распределения: квартили, медиану, наблюдаемые минимальное и максимальное значение выборки, а также отображать выбросы.

На основе данных, отображенных на рисунке 5 - представленный этический алгоритм в сравнении с эгоистичным алгоритмом имеет одинаковый уровень риска для АТС около 0.015 у.е., в то время как у стандартного значение около 0.025 у.е. Риски для сторонних участников дорожного движения, в особенности для уязвимых, значительно ниже - около 0.055 у.е. для этического алгоритма, в сравнении с 0.07 у.е. для эгоистического и 0.125 у.е. для стандартного. Таким образом, использование этического алгоритма переносит риск с уязвимых транспортных средств на АТС в приемлемом для АТС масштабе.

На рисунке 6 с помощью столбчатой диаграммы отображены суммарные ущербы в у.е. для каждой из трех групп участников дорожного движения в смоделированных несчастных случаях ((1) сам беспилотный автомобиль (АТС), (2) все остальные участники дорожного движения, кроме АТС, и (3) уязвимые участники дорожного движения) с использованием трех типов алгоритмов - этический, эгоистический и стандартный.

На основе данных, отображенных на рисунке 6 - рассчитанный ущерб для этического и эгоистичного алгоритмов аналогичны. Для АТС около 9 у.е. для этического и эгоистического алгоритма и 24 у.е. для стандартного. Для сторонних участников дорожного движения около 6.5 у.е. для этического и эгоистического алгоритма и 11 у.е. для стандартного. Для уязвимых около 2 у.е. для этического и около 3 у.е. для эгоистического алгоритма, в то время как у

стандартного значение около 6 у.е. В несчастных случаях этический алгоритм обеспечивает такой же уровень безопасности, как и эгоистический алгоритм, однако он выдает более благоприятные результаты для уязвимых групп.

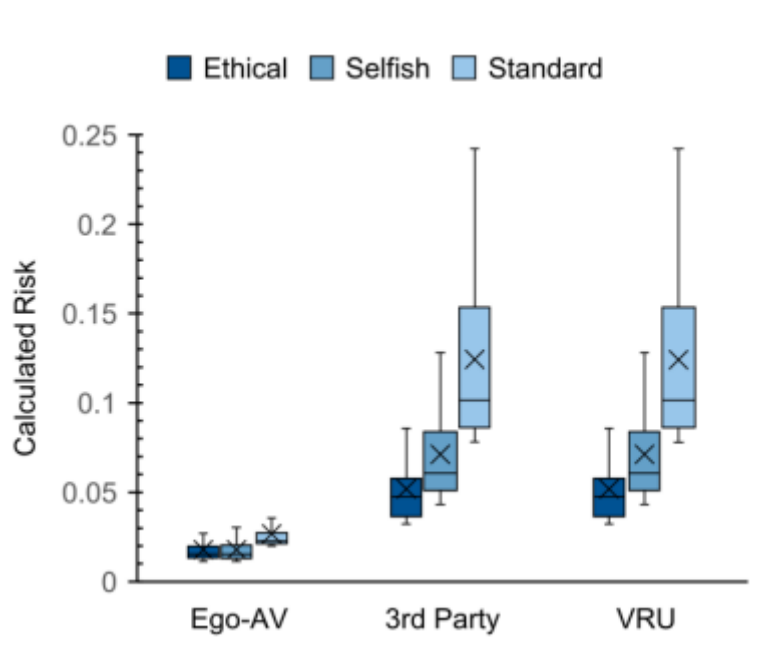


Рисунок 5 - Распределение рисков по 100 наиболее вероятным рискам.

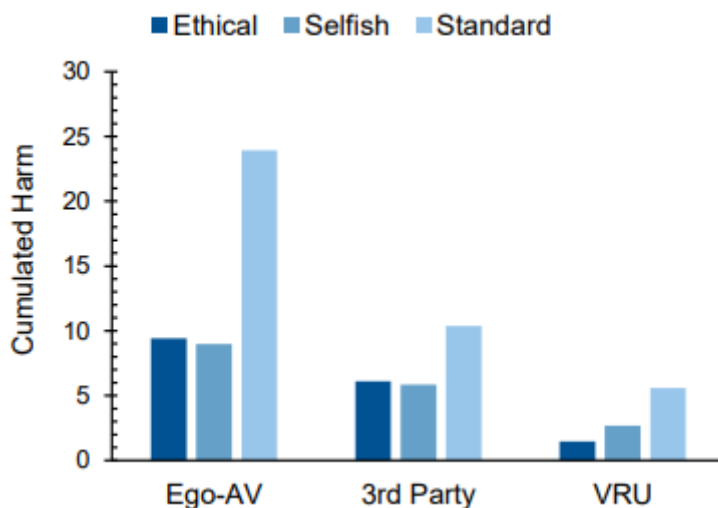


Рисунок 6 - Совокупный личный ущерб, причиненный в результате несчастных случаев в течение 2000 смоделированных сценариев.

Прежде чем познакомить читателей с данной информацией, авторы описывают условия, в рамках которой проводится компьютерная симуляция, а также подчеркивают универсальность своего алгоритма.

#### **6.4. Границы применимости результата и степень его универсальности**

Исследование охватывает широкий спектр условий в разных регионах - городские, сельские и автомобильные дороги в США, Европе и Китае, поэтому границы применимости результата зависят только от конкретных условий дорожного движения и требований к безопасности и этике. Возможность модификации и настройки весовых коэффициентов алгоритма обеспечивает его универсальность. Однако существуют и очевидные технические ограничения.

