

# DSPA:

## Вопросы применения цифровой обработки сигналов

№4

2023



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Ефимушкин В.А., Ледовских Т.В., Мухина М.Д., Чукарин А.В.</b> <b>ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК УСЛУГА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ</b>	<b>4</b>
<b>Филатов В.В., Милых В.М., Титов П.М., Рыбаков Д.В.</b> <b>АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ НА БАЗЕ СИМВОЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОЦЕССОРОВ ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ</b>	<b>12</b>
<b>Иванова Н.А., Тарасенко Е.Г., Хасан И.К.</b> <b>АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ</b>	<b>17</b>
<b>Сервица А.Д.</b> <b>СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА НОВЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ</b>	<b>22</b>
<b>Субботин Б.С., Ахметжанова Э.У.</b> <b>КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА</b>	<b>27</b>
<b>Сервица А.Д.</b> <b>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ПОВОРОТАХ ДЛЯ ДВУХКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ</b>	<b>31</b>

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК УСЛУГА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Ефимушкин Владимир Александрович,**

*директор по работе с государственными программами, доцент, к.ф.-м.н.,  
ООО «Фирма «СВЕТЕЦ», Москва, Россия,  
[v.efimushkin@svetets.ru](mailto:v.efimushkin@svetets.ru)*

**Ледовских Татьяна Владимировна,**

*директор по взаимодействию с органами государственной власти, к.ф.-м.н.,  
ООО «Фирма «СВЕТЕЦ», Москва, Россия,  
[t.ledovskikh@svetets.ru](mailto:t.ledovskikh@svetets.ru)*

**Мухина Мария Дмитриевна,**

*первый заместитель генерального директора,  
ФГАУ «Федеральный центр прикладного развития искусственного интеллекта», Москва, Россия,  
[m.mukhina@aigov.ru](mailto:m.mukhina@aigov.ru)*

**Чукарин Андрей Валерьевич,**

*директор департамента нормативного и методического обеспечения, к.фарм.н.,  
ФГАУ «Федеральный центр прикладного развития искусственного интеллекта», Москва, Россия,  
[a.chukarin@aigov.ru](mailto:a.chukarin@aigov.ru)*

### **Аннотация**

*В современном быстро меняющемся мире искусственный интеллект (ИИ) как услуга (Artificial Intelligence-as-a-Service, AIaaS) – это не просто дополнительная опция; он стал бизнес-императивом. Способность использовать потенциал ИИ для автоматизации процессов, получения аналитической информации и стимулирования принятия решений может стать решающим фактором между быстрым развитием или просто выживанием в эпоху цифровых технологий. В эпоху цифровых перемен вопрос не в том, могут ли компании позволить себе внедрение ИИ, а в том, могут ли они позволить себе не делать этого. Внедрение AIaaS – это решающий шаг на пути к тому, чтобы оставаться конкурентоспособными, инновационными и актуальными в современном мире, управляемом данными, особенно в промышленности.*

**Ключевые слова:** *искусственный интеллект, искусственный интеллект как услуга, ИИ, AIaaS, ИИ-решение, ИИ в промышленности.*

### **Введение**

По прогнозам экспертов Bloomberg мировой рынок ИИ-решений в 2023-2030 годах вырастет с 196,6 млрд до 1,8 трлн долл. со среднегодовым темпом роста 37% [1]. Согласно оценке экспертов, McKinsey общий экономический потенциал внедрения ИИ в разных отраслях составляет до 17,1-25,6 трлн долл. Прирост будет обеспечиваться за счет увеличения продуктивности бизнеса благодаря автоматизации рабочих процессов, роста производительности труда и повышения спроса на продукты с технологией ИИ вместе с ростом качества этих продуктов. Такой эффект будет возможен в том числе за счет снижения стоимости внедрения моделей ИИ в деятельность организаций, а также повышения доступности данных для обучения таких моделей [2, 3]. В производстве рынок ИИ в 2024 году достигнет 16,7 млрд долл. [4].

Одним из трендов развития ИИ является демократизация технологий ИИ – удешевление, широкое распространение и доступность ИИ-решений для пользователей и организаций, в том числе предприятий малого и среднего бизнеса, благодаря также распространению сервисов обучения Low-code/No-code, развитию свободного программного обеспечения и повышению доступности облачных сервисов [5].

ИИ как услуга – это облачная модель, которая обеспечивает доступ к возможностям и ресурсам ИИ по требованию. Это позволяет компаниям использовать возможности ИИ без необходимости значительных первоначальных инвестиций в оборудование или программное обеспечение. С помощью AIaaS организации могут использовать готовые модели и алгоритмы ИИ для решения сложных проблем, автоматизации процессов и получения ценной информации из данных. Ожидается, что ИИ как услуга займет центральное место, в том числе в промышленности. Большое внимание к развитию AIaaS подкрепляется, например, фактом подписания соглашения между Российским фондом прямых инвестиций и Университетом ИТМО о сотрудничестве для создания, развития и продвижения международной Платформы услуг и сервисов на базе искусственного интеллекта (AIaaS) [6].

Сегодня основными участниками рынка AIaaS являются компании Alphabet Inc, Alibaba, Amazon Web Services, Inc., CognitiveScale, Inc., Baidu, Craft.AI, IBM Corporation, DATAIKU SAS, Intel Corporation, Oracle Corporation, Microsoft Corporation, Salesforce.com Inc. и SAP SE.

### **Искусственный интеллект как услуга**

AIaaS можно определить, как предложение возможностей ИИ через облачные сервисы. AIaaS предоставляет доступ к передовым инструментам и алгоритмам ИИ, по сути, в виде арендованных услуг. Это позволяет предприятиям использовать возможности ИИ в любое время, оплачивая только те услуги, которые они используют, без необходимости значительных первоначальных инвестиций.

По данным Precedence Research объем мирового рынка услуг AIaaS в 2022 году оценивался в 6,3 млрд долл. и, как ожидается, достигнет по разным оценкам от 75 до 155,31 млрд долл. к 2032 году, а совокупный годовой темп роста (CAGR) будет расти на уровне до 37,78% с 2023 по 2032 год [7, 8].

AIaaS монетизируется в форме подписки, которая включает в себя управление, запуск и мониторинг моделей ИИ и машинного обучения, которые используются в качестве базы для предоставляемого сервиса. Например, компания, предоставляющая AIaaS для улучшения производственных процессов в промышленности, будет обеспечивать очистку данных, полученных от клиентов, подключая их к своим моделям ИИ, для мониторинга и оптимизации рабочих процессов, для создания отчетов.

Таким образом, согласно прогнозам, рынок AIaaS в ближайшие годы будет испытывать значительный рост. Движущей силой этого роста является внедрение облачных сервисов, растущая потребность в интеллектуальных бизнес-приложениях и важность больших данных и аналитики.

#### **Компоненты AIaaS**

Основные компоненты AIaaS включают в себя:

- облачные вычисления: это базовая инфраструктура, в которой размещаются сервисы ИИ. Платформы облачных вычислений предоставляют вычислительную мощность, необходимую для обучения и запуска моделей ИИ;
- хранение данных: модели ИИ требуют больших объемов данных. Поставщики услуг AIaaS предлагают решения для хранения больших объемов данных, их эффективной и безопасной обработки;
- алгоритмы ИИ: поставщики услуг AIaaS предлагают алгоритмы для различных задач ИИ, включая машинное обучение, глубокое обучение, обработку естественного языка и многое другое;
- пользовательский интерфейс: поставщики услуг AIaaS предлагают удобные интерфейсы, которые позволяют пользователям взаимодействовать с сервисами ИИ. Сюда могут входить информационные панели для управления задачами ИИ, инструменты для обучения моделей и программирования приложений, для интеграции сервисов ИИ в другие приложения.

### Преимущества AIaaS

AIaaS предлагает многочисленные преимущества компаниям, стремящимся интегрировать ИИ в свою деятельность. Некоторые из ключевых преимуществ включают следующие [9]:

- экономическая эффективность: AIaaS позволяет предприятиям использовать сложные возможности ИИ без значительных инвестиций, устраняя необходимость первоначальных инвестиций в дорогостоящее оборудование и программное обеспечение, во инфраструктуру и специализированный персонал, в создание, тестирование и внедрение ИИ-решения с нуля. Предприятия платят за то, что используют, сокращая общие расходы на технологии и повышая рентабельность инвестиций;
- масштабируемость: с помощью AIaaS предприятия могут, начиная с малого, и по мере роста знаний или изменения корпоративных задач легко масштабировать приложения ИИ в зависимости от потребностей. Они могут легко увеличивать или уменьшать ресурсы в зависимости от спроса, обеспечивая оптимальную производительность. Такая гибкость гарантирует, что предприятия смогут адаптироваться к меняющимся условиям и требованиям без перерасхода ресурсов;
- доступность: предоставляя ресурсы ИИ через облако, AIaaS позволяет предприятиям любого размера, даже с ограниченными ресурсами, использовать технологии ИИ. Подавляющее большинство компаний AIaaS предлагают комплексные продукты, для внедрения которых не требуются специальные знания, а разработчики из бизнеса, использующие AIaaS, могут при необходимости легко настроить продукт. Это устраняет барьеры, которые ранее ограничивали использование ИИ только крупными корпорациями или технологическими гигантами;
- быстрое развертывание: с помощью AIaaS предприятия могут быстро внедрять ИИ-решения без необходимости длительной разработки. Готовые модели и алгоритмы ИИ в AIaaS легко доступны, что ускоряет вывод их на рынок;
- инновации: AIaaS позволяет предприятиям использовать новейшие технологии искусственного интеллекта без необходимости разработки этих инструментов собственными силами. Это стимулирует инновации, поскольку они могут экспериментировать с различными приложениями ИИ, чтобы найти то, что лучше всего подходит для них;
- гибкость: AIaaS обеспечивает гибкость с точки зрения типов доступных возможностей ИИ и ресурсов, помогает предприятиям быстро реагировать на изменения рынка и использовать новые возможности;
- настраиваемость: многие поставщики услуг AIaaS предлагают инструменты и платформы, которые позволяют предприятиям настраивать приложения ИИ в соответствии со своими конкретными потребностями. Это гарантирует, что решения ИИ будут адаптированы к уникальным требованиям каждого бизнеса;
- доступ к экспертным знаниям: поставщики AIaaS обладают глубоким опытом в области технологий ИИ. Используя их знания и опыт, предприятия могут извлечь выгоду из передовых возможностей ИИ без необходимости глубокого погружения в предмет. Партнерские отношения с поставщиками AIaaS для обеспечения совместимости технологий позволяет промышленному предприятию повысить интеграцию, скорость и эффективность применения ИИ-решения даже при использовании только в небольшом подмножестве бизнес или производственных операций.

Таким образом, AIaaS является гибким, масштабируемым и экономически эффективным способом использования возможностей ИИ, открывающей доступ к этой технологии предприятиям любого размера и во всех отраслях.

### Формы AIaaS

Существуют различные формы AIaaS, каждая из которых имеет свои особые применения и преимущества, например:

- машинное обучение как услуга (MLaaS, Machine Learning as a Service): эта услуга предоставляет доступ к платформам и инструментам машинного обучения, позволяя пользователям обучать свои собственные алгоритмы, используя предоставленные или пользовательские данные. MLaaS также может включать предварительно обученные модели и автоматизированные инструменты машинного обучения. Примерами сервисов являются Google Cloud ML Engine, Amazon SageMaker и машинное обучение Azure;

– обработка естественного языка как услуга (NLPaaS, Natural Language Processing as a Service): этот тип услуг предлагает инструменты для понимания и создания человеческого языка. NLPaaS можно использовать в таких приложениях, как анализ настроений, чат-боты и личные помощники. Примерами являются сервис распознавания естественного языка IBM Watson и API естественного языка Google Cloud;

– компьютерное зрение как услуга: эта услуга предлагает предварительно обученные модели и инструменты для таких задач, как распознавание изображений, обнаружение объектов и других. Такие услуги предоставляют, например, Google Cloud Vision и Amazon Rekognition;

– речь как услуга: эта форма AIaaS фокусируется на распознавании речи, услугах преобразования речи в текст и текста в речь, обеспечивая голосовые пользовательские интерфейсы. Примерами служат Amazon Polly (для преобразования текста в речь) и Google Cloud (преобразования речи в текст).

К другим типам AIaaS относятся API для когнитивных вычислений – когда разработчик интерфейса прикладного программирования (API) может использовать вызовы API для внедрения ИИ в приложения, включая компьютерное зрение, картографирование знаний и NLP, создавая ценность для бизнеса из неструктурированной информации. Боты и цифровая помощь – популярная форма AIaaS, включающая автоматизированные службы электронной почты, чат-ботов и агентов цифрового обслуживания клиентов; фреймворки машинного обучения позволяют организациям создавать в AIaaS пользовательские модели для обработки данных небольшого объема [10].

#### Проблемы AIaaS

Хотя применение AIaaS дает значительные преимущества бизнесу, технологическому развитию и обществу в целом, следует учитывать возможные возникающие при этом проблемы, такие как:

– проблема конфиденциальности данных: предприятиям необходимо обеспечить безопасное управление и хранение данных, используемых в AIaaS, а также соответствие использования таких данных действующим в этой области нормативным правовым актам и нормам конфиденциальности;

– проблема безопасности: модели ИИ, алгоритмы и данные, которые они используют, должны быть защищены от вредоносных действий, связанных, в том числе, с потенциальным риском утечки данных, что может привести к значительным потерям;

– проблема интеграции: интеграция AIaaS с существующими системами и рабочими процессами может оказаться сложной задачей. Это может потребовать значительного времени, технических ноу-хау и дополнительных ресурсов;

– управление изменениями: внедрение AIaaS во многих случаях требует значительных изменений в бизнес-процессах и рабочих процессах. Эффективное управление этими изменениями имеет решающее значение для обеспечения плавного перехода и достижения желаемых результатов;

– проблема нехватки профессионалов: даже при использовании AIaaS предприятиям нужны специалисты, понимающие, как работать с ИИ. Поиск и их удержание может оказаться непростой задачей, особенно с учетом высокого спроса на эти навыки на рынке;

– предвзятость в ИИ: системы ИИ могут непреднамеренно закреплять или даже усугублять существующие необъективности при решении необходимых задач, если данные, используемые для обучения, являются некачественными;

– проблема прозрачности ИИ: системы ИИ, особенно основанные на глубоком обучении, часто рассматриваются как «черные ящики», поскольку их процессы принятия решений непрозрачны. Отсутствие прозрачности может привести к проблемам с объяснением результатов применения ИИ и, таким образом, с доверием ИИ-решению на базе AIaaS;

– проблема подотчетности и контроля: при использовании AIaaS предприятия могут не иметь полного контроля над системами ИИ, которые они используют, что поднимает вопросы ответственности при возникновении нештатных ситуаций.

#### Тенденции развития AIaaS

К трендам развития AIaaS можно отнести следующие [5, 9]:

– автоматизированное машинное обучение (Automated Machine Learning, AutoML): AutoML – это новая тенденция, при которой процесс построения моделей машинного обучения автоматизиру-

ется, что упрощает его использование неспециалистами. Платформы AutoML как часть AIaaS становятся все более распространенными, что еще больше упрощает доступ к машинному обучению;

- федеративное обучение (Federated Learning): при федеративном обучении модели ИИ обучаются на многих устройствах или серверах, содержащих локальные образцы данных без обмена самими данными. Этот подход решает проблемы конфиденциальности данных и, как ожидается, станет ключевой тенденцией в AIaaS, особенно в отраслях, где конфиденциальность данных имеет первостепенное значение;

- периферийный ИИ (Edge AI): поскольку устройства Интернета вещей становятся все более распространенными, растет интерес к запуску моделей ИИ непосредственно на этих устройствах (на «границе» сети), а не в централизованном облаке. Его основными преимуществами являются повышение скорости принятия решений умными устройствами, сокращение издержек из-за отсутствия необходимости в пересылке больших объемов данных и снижение рисков утечки данных. Кроме того, интеграция ИИ с Интернетом вещей позволит использовать данные датчиков в режиме реального времени для обнаружения аномалий, прогнозирования отказов оборудования и оптимизации производственных графиков и т.д.

Тенденции формирования ландшафта AIaaS включают также более широкое внедрение NLP, анализ и интерпретацию визуальных данных, развитие прозрачности алгоритмов ИИ и другие.

### **Применение AIaaS в промышленности**

Сегодня в Российской Федерации уделяется большое внимание развитию технологий ИИ и решений с применением ИИ в промышленности. Технологии ИИ помогают производителям существенно экономить средства, повышают контроль при производстве, существенно увеличивают эффективность. Минпромторг России концентрирует внимание на прикладном развитии технологий ИИ, и создал Федеральный центр прикладного развития искусственного интеллекта (ФЦПР ИИ), развивающего технологии и средства поддержки промышленных и иных предприятий в области ИИ. Роль ФЦПР ИИ состоит в продвижении и внедрении ИИ в промышленности. На базе ФЦПР ИИ создан Центр коллективного пользования Минпромторга России «Межведомственная платформа моделирования и применения технологий искусственного интеллекта» (ЦКП МПТ ИИ) для апробирования, тестирования и развития решений, построенных на базе применения технологий ИИ, формирования наборов данных и моделей машинного обучения [11].

Обеспечение возможностей разработки, тестирования и внедрения ИИ-решений в промышленности, поддержка на всех этапах жизненного цикла ИИ-решений являются важнейшими стратегическими задачами ЦКП МПТ ИИ.

Некоторые ключевые проблемы, с которыми сталкиваются промышленные предприятия по мере развития производства, включают следующие:

- нехватка специалистов с необходимыми навыками;
- сбои в цепочках поставок;
- задачи устойчивого развития;
- увеличение объема и сложности промышленных данных;
- технологическое развитие конкурентов.

Что касается персонала, то существует несоответствие между количеством доступных работников и навыками, необходимыми для заполнения открытых вакансий; недостаточно опыта, чтобы в полной мере использовать дополнительные возможности, предлагаемые Индустрией 4.0. Растущая сложность промышленных данных сдерживает инициативы по обеспечению устойчивости и оптимизации процессов. Требуется получать релевантные данные по сотням параметров, влияющих на производственные процессы, для обеспечения возможности их использования. Кроме того, предприятия вынуждены бороться со сбоями в цепочках поставок [12, 13].