#### **6.5. Технические ограничения полученного результата**

Технические ограничения включают вычислительную сложность алгоритма, необходимость точной калибровки датчиков и ограниченность информации, которую можно передать алгоритму.

*“For ethical decision making, however, we must acknowledge the limited information that can reasonably be provided to the algorithm from a technical point of view”*

Помимо технических ограничений алгоритм также обладает рядом недостатков.

#### **6.6. Недостатки полученного решения**

В результате анализа статьи мы пришли к выводу о том, что недостатком решения может быть его сложность в реализации и необходимость дополнительной адаптации для различных сценариев дорожного движения, алгоритм не охватывает всех этических аспектов.

Для подтверждения стоит обратиться к следующим цитатам:

*“However, a particular parameter set may not apply universally. Different countries, cultures, or even individuals may demand different ethical emphases.”*

*“As Kauppinen correctly notes, the determination of moral responsibility is arbitrarily complex. There is a difference between a pedestrian running*

*into the street out of carelessness and someone being pursued and running for his life.”*

Можно заметить, что авторы комплексно подошли к анализу своего алгоритма, описали как положительные, так и негативные стороны. Но тяжело ответить на все возможные вопросы в рамках одной статьи, поэтому ряд вопросов остался не раскрытым.

## **6.7. Вопросы касательно результата**

Авторам стоит рассмотреть следующие вопросы для дальнейших исследований:

1. Расширение применимости алгоритма на различные типы транспортных средств и дорожные условия.
2. Адаптация алгоритма для учета человеческого поведения на дороге в критических ситуациях.
3. Оценка влияния алгоритма на безопасность и эффективность дорожного движения в реальных условиях, а не в симуляции.

Стоит отметить, что авторы постарались осветить важные темы в статье и сделать их понятными для читателя. Для этого могли быть использованы иллюстрации, а также ссылки на используемые литературные источники, как способ более глубокого раскрытия темы для читателя, например, когда авторы описывали используемые для моделирования сценарии CommonRoad. К счастью, качество списка литературы действительно позволяет разобраться в некоторых опущенных темах, а качество иллюстраций наглядно демонстрирует ход рассуждений.

## **7. КАЧЕСТВО СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ В СТАТЬЕ**

Авторы привели список из 39 литературных источников, используемых в данной статье. Данный перечень отличается высоким качеством и актуальностью. Он включает в себя как классические работы, такие как "A Theory of Justice" Джона Ролза 1971 года, так и современные исследования, опубликованные в ведущих научных журналах и конференциях в течение последних 15 лет

Большинство цитируемых источников представляют собой научные статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, что свидетельствует о тщательном подходе к выбору авторитетных источников. Кроме того, в списке литературы присутствуют работы, опубликованные в международных организациях, таких как Всемирная организация здравоохранения и Европейский союз, что демонстрирует широкий спектр информации, использованной авторами.

Особое внимание уделено работам, посвященным этическим аспектам автономных транспортных средств и проблемам безопасности в контексте автоматизированного управления. Это позволяет статье охватить различные аспекты темы и представить читателям обширное представление о текущем состоянии исследований в данной области.

Таким образом, использованная литература в статье отличается высоким уровнем достоверности, актуальности и разнообразия, что делает ее основой для качественного и информативного исследования.



## **8. КАЧЕСТВО ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА**

Иллюстративный материал в статье делает текст более доступным для читателей. Представлены схематические рисунки, которые помогают визуализировать сложные процессы и концепции, описанные в статье. Такие рисунки приобретают значимость, когда речь идет о технических темах, где визуальное представление может значительно улучшить понимание материала.

Особенно полезными являются графики сравнения алгоритмов, представленные в статье. Такие графики обеспечивают наглядное сопоставление различных подходов или методов, что помогает читателю лучше понять и сделать выводы об их эффективности. Они предоставляют объективные данные, которые можно анализировать и интерпретировать, основываясь на визуальной информации.

Таким образом, иллюстративный материал в данной статье не только улучшает ее визуальное оформление, но и активно содействует более глубокому пониманию представленного материала.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате исследования авторам удалось написать статью, отличающуюся высоким качеством. Она понятна, основана на надежных литературных источниках и хорошо проиллюстрирована. Эта статья написана доступным языком, что делает ее доступной для широкого круга читателей. Авторы четко объясняют концепции и терминологию, избегая чрезмерного использования технического жаргона. Структура статьи логична и хорошо организована, что облегчает следование за ходом рассуждений.

Предложенный в статье этический алгоритм планирования траектории для автономных транспортных средств представляет собой существенный вклад в область автономного вождения. Алгоритм основан на этических принципах, что гарантирует, что транспортное средство будет действовать в соответствии с человеческими ценностями.

Актуальность этой статьи обусловлена растущими опасениями по поводу этических последствий автономных транспортных средств. Этот алгоритм предоставляет потенциальное решение, позволяя транспортным средствам принимать этические решения в сложных ситуациях.

Алгоритм также полезен для разработчиков автономных транспортных средств. Он предоставляет четкую и всеобъемлющую основу для принятия этических решений, помогая им создавать транспортные средства, которые заслуживают доверия и уважения общества. Кроме того, алгоритм основан на надежных математических принципах, что гарантирует его точность и надежность.

В целом, эта статья вносит значительный вклад в область автономного вождения, предлагая этический и надежный алгоритм планирования траектории. Этот алгоритм имеет большое значение как для разработчиков транспортных средств, так и для общества в целом, обеспечивая этическую основу для будущих автономных транспортных средств.