Внедряя ИИ-решения, в том числе на базе AIaaS, производители могут решить многие проблемы, связанные с Индустрией 4.0. Решения AIaaS предоставляют средства для преобразования барьеров в возможности, обеспечивают производителям более плавный переход к промышленности завтрашнего



дня, где инновации, алгоритмическая грамотность в обработке данных и адаптивность производственных процессов станут новой нормой.

Применение решений AIaaS в промышленности требует организации совместной работы специалистов по информационным технологиям, технологических отделов, производственных специалистов и поставщика AIaaS. Заинтересованные стороны, вовлеченные в это сотрудничество, включают ИТ-менеджеров, инженеров-технологов, операторов, руководителей предприятий, топ-менеджеров и специалистов по обработке данных (в идеале, с опытом производства и инжиниринга):

- ИТ-менеджеры используют AIaaS для комплексного формирования наборов данных;
- инженеры-технологи применяют AIaaS для внедрения инноваций на базе актуальных и полных данные;
- специалисты предприятия с помощью AIaaS определяют приоритетные действия в режиме реального времени для превентивного применения в случае недостижения ключевых показателей эффективности;
- менеджеры эксплуатируют решения AIaaS в целях удовлетворения клиентов, расширения возможностей персонала, улучшения рабочих процессов и повышения рентабельности;
- технологи, специалисты по обработке данных, инженеры и специалисты по программному обеспечению обеспечивают эффективность применения решений AIaaS.

Таким образом, AIaaS объединяет все заинтересованные стороны для достижения цели цифровой трансформации промышленного предприятия на базе новых технологий. Решения AIaaS могут устранить барьеры на пути цифровой трансформации в сочетании с правильным набором технологий.

AIaaS означает постоянную и всестороннюю поддержку персонала предприятия и решений, адаптированных к индивидуальным условиям производства. В ходе совместной работы специалистов определяются конкретные требования к зрелости данных и оптимизации производственной среды. Полученные с использованием ИИ решения, предоставляемые в виде услуги AIaaS, позволяют предприятию оптимизировать на постоянной основе любой сложный многоступенчатый производственный процесс по мере его цифровой трансформации.

AIaaS также позволяет осуществлять мониторинг и измерение требуемых показателей. ИИ-решение в AIaaS оценивает показатели, которые предприятие хочет оптимизировать. К ним могут относиться качество, время безотказной работы, пропускная способность и общая эффективность оборудования. Затем специалист по ИИ использует производственные данные для выработки целевых корректировок, которые специалисты предприятия могут включить в свой план реализации. Поскольку соблюдение предписаний встроено в соглашение, предприятие и AIaaS могут отслеживать эффективность производства и данные по улучшению процессов в соответствии с согласованными контрольными показателями.

Рассмотрим далее лишь несколько примеров применения AIaaS в промышленности. Так в машиностроении проведение моделирования испытаний и прогнозирования их результатов при проектировании новых узлов и агрегатов актуально вследствие сложности и высокой стоимости процессов испытания и тестирования на реальных прототипах, что не позволяет проводить достаточное количество тестов и, как следствие, быстро вывести продукт на рынок и выявлять все «узкие места» в процессе испытаний. Там же интегрированное планирование и управление складскими остатками и цепочками поставок с помощью AIaaS актуально вследствие низкой точности планирования спроса на продукцию, загрузки производственных мощностей и прогнозирования необходимого количества сырья на складах большинства производственных предприятий при традиционном подходе к планированию. Применение ИИ-решения в системе планирования с учетом накопленных данных, сезонности, внешних факторов и т.п. позволяет эффективно выстраивать логистические цепочки и использовать складские площади.

Например, в нефтехимической и химической промышленности при планировании объемов производства, хранения, логистики необходимо учитывать множество параметров. Зачастую для минимизации простоя планирование производится с запасом, что влечет дополнительные расходы производства на логистику и хранение. Применение рекомендательных систем на базе AIaaS позволяет динамически управлять множеством параметров, такими как колебания спроса, маржинальность, издерж-

ки хранения, отвлечения средств и требования к хранению, на основе анализа которых формируются рекомендации по наиболее оптимальному планированию логистики и хранения.

В металлургии применение цифровых двойников для повышения эффективности схемы производства и режимов работы оборудования актуально в целях трудоемкого процесса совершенствования узлов производства, где необходимо учесть разнообразные параметры и факторы, провести экспериментальные запуски, а также отследить взаимосвязанность с другими этапами производства. Комбинация в AIaaS рекомендательных моделей с цифровой визуализацией схемы производства, позволяет динамически подбирать оптимизационные параметры, изменять их и проводить тестирование, в том числе, с учетом режимов работы и воздействий окружающей среды.

### Заключение

Внедрение ИИ изначально было медленным и ограничивалось в основном технологическими гигантами и крупными корпорациями, в первую очередь из-за высокой стоимости инфраструктуры, сложности систем ИИ и нехватки опыта в области ИИ. Именно здесь на сцену вышла концепция «ИИ как услуга». Переход к AIaaS был мотивирован желанием демократизировать доступ к ИИ, сделав его доступным для предприятий любого размера.

AIaaS использует облачные вычисления, предоставляя возможности ИИ в виде облачных сервисов. Эта модель устраняет необходимость значительных первоначальных инвестиций в оборудование и специалистов в области ИИ, позволяя предприятиям получать доступ к ИИ по требованию. Движущими силами этого сдвига являются демократизация технологий, экономическая эффективность, масштабируемость и желание стимулировать инновации во всех отраслях.

Ключевые вехи в развитии AIaaS включают в себя развитие облачных вычислений, усовершенствование алгоритмов ИИ и моделей машинного обучения. Внедрение API-интерфейсов для сервисов ИИ, разработка платформ ИИ с низким кодированием или без него, а также распространение решений AutoML, которые позволяют даже неспециалистам создавать модели ИИ, также знаменуют собой значительный шаг вперед.

На рынке AIaaS присутствуют несколько крупных игроков, в том числе такие технологические гиганты, как IBM с ее платформой Watson, Google с ее Google Cloud AI, Microsoft с Azure AI и Amazon с сервисами AWS AI. Эти платформы предлагают широкий спектр услуг ИИ, включая машинное обучение, распознавание речи, анализ изображений и услуги по обработке естественного языка.

Эти достижения и вклад крупных игроков привели к изменению парадигмы доступности ИИ. AIaaS не только изменил способ доступа предприятий к ИИ, но и сыграл ключевую роль в стимулировании внедрения ИИ во всех секторах, демократизируя его охват и потенциальное влияние.

В заключение следует отметить, что AIaaS принадлежит значительная роль в формировании будущего ИИ. Благодаря своей экономичности, масштабируемости и гибкости AIaaS предоставляет предприятиям возможность использовать ИИ, не обладая обширной инфраструктурой или опытом. И хотя AIaaS имеет широкий спектр применений в различных отраслях, компании сталкиваются с такими проблемами, как конфиденциальность данных, отсутствие прозрачности и нехватка навыков, преодоление которых обеспечит в полной мере использование потенциала AIaaS.

### Литература

1. Artificial Intelligence Market to Hit \$ 1,811.75 Billion by 2030: Grand View Research. Bloomberg // July 2023. [Электронный ресурс] – Режим доступа – <https://www.bloomberg.com/press-releases/2023-07-03/artificial-intelligence-market-to-hit-1-811-75-billion-by-2030-grand-view-research-inc>
2. The economic potential of generative AI: The next productivity frontier // July 2023. [Электронный ресурс] – Режим доступа – <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier>
3. Применение искусственного интеллекта на финансовом рынке. Доклад для общественных консультаций. Банк России // Ноябрь 2023, 52 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа – [https://www.cbr.ru/Content/Document/File/156061/Consultation\\_Paper\\_03112023.pdf](https://www.cbr.ru/Content/Document/File/156061/Consultation_Paper_03112023.pdf)

4. *Akhtar A.* 50 Unbeatable AI as a Service Article Insights for 2024 // [Электронный ресурс] – Режим доступа – <https://atonce.com/blog/ai-as-a-service-article>
5. Применение технологий искусственного интеллекта на финансовом рынке. Исследование Ассоциации ФинТех // ФинТех. Октябрь 2023.80 с.
6. РФПИ и ИТМО создадут международную платформу услуг и сервисов на базе искусственного интеллекта (AIaaS) // 24.11.2023. ИТМО. [Электронный ресурс] – Режим доступа – <https://news.itmo.ru/ru/science/it/news/13516/>
7. AI as a Service Market to reach \$75 Bn by 2032 // Graphical Research, 06.06.2023. [Электронный ресурс] – Режим доступа – <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2023/06/06/2683400/0/en/AI-as-a-Service-Market-to-reach-75-Bn-by-2032-Says-Graphical-Research-Powered-by-GMI.html>
8. Artificial Intelligence as A Service Market // [Электронный ресурс] – Режим доступа – <https://www.precedenceresearch.com/artificial-intelligence-as-a-service-market>
9. What is Artificial Intelligence as Service? // [Электронный ресурс] – Режим доступа – <https://contenteratechspace.com/blogs/what-is-artificial-intelligence-as-a-service/>
10. *Cuofano G.* AIaaS: The New Business Model of Artificial Intelligence as a Service // August 11, 2023. [Электронный ресурс] – Режим доступа – <https://fourweekmba.com/aiaaS/>
11. ИИ в промышленности растет по экспоненте // 11.07.2023. [Электронный ресурс] – Режим доступа – <https://aigov.ru/tpost/uaiaiolyp1-ii-v-promishlennosti-rastet-po-eksponent>
12. *Ritchie N.* AIaaS for Effective Change Management in Industry 4.0 Manufacturing // [Электронный ресурс] – Режим доступа – <https://blog.isa.org/aias-for-effective-change-management-in-industry-4.0-manufacturing>
13. *Кибанов А.Я., Дмитриева Ю.А.* Управление персоналом // конкурентоспособность выпускников вузов на рынке труда. Москва, 2011.

## **АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ НА БАЗЕ СИМВОЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОЦЕССОРОВ ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ**

**Филатов Владимир Викторович,**

*ФГБОУ ВО «ГУУ», директор Центра управления инжиниринговыми проектами, к.т.н., Москва, Россия*  
[vv\\_filatov@guu.ru](mailto:vv_filatov@guu.ru)

**Милых Валерий Михайлович,**

*ООО «Бином», Технический руководитель практики Индустрии 4.0,  
Гильдия цифровой экономики при МТПП, эксперт Экспертного совета, Москва, Россия*

**Титов Петр Михайлович,**

*ФГБОУ ВО «ГУУ», научный сотрудник Центра управления инжиниринговыми проектами, канд. экон. наук,  
АНО «НИРЦЭК», Председатель правления, Москва, Россия*

**Рыбаков Дмитрий Владимирович,**

*ФГБОУ ВО «ГУУ», научный сотрудник Центра управления инжиниринговыми проектами, Москва, Россия*

### **Аннотация**

*В настоящей статье приведен обзор технологии обработки данных на базе символьных программных процессоров для решения задач обработки потока данных при анализе изображений, являющихся актуальными для обеспечения безопасной навигации, взаимодействия и определения положения в пространстве единичных и групповых беспилотных аппаратов вне зависимости от среды их эксплуатации. Рассмотрены возможные варианты использования технологии для решения задачи ориентации в пространстве беспилотных летательных аппаратов. Поставлена проблема отсутствия общего языка программирования, применяющегося в технических системах и моделях социально-экономического прогнозирования.*

**Ключевые слова:** *Беспилотные аппараты, символьные процессоры, анализ изображений, нейронные сети, система управления, групповое взаимодействие, навигация беспилотных аппаратов, инфраструктура обеспечения применения в социально-экономической системе.*

### **Введение**

Задачи обработки потока данных в рамках анализа изображений являются актуальными для обеспечения безопасной навигации «по визуальным ориентирам» единичных беспилотных аппаратов и их групп, включая определение положения в пространстве и взаимодействие, с учетом стационарных и подвижных окружающих объектов, вне зависимости от среды эксплуатации – то есть для наземных, воздушных и водных беспилотных систем. Такие автономные подвижные объекты транспортной системы зачастую должны выполнять свои функции в сложных условиях, при которых к системе управления предъявляются особые требования по быстродействию и точности.

Для решения задач обработки потока данных при анализе изображений, как правило, требуются высокопроизводительные вычислительные мощности, обеспечивающие высокие значения разрешающей способности, цветовой гаммы, скорости регенерации кадров изображений [1]. Создание и широкое распространение высокопроизводительных традиционных графических станций затруднено ввиду их высокой стоимости, поэтому необходимы исследования альтернативных подходов в области машинной графики [2]. Кроме того, размещение высокопроизводительных вычислительных систем на основе графических процессоров на борту беспилотных аппаратов зачастую невозможно по соображениям высокого энергопотребления и массогабаритных характеристик таких систем.

Одним из решений обозначенной проблемы может стать подход, заключающийся в представлении обрабатываемых на борту беспилотного аппарата изображений в качестве набора данных с низкой степенью систематизации [3], с последующим применением технологии обработки данных на базе символьных программных процессоров, способных оперировать с большим объемом разноформатных данных с высоким быстродействием без посторонних программных модулей и без знания их структуры. Рассматриваемая технология позволяет обрабатывать изображения с высокой эффективностью и обеспечивать высокую вероятность распознавания объектов окружающей обстановки.

Следует отметить также, что решение задач безопасной навигации беспилотных систем, рассматриваемое в настоящей статье, необходимое для обеспечения развития беспилотных транспортных систем, включая, в частности, и беспилотную авиацию, требует заблаговременного создания инфраструктурных решений, что входит в компетенцию органов планирования социально-экономического развития на федеральном и региональных уровнях управления. Однако, разница в терминологии и применяемом математическом аппарате у экономистов, принципиально отличающихся от языка технологов [4], негативно влияет на осуществление проектов внедрения, развертывания, организации применения автономных беспилотных систем, инфраструктурных сетей связи, навигации, наблюдения и управления, обеспечивающих эксплуатацию таких систем и комплексов, с заданными нормативными уровнями безопасности выполнения полётов и движения комплексов, а также вероятности выполнения функциональных задач.

### Результаты исследований

Под символьным понимается такой процессор, который создан для выполнения программ манипулирования символами, используемых в интеллектуальных системах управления и принятия решений.

Одним из возможных вариантов реализации высокопроизводительной и экономически эффективной системы управления беспилотными аппаратами на базе символьных программных процессоров может являться интеллектуальная система управления на базе программной архитектуры KноDL, предложенная в работе [5] для управления электрооборудованием.

Интеллектуальная система управления имеет возможность работать с данными разного формата с должным быстродействием без посторонних программных модулей. Построение системы управления осуществляется следующим образом: отдельно вынесено управляющее ядро архитектуры, которое взаимодействует с несколькими управляемыми электромеханическими системами (далее – ЭМС) при помощи цифровых каналов связи через шину. Ядро в данной цепочке скрывает в себе алгоритмы обработки разнородной информации, которая собрана в отдельные базы данных, а также содержит основную логику работы, которая варьируется в зависимости от специфики технического задания. Ядро системы способно разворачиваться локально на вычислительных мощностях объекта.

Алгоритмы генерации гипотез и выделения метафор из потоков данных, функционирующие в ядре управляющей системы, обеспечивают высокую вероятность на автоматическую расшифровку протоколов управления бортового оборудования информационных каналов интегрированного комплекса освещения внешней обстановки.

Подобная система способна организовать совместную работу множества различных электромеханических систем, реализуя схему «предиктор-корректор», которая является безальтернативной для ряда инженерных задач [6]. Реализация данной схемы осуществляется за счет набора статистических данных, описывающих предполагаемые условия эксплуатации электрооборудования автономного объекта. Эти данные собираются в динамическую базу данных, являющуюся элементом механизма системной обработки информации. Данный механизм выступает основой интеллектуальных систем управления, позволяя им обучаться и корректно осуществлять управление в сложных условиях [7].

Технология обработки изображений на базе символьных программных процессоров действует в некотором роде аналогично описанному выше, и внедрена в основу интеллектуального модуля для интегрированного комплекса освещения внешней обстановки (ИКОВ), предназначенного для установки на подводных роботизированных платформах с тем, чтобы обеспечить решение сложных по-

исково-обследовательских задач при высокой степени автономности за счет применения интеллектуальной системы управления, определяющей необходимость адаптации к динамически изменяемой среде функционирования, с возможностью самостоятельно принимать решения в сложной и заранее неопределенной обстановке.

Работа символьного процессора (СП) в составе интегрированного комплекса освещения внешней обстановки заключается в сопоставлении входной символьной последовательности, получаемой от бортовых каналов получения информации интегрированного комплекса освещения внешней обстановки с имеющимися в наборе сценариев решениями системы принятия решения (рис. 1). Набор сценариев формируется заранее.

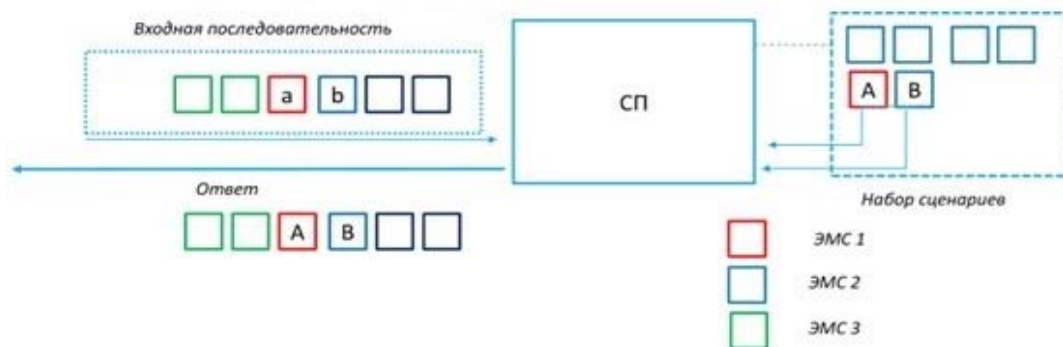


Рис. 1. Принцип работы символьного процессора

Нейронные сети в данном случае выполняют простую функцию преобразования данных, поступающих от сенсоров ИКОВ из числового в символьный вид для последующей обработки программным символьным процессором. Для функционирования таких нейронных сетей не требуются высокопроизводительные вычислительные мощности. Помимо этого, система управления обладает высокой адаптивностью [8], а оператор системы в общем случае выполняет только контрольные функции.

Для построения рассматриваемого информационного взаимодействия в интегрированном комплексе освещения внешней обстановки для того или иного объекта можно выделить ряд «слоев», по которым возможно провести оценку требований (рис. 2).

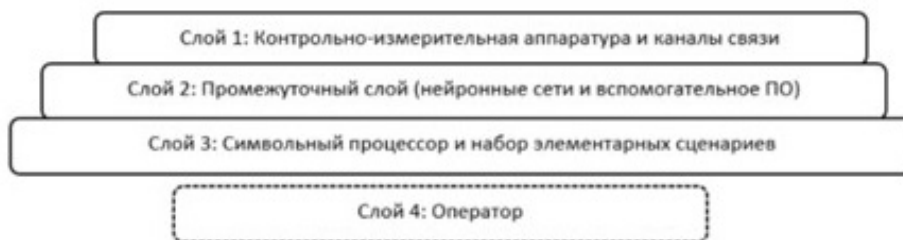


Рис. 2. Послойная схема оценки требований

На рисунке 3 в качестве примера использования технологии ориентации беспилотных аппаратов на базе символьных процессоров представлен алгоритм ориентации группы автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) посредством анализа изображения морского дна. При решении нештатной задачи одним из АНПА в составе группы и при наличии информационного обмена в группе, возможно обновление модели данных остальных аппаратов.

Еще одним вариантом использования рассматриваемой технологии является определение и использование для ориентации в беспилотного аппарата или их группы в пространстве объектов окружающей среды, например, определение формы и расположения в пространстве опор моста (рис. 4). Полученные данные позволяют определять местоположение и корректировать траекторию в данном случае беспилотного летательного аппарата.

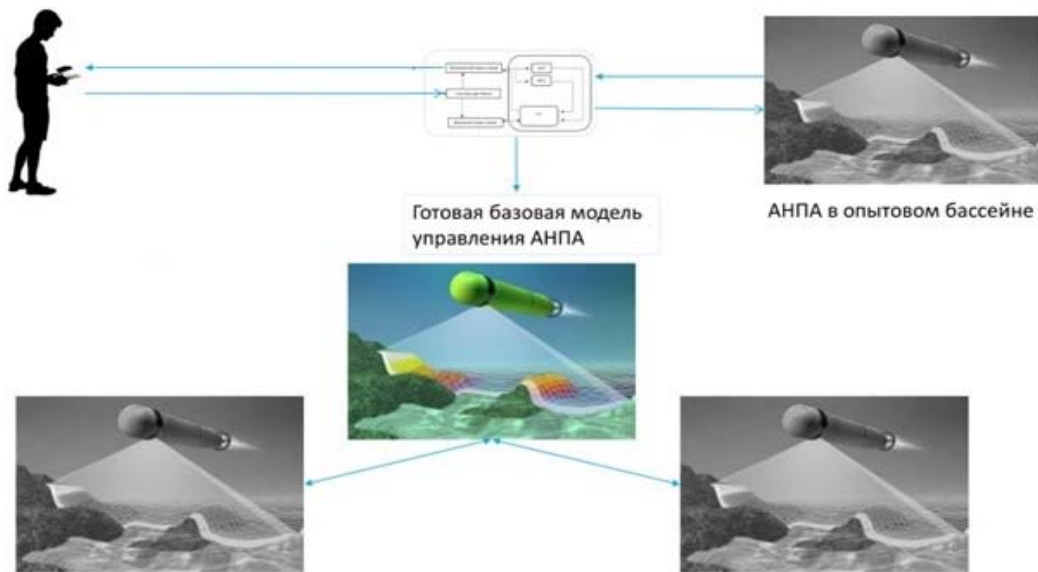


Рис. 3. Анализ изображения морского дна АНПА для его ориентации



Рис. 4. Выделение опор произвольного моста

Рассматриваемая технология позволяет также обеспечить решение проблем, возникающих при групповом применении беспилотных аппаратов и при внештатных ситуациях, требующих экстренного повышения полномочий оператора (слой 4 на рис. 2) до уровня «предиктор-корректор».

Действие беспилотных аппаратов в составе группы требует:

- 1) выдерживания геометрического порядка, и выполнения определённых ролей каждым из беспилотных аппаратов в группе;
- 2) смены порядка и ролей в группе в силу изменчивости оперативной обстановки;
- 3) воздействия на окружающую среду по сигналу или условию.

При этом воздействие на окружающую среду может быть связано с высоким риском из-за сложности оценки соответствия «интеллекта» беспилотной системы в целом фактическим условиям в зоне действия. Соответственно, оператор должен иметь возможность экстренно перехватить управление.

Экстренный перехват управления обеспечивается пониманием ближайшей ретроспективы:

- 1) изменчивости окружающей среды;
- 2) порядка управления в группе;
- 3) отчётов беспилотных аппаратов группы об исполнении команд.

Проблема решается организацией системы управления в группе как «внутреннего чата» между беспилотными аппаратами в группе, где оператор является одним из участников чата.

Символьный, человеко-читаемый протокол управления через «внутренний чат», гарантирует высокую реакцию оператора в экстренной ситуации.

Синхронизация оперативных действий также нужна для внутри- и межведомственного взаимодействия в том числе при чрезвычайных ситуациях, что позволяет утверждать, что рассматриваемая технология и архитектура интеллектуального управления позволит обеспечить единообразие подхода к управлению взаимодействием беспилотных аппаратов, как технических объектов, управлению человеко-машинным взаимодействием, и к управлению взаимодействием в социально-экономических системах.

*Данная статья подготовлена в рамках выполнения 1-го этапа научно-исследовательской работы, реализуемой за счет средств федерального бюджета (источник финансирования – Минобрнауки РФ) по теме: «Разработка и обоснование подходов к планированию и осуществлению внедрения, развертывания, и организации применения автономных беспилотных систем, робототехнических комплексов, и инфраструктурных сетей связи, навигации, наблюдения и управления, обеспечивающих эксплуатацию таких систем и комплексов, с заданными нормативными уровнями безопасности выполнения полётов и движения комплексов, и вероятности выполнения функциональных задач» (шифр научной темы, присвоенный Минобрнауки РФ FZNW-2023-0067).*

### Заключение

Рассмотренная в статье технология обработки потоков данных в рамках анализа изображений на базе символьных программных процессоров позволяет обрабатывать изображения на предмет выявления сходных/заданных объектов в произвольном пространстве значений и их последующей классификации. Данная технология может быть использована для решения задач обеспечения для ориентации, визуальной навигации, и управления движением беспилотных систем, включая обеспечение возможности определения взаимного положения в пространстве единичных беспилотных аппаратов, а также их групп, и стационарных и подвижных объектов окружающей среды - вне зависимости от того, в какой среде эксплуатируется беспилотная система.

Преимуществами использования технологии на основе символьных программных процессоров для ориентации в пространстве и построении навигационных маршрутов беспилотных аппаратов является высокая адаптивность и производительность, сравнительно низкая потребность в вычислительных мощностях, а также возможность информационного обмена группы аппаратов, взаимодействующих между собой.

### Литература

1. Айдинян А.Р. Аппаратные средства вычислительной техники. М.: Директ-Медиа, 2016. 125 с.
2. Костюк А.И., Пуховский В.Н., Горбунов А.В., Коробейникова Н.М. Проблемы оценки эффективности распределенных и многопроцессорных систем различных классов для задач обработки изображений // ИВД: сетевой журн. 2019. №5 (56). URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5923> (дата обращения: 25.11.2023).
3. Милых В.М., Степанов С.В. Статистическое моделирование и «Интернет вещей» — воспоминание о будущем // Control Engineering Россия: сетевой журн. 2014. № 5 (53). URL: <https://controleng.ru/progr ammye-sredstva/statisticheskoe-modelirovanie> (дата обращения: 25.11.2023).
4. Полтерович В.М. Кризис экономической теории // Экономическая наука современной России. М.: ВИНТИ РАН. 1998. № 1.
5. Кутков В.Д., Станкевич И.В. Интеллектуализация систем управления электрооборудования автономных объектов на базе программной архитектуры KpoDL // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика, тезисы докладов Двадцать восьмой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. Москва, 2022. С. 321.
6. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 373 с. ISBN 978-5-383-00918-5. ЭБС "Консультант студента": URL: <https://prior.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009185.html> (дата обращения: 25.11.2023).
7. Васильев В.И., Ильясов Г.И. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учеб. пособие для студентов вузов. М.: Радиотехника, 2009. 387 с.
8. Сорокин В.Е. Структурно-лингвистические, алгоритмические и аппаратные средства акселерации символьной машины баз данных: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05 Курск, 2005 212 с. РГБ ОД, 61:06-5/665.



## АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

**Иванова Нионила Артуровна,**

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, доцент,  
к.э.н., Москва, Россия*

**Тарасенко Елизавета Геннадиевна,**

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия  
[lzvetochka8@gmail.com](mailto:lzvetochka8@gmail.com)*

**Хасан Исра Камаладиновна,**

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия  
[esrakamal0@yandex.ru](mailto:esrakamal0@yandex.ru)*

### **Аннотация**

*На данном этапе развития присутствует значительный интерес к процессу цифровизации, которая уже затронула все направления экономики и претендует стать «базовой тенденцией экономического развития в мире». Были рассмотрены вопросы развития транспортных систем в условиях цифровой трансформации. По результатам было обращено внимание на проблемных моментах внедрения цифровизации для транспортной отрасли, перспективы и прорывы, что обеспечат эффективную инновационную экономику России.*

**Ключевые слова:** *транспорт, автомобильный транспорт, цифровизация, преобразования, цифровая трансформация.*

### **Введение**

Цифровая трансформация – центральный предмет обсуждения развития и механизмов его обеспечения в экономике. Этому посвящен ряд мероприятий в области национальной безопасности и повышения эффективности на транспорте: форумы и конференции различного уровня, Правительственная неделя Министерства обороны РФ – 2021, Транспортная неделя 2020, 2021, 2022 гг. [7, 9].

Кроме того, были разработаны и активно реализованы нормативно-правовые акты: Национальная программа «Цифровая экономика», Дорожная карта по развитию «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии», Федеральный проект «Цифровые технологии» [1, 2, 4].

Не установилось единого определения понятия «цифровая трансформация», но его основой является «цифровизация», которая «сращивает физическую, информационную и социальную среду, формируя новые психологические, физиологические, социальные и культурные реалии»; подразумевает ведение экономической деятельности посредством использования цифровых технологий [11-20].

### **Результаты исследований**

Цифровая трансформация определяет достижения Российской Федерации в области транспорта и их показатели. В соответствии с пилотной государственной программой Российской Федерации «Развитие транспортной системы» уже были модернизированы некоторые направления транспортной отрасли [3].

Помимо этого, по результатам федерального проекта «Безопасность дорожного движения» 2021 г. обеспечилось функционирование автоматизированной информационной системы тахографического контроля в целях соблюдения водителями транспортных средств режима труда и отдыха.; ввелись в эксплуатацию объекты транспортно-логистической инфраструктуры первого пускового комплекса транспортно-логистического центра «Белый Раст», расположенного в Московской области, мощность этих объектов составила 2,2 млн. тонн в год; с октября 2021 г. заработал электронный кабинет перевозчика – это первый шаг к переводу в цифровой формат документооборота при осуществлении автомобильных перевозок; с 2022 г. внедряется электронная транспортная накладная, а с 2023 – электронные путевые листы для пассажирских и грузовых перевозок.

Проект «Безопасные дороги способствовал работам по созданию интеллектуальной транспортной инфраструктуры (ИТС) в России [6]. Большую часть в этом направлении отведено Государственной компании «Автодор» (ГК «Автодор», которая занимается развитием системы платных автомагистралей. ГК «Автодор» разработала и приняла ряд стандартов по созданию и эксплуатации ИТС на автодорогах компании, осуществляется их оснащение современными ИТС [8].

Касательно городских ИТС, активное место принадлежит Москве, где создана наиболее полная по набору сервисов, техническому оснащению и решаемым задачам ИТС. Ведутся работы по развитию ИТС Казани. Несмотря на это, темпы развития ИТС России не закрывают потребности экономики и населения, поскольку характеризуются небольшой ролью государства в развитии ИТС, недостаточно сформированным стратегическим видением развития ИТС и их интеграции, несовершенством механизмов создания ИТС.

31 мая 2021 г. было опубликовано Распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации от 31 мая 2021 г. № ВС-105-р «Об утверждении Программы цифровизации в сфере дорожного хозяйства в Российской Федерации» [10], которая включает 6 ключевых проектов:

1. Беспилотники для пассажиров и грузов. Предполагает создание интеллектуально-безопасной инфраструктуры для беспилотных летательных аппаратов на всех видах транспорта по всей стране, которая обеспечит использование беспилотников для коммерческих и пассажирских перевозок.

2. «Зеленый цифровой коридор пассажира». Министерство транспорта считает, что реализация такой инициативы должна предоставить возможность любой поездки без бумажных документов и без наличных денег с учетом льгот и реального трафика.

3. Бесшовная грузовая логистика. Этот законопроект подразумевает ускорение перевозок, снижение транспортных расходов, многократное увеличение доходов бюджета Российской Федерации и различных транспортных компаний.

4. Цифровое управление транспортной системой РФ. Этот проект создан для того, чтобы увеличить безопасность и эффективность транспортного комплекса.

5. Цифровизация транспортной безопасности. Цель – повышение информационной безопасности транспортной системы, чтобы предотвратить утечки данных пассажиров.

6. Цифровые двойники объектов транспортной инфраструктуры. Подразумевает мониторинг за состоянием объектов транспортной инфраструктуры. С этой целью планируется создание 3D-модели всех объектов, системы их содержания с применением BIM-технологий (Building information modeling) и системы планирования строительства.

Эти проекты создавались под влиянием прогнозирования спроса на цифровые технологии в отрасли, который предположительно достигнет 626,6 млрд руб. к 2030 г. [5]. В процессе цифровой трансформации транспорта важно сформировать необходимые для этой отрасли элементы структуры – экосистемы цифровых транспортных коридоров (ЭС ЦТК), экосистемы мультимодальных транспортных узлов. И в этом вопросе для России нецелесообразно принимать решения по отдельным составным элементам транспортной системы, гораздо разумнее рассматривать ее в целом.

На данный момент уже были созданы:

- цифровые транспортные платформы;
- экосистемы цифровых транспортных коридоров.

При их создании все еще используется принцип сохранения иерархии, что ограничивает гибкость цифровых новообразований и требует больших ресурсных затрат, провоцируя технологические и иные риски.

Воплощение в реальность проектов «Программы цифровизации в сфере дорожного хозяйства в Российской Федерации» позволит достигнуть модернизации транспортной системы и ее развития. Согласно Корректировки Плана деятельности Министерства транспорта РФ на 2019-2024 гг. [4] показатель качества транспортной инфраструктуры вырастет на 15,5% в 2024 г. по сравнению с 2017 г., а экспорт транспортных услуг будет равен 20,5 млрд долл., что превысит показатели 2020 г. на 75,2%.

И хоть российская экономика сегодня акцентирует внимание на цифровой трансформации, что обуславливает новое качественное экономическое содержание, однако перед транспортной системой России стоит ряд ключевых вызовов, которые необходимо решить для дальнейшего развития (табл. 1).

Таблица 1

**Ключевые проблемные аспекты развития транспортного сектора России**

Вызовы	Проблемы структуры цифровых решений и IT-систем транспортной отрасли
Достаточно низкий уровень реализации транзитного потенциала России (14–20%)	Отсутствие стратегии развития инновационных видов транспорта (в том числе беспилотных транспортных средств): подлежит обсуждению
Невысокий уровень привлекательности отечественных транспортных коридоров (изначально – по причине существенно превышающей принятой в передовой мировой практике транзакционной нагрузки, в том числе избыточности документов на бумажных носителях, контрольно-надзорных процедур, посредников)	Отсутствие интегрированного цифрового решения для осуществления электронного документооборота при грузовых перевозках (в том числе международных), то есть:  - системы сквозного обмена электронными транспортными документами на страновом и международном уровнях;  - экосистемы цифровых транспортных коридоров Евразийского Экономического Союза - ЕАЭС (только разработана концепция)
Отсутствие возможности оперативного управления транспортным комплексом из единого центра в зависимости от ситуации	Отсутствие цифрового инструмента контроля всей транспортной системы РФ из единого федерального центра – ситуационно-информационного центра Минтранса РФ и системы моделирования транспортных потоков с применением технологий искусственного интеллекта «Big Data»
Низкий уровень информативности и координированности действий органов власти различных уровней, субъектов транспортной деятельности по вопросам обеспечения безопасности на транспорте (в том числе транспортной безопасности и кибербезопасности)	Отсутствие единого решения для обеспечения информационной безопасности на транспорте – единой защищенной цифровой среды оперативного взаимодействия субъектов транспортного и сопутствующих процессов
Отсутствие возможности мониторинга состояния объектов транспортной инфраструктуры на всех этапах жизненного цикла	Отсутствие инструмента цифрового прогнозирования, контроля состояния объектов транспортной инфраструктуры (созданных и создающихся) и предиктивной аналитики необходимости обслуживания и ремонта обозначенных объектов и др.

## Заключение

В целом нужно отметить, что решения в области повышения экономической безопасности, особенно на транспорте, требуют практических мероприятий. В России таким решением стала цифровая трансформация. Уже были значительные разработки, которые затрагивают отдельные аспекты транспортной системы, однако в этом вопросе еще есть ряд проблем, которые необходимо рассмотреть, а также применить сбалансированный комплексный подход для того, чтобы создать единый экономико-организационный и инфокоммуникационный транспортный узел с использованием современных «умных» технологий. Для высоких достижений нужно обеспечить синхронность развития технологий цифровой и транспортной систем в совокупности, что будут способствовать гармоничному функционированию транспортного комплекса и ориентации на удовлетворение «интеллектуальных» потребностей субъектов в будущих периодах.

## Литература

1. Ведомственная целевая программа Министерства транспорта Российской Федерации «Цифровая платформа транспортного комплекса Российской Федерации» – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/10143> (дата обращения: 08.04.2023)
2. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Нейротехнологии и искусственный интеллект» – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://digital.gov.ru/ru/documents/6658/?utm\\_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f](https://digital.gov.ru/ru/documents/6658/?utm_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f) (дата обращения: 08.04.2023)
3. Годовой отчет о ходе реализации пилотной государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы» и об оценке ее эффективности в 2020 году – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/documents/11/11230> (дата обращения 14.04.2023)
4. Корректировка Плана деятельности Министерства транспорта Российской Федерации на 2019–2024 годы, утвержденная Министром транспорта Российской Федерации В.Г. Савельевым 30 декабря 2020 года – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11118?type> (дата обращения: 08.04.2023)
5. Обзор: ИТ в транспортной отрасли 2021 – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.cnews.ru/reviews/it\\_v\\_transportnoj\\_otrasli\\_2021/articles/rynok\\_tsifrovizatsii\\_transporta\\_i](https://www.cnews.ru/reviews/it_v_transportnoj_otrasli_2021/articles/rynok_tsifrovizatsii_transporta_i) (дата обращения: 09.04.2023)
6. Паспорт национального проекта «Национальный проект «Безопасные качественные дороги»» - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11524> (дата обращения: 14.04.2023)
7. Совет ЕЭК утвердил перечень сервисов для формирования экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.alt.ru/ts\\_news/77900/#](https://www.alt.ru/ts_news/77900/#) (дата обращения: 08.04.2023)
8. Стандарты государственной компании «Автодор» - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://russianhighways.ru/about/regulatory-information/standards\\_gk/](https://russianhighways.ru/about/regulatory-information/standards_gk/) (дата обращения: 14.04.2023)
9. Транспортная неделя – 2022 – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://2022.transweek.digital/ru/> (дата обращения: 08.04.2023)
10. Цифровая трансформация транспортного комплекса – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/activities/297/documents> (дата обращения: 08.04.2023)
11. Карелина Е.А. Современное состояние социально-экономического развития Китайской народной республики // Экономика и предпринимательство. 2015. № 4-1 (57). С. 119-128.
12. Карелина Е.А. Особенности внешнеэкономических связей России с Китаем // Экономические науки. 2015. № 122. С. 127-130.
13. Pazukhina E., Andreeva M., Spiridonova E., Bobkova P., Shikhaleva A., El-Taravi Y., Rumyantsev M., Gamirova A., Bairashevskaya A., Petrova P., Baimukhambetova D., Pikuza M., Abdeeva E., Filippova Y., Deunezhewa S., Nekliudov N., Bugaeva P., DunnGalvin A., Bondarenko E., Korsunskiy A.A. et al. Prevalence and risk factors of post-covid-19 condition in adults and children at 6 and 12 months after hospital discharge: a prospective, cohort study in moscow (stopcovid) // BMC Medicine. 2022. Т. 20. № 1. С. 244.
14. Карелина М.Ю., Филатов В.В. Научное обоснование схемы общей модульной компоновки с симметричной посадкой для глиссирующих амфибийных машин малого класса // Грузовик. 2019. № 8. С. 3-9.
15. Карелина М.Ю., Филатов В.В. Комбинированный привод гибридного транспортного средства // Грузовик. 2019. № 5. С. 15-18.

16. *Михайлов О.В.* Основы мировой конкурентоспособности // Сер. Интеллектуальное богатство России. Москва, 1999.
17. *Ивантер В.В., Кузык Б.Н.* Будущее России: инерционное развитие или инновационный прорыв? Монография. Москва, 2005.
18. *Кибанов А.Я., Дмитриева Ю.А.* Управление персоналом // конкурентоспособность выпускников вузов на рынке труда. Москва, 2011.
19. *Криворотов В.В., Калина А.В., Эриашвили Н.Д.* Экономическая безопасность государства и регионов // Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Экономика", по научной специальности 08.005 "Экономика и управление народным хозяйством". Москва, 2015.
20. *Поляков В.В., Щенин Р.К., Адно Ю.Л., Аникин Б.А., Аникин О.Б., Антонов В.А., Атурин В.В., Варнавский В.Г., Воронина Н.В., Гельвановский М.И., Гребеничиков Э.С., Елизаров В.Г., Иванова Н.И., Кириллов В.Н., Кудинова О.Н., Кузнецов А.В., Логинов Б.Б., Михайлов О.В., Могилевкин И.М., Нестеренко Ю.Н.* и др. Мировая экономика и международный бизнес. Учебник для студентов высших учебных заведений (Пятое издание, стереотипное). Москва, 2008.

## СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА НОВЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

Сервица Александр Дмитриевич,  
МАДИ, Москва, Россия  
[aservitsa@mail.ru](mailto:aservitsa@mail.ru)

### Аннотация

*В данной статье представлен обзор последних исследований и технического прогресса в области электродвигателей и электрических силовых агрегатов для транспортных средств, работающих на новых источниках энергии. Кроме того, демонстрируются плюсы и минусы различных стратегий и алгоритмов управления. Различные электрические силовые агрегаты, гибридные силовые агрегаты, также подробно описаны электрические системы с увеличенным запасом хода, описаны их преимущества и недостатки.*

**Ключевые слова:** *тяговые двигатели, асинхронные двигатели, двигатели с постоянными магнитами, реактивные двигатели, двигатель постоянного тока с постоянными магнитами, синхронный двигатель с постоянными магнитами, бесщеточный двигатель постоянного тока с постоянными магнитами, двигатель с гибридным возбуждением с постоянными магнитами.*

### Введение

С процветающей экономикой спрос на автомобили увеличился. Однако транспортные средства, работающие на топливе, выделяют углекислый газ и оксид азота, вызывая парниковый эффект на климат и токсическое воздействие на здоровье человека [1]. Более того, большой объем потребления дизельного топлива стал причиной глобального энергетического кризиса. Согласно статистическим данным, прирост двух третей потребления нефти приходится на транспортные отрасли, что крайне неблагоприятно для устойчивого развития человеческого общества [2]. В соответствии с глобальными целями по сокращению выбросов в Парижском соглашении по климату автомобили на новых источниках энергии (NEV) стали важным направлением развития автомобильной промышленности

По сравнению с промышленными двигателями тяговые двигатели NEV должны быть адаптированы к суровым условиям эксплуатации. Их режимы работы часто переключаются между моторным и генераторным. Частые пуски и остановки, высокая скорость разгона/торможения, высокий крутящий момент на низкой скорости и высокая мощность при быстром наборе высоты автомобиля, высокая удельная мощность, большая высокоэффективная рабочая зона, низкий уровень вибрации и шума, высокая надежность и высокая производительность, ценовые соотношения необходимы автомобильной промышленности [3-4, 13-22]. Тяговые двигатели и электронные контроллеры мощности двигателя являются основными частями для преобразования электромеханической энергии в NEV.

Системы электрической трансмиссии, интегрированные в шестерни, сцепление и другие механические компоненты с тяговыми двигателями и контроллерами двигателей, также являются неотъемлемой частью системы NEV. Конструкция транспортного средства и двигательная установка значительно упрощены в электронной трансмиссии, топология которой сильно влияет на производительность NEV [5].

Таким образом, требования к системам электропривода в NEV в основном включают следующие аспекты:

- высокая плотность крутящего момента и хорошая способность управления крутящим моментом для динамических характеристик автомобиля;
- надежность и долговечность для требуемой безопасности и срока службы транспортного средства;
- высокая эффективность в рабочем диапазоне [6] и высокое соотношение производительности и стоимости для экономии энергии и капитальных вложений пользователей.

Обобщены технологии тяговых двигателей, их силовых электронных регуляторов и электрических силовых агрегатов. Обсуждаются преимущества и недостатки существующих технологий, их перспективы и развитие, а также ссылки для исследователей и инженеров в области систем трансмиссии NEV.

### **Классификация и характеристики тягового двигателя NEV**

Тяговые двигатели в NEV в основном включают двигатели постоянного тока (DCM), асинхронные двигатели (IM), двигатели с постоянными магнитами (PMM) и реактивные двигатели (SRM). Среди них PMM делится на двигатель постоянного тока с постоянными магнитами (PMDCM), синхронный двигатель с постоянными магнитами (PMSM), бесщеточный двигатель постоянного тока с постоянными магнитами (PM-BLDCM) и двигатель с гибридным возбуждением с постоянными магнитами (PM-HEM) [7-8]. Для уменьшения зависимости от материалов PM на транспортных средствах также устанавливается синхронный двигатель возбуждения.

#### *Двигатель постоянного тока*

DCM используется в качестве тягового двигателя в электромобилях (EV) с конца девятнадцатого века из-за его простого регулирования скорости. Однако низкий КПД, большая масса и низкая надежность из-за щеток и коммутаторов делают DCM более непригодными для высокоскоростных NEV. Они используются только в низкоскоростных электромобилях, таких как тележки для логистических грузов, перемещающихся внутри заводов, и маршрутные автобусы в живописных местах.

### **Реактивный двигатель с переключателем**

Статор и ротор SRM состоят из ламинатов из кремнистой стали, и в них используется конструкция с выступающими полюсами. На роторе отсутствуют обмотки, контактные кольца или ПМ, а на статоре установлены только простые сосредоточенные обмотки. Конструкция ротора обеспечивает простую, надежную, недорогую и высокоскоростную работу SRM. Кроме того, надежная топологическая структура его инвертора предотвращает короткое замыкание [9]. Высокая эффективность и простота управления являются преимуществами SRM. Однако колебания крутящего момента, шум и вибрация серьезно препятствуют его применению в NEV.

#### *Асинхронный двигатель*

IM с короткозамкнутым ротором широко используются в NEV. Их статор и ротор состоят из ламинированных листов кремнистой стали, а трехфазные обмотки вставлены внутрь пакета пластин статора и алюминиевых или медных стержней в пазах ротора с кольцами на обоих концах. АД характеризуются простой и прочной конструкцией, низкой стоимостью, высокой надежностью, малой пульсацией крутящего момента, низким уровнем шума и отсутствием обслуживания. IM могут легко работать на высокой скорости свыше 15 000 об/мин в широком диапазоне постоянной мощности. Однако схема управления асинхронными двигателями сложна, а их эффективность и удельная мощность относительно низки по сравнению с SDPM, что приводит к их все более низкой доле на мировом рынке [10].

## **Двигатели с постоянными магнитами**

### ***Двигатель постоянного тока с постоянными магнитами***

При замене обмотки возбуждения и магнитных полюсов обычных ДКМ на РМ устанавливается ДКМ с постоянными магнитами. РМ-DCM демонстрируют более высокую удельную мощность и эффективность, но требуют большего обслуживания и демонстрируют низкий срок службы и колебания крутящего момента из-за системы коммутатора и щеток; это все еще проблемы, которые необходимо решить для приложений EV.

### ***Синхронный двигатель с постоянными магнитами***

В PMSM статор с трехфазными обмотками такой же или аналогичный статору IM или синхронного двигателя, а РМ заменяют обмотку возбуждения традиционных синхронных двигателей. В зависимости от положения РМ на роторе или в нем, PMSM можно разделить на поверхностного монтажа (SPM) и встраиваемого типа (IPM). Хорошо спроектированные IPM отличаются высоким реактивным крутящим моментом, высокой эффективностью, высоким коэффициентом мощности, низким тепловыделением, простой конструкцией, небольшими размерами и низким уровнем шума. С развитием стратегии управления силовой электроникой IPM стали доминировать в тяговых двигателях. Кроме того, благодаря полностью закрытой конструкции IPM, не требующие технического обслуживания, имеют низкие потери на трение ветром и низкий уровень шума от ветра.

### ***Бесщеточный двигатель постоянного тока с постоянными магнитами***

РМ-BLDCM конструктивно и теоретически является особым PMSM, но его обмотки сосредоточены нормально, а форма волны тока статора трапециевидная, а не синусоидальная в SPM. Коллекторно-щеточная система не требуется. Однако пульсации крутящего момента и шум появляются во время электрической коммутации, и трудно достичь максимальной скорости, превышающей удвоенную базовую скорость.

### ***Гибридный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов***

Добавляя обмотки возбуждения к PMSM, двигатель имеет как обмотки с постоянными магнитами, так и обмотки возбуждения, и становится гибридным двигателем с возбуждением, то есть РМ-HEM. Этот двигатель имеет минимальное рассеяние потока, высокую плотность потока в воздушном зазоре, высокую удельную мощность и хорошие моментно-скоростные характеристики. Однако его топология и управление относительно сложны из-за двух отдельных возбуждений.

Таким образом, PMSM, особенно IPM, является лучшим выбором для тяговых электродвигателей НЕВ [11].

## **Развитие технологии PMSM**

Будущие технологии тяговых двигателей для NEV сосредоточены на таких ключевых факторах, как высокая эффективность, высокая скорость, высокая удельная мощность, низкий уровень вибрации и шума, лучшая электромагнитная совместимость (ЭМС) и низкая стоимость.

Технологии намотки с высоким коэффициентом заполнения пазов

Применяя обмотки с высоким коэффициентом заполнения пазов с плоскими/прямоугольными проводами или обмотками со шпильками [12], можно значительно снизить нагрев обмотки, а степень использования медных материалов обмотки можно увеличить на 15–20 %, что является основным способом улучшить плотность крутящего момента, удельную мощность и эффективность. Например, удельная мощность 4,6 кВт/кг достигается в двигателе GM VOLT за счет шпильчатых крыльев.



## Технология высокоскоростных двигателей

Размер двигателя пропорционален его крутящему моменту. Для двигателя с заданной потребляемой мощностью его мощность равна крутящему моменту, умноженному на скорость. Увеличивая рабочую скорость, можно уменьшить требуемый крутящий момент для двигателя, тем самым уменьшая объем и вес двигателя, а его удельная мощность увеличивается с увеличением скорости. Например, скорость тягового двигателя 17 900 об/мин используется в Tesla Model 3, а скорость двигателя 25 000 об/мин должна быть достигнута к 2035 году в дорожной карте NEV Technology Roadmap 2.0 Китая.

## Эффективные технологии управления температурным режимом

Комбинированное масляно-водяное охлаждение и новые топологии охлаждения используются для улучшения технологий охлаждения и теплопередачи тяговых двигателей, в результате чего повышается удельная мощность двигателей.

PMSM для NEV постоянно совершенствуются во всем мире в области удельной мощности, системной интеграции, эффективности, максимальной рабочей скорости, процесса производства обмотки и технологий охлаждения

## Вывод

Текущее состояние моторных систем и технологий трансмиссии NEV систематически анализируется; технологические инновации и приложения в материалах, устройствах и силовых агрегатах обобщаются в деталях; и сравниваются разные алгоритмы управления. Несмотря на то, что характеристики тяговых двигателей и силовых агрегатов значительно улучшились, требуются дополнительные исследования и разработки для более инновационных технологий, таких как оптимизация конструкции двигателей и алгоритмы управления, анализ мультифизического моделирования, расчет надежности, системная интеграция с совместно рассматриваемыми двигателями, контроллерами и редукторами. / трансмиссии, двигательная система следующего поколения на основе устройств SiC, двигатели с постоянными магнитами с меньшим содержанием или без тяжелых редкоземельных материалов с постоянными магнитами, эффективные методы охлаждения двигателя, а также разработка новых материалов и их применение.

Динамические характеристики автомобиля, функции энергосбережения, безопасность и комфорт в основном определяются системами электропривода.

## Литература

1. Кузнецов М.Ю., Кубарьков Ю.П. Принцип работы асинхронного электродвигателя. Пуск электродвигателя // Перспективы развития науки в современном мире, 2018. С. 110-114.
2. Kumar P.R., Alok K. Adoption of electric vehicle: a literature review and prospects for sustainability. J. Clean. Prod. 253, 119911 (2020).
3. Ершов В.С. Акулов А.А., Моторин Р.Р. Электромобили: будущее автомобилей // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2021. № 1. С. 162-166. EDN YODPIU.
4. Lopez I., Ibarra E., Matallana A., Andreu J., Kortabarria I. Next generation electric drives for HEV/EV propulsion systems: technology, trends and challenges // Renew. Sustain. Energy Rev. 114, 109336. 2019.
5. Zhu Z.Q., Howe D. Electrical machines and drives for electric, hybrid, and fuel cell vehicles // Proc. IEEE no. 4(95), pp. 746-765. 2007.
6. Salem A., Narimani M. A review on multiphase drives for automotive traction applications // IEEE Trans. Transp. Electrification, no. 4(5), pp. 1329-1348. 2019.
7. Ситников А.О., Акулов А.А., Ершулов В.А. Полимерные технологии в машиностроении // Образование. Наука. Производство : Материалы XIV Международного молодежного форума, Белгород, 13-14 октября

2022 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. С. 103-107. EDN SXNWVY.

8. *Chau K.T., Chan C.C., Liu C.* Overview of permanent-magnet brushless drives for electric and hybrid electric vehicles // *IEEE Trans. Ind. Electron.*, no. 6(55), pp. 2246-2257. 2008.

9. *Wang S., Deng C.* Research on electric motor technologies for electric vehicles // *Micro Motor (Servo Technology in Chinese)*, no. 39(8), pp. 83-85. 2006.

10. *Yang Z., Shang F., Brown I.P., Krishnamurthy M.* Comparative study of interior permanent magnet, induction, and switched reluctance motor drives for EV and HEV applications // *IEEE Trans. Transp. Electrification*, no. 3(1), pp. 245-254. 2015.

11. *Uglielmi P.* Comparison of induction and PM synchronous motor drives for EV application including design examples // *IEEE Trans. Ind. Appl.*, no. 6(48), pp. 2322-2332. 2012.

12. *Cha K.S., Kim D.M., Jung Y.H., Lim E.S.* Wound field synchronous motor with hybrid circuit for neighborhood electric vehicle traction improving fuel economy // *Appl. Energy* 263, 114618. 2020.

13. *Михайлов О.В.* Основы мировой конкурентоспособности // Сер. Интеллектуальное богатство России. Москва, 1999.

14. *Ивантер В.В., Кузык Б.Н.* Будущее России: инерционное развитие или инновационный прорыв? Монография. Москва, 2005.

15. *Кибанов А.Я., Дмитриева Ю.А.* Управление персоналом // конкурентоспособность выпускников вузов на рынке труда. Москва, 2011.

16. *Пузаков А.В., Осаулко Я.Ю.* Исследование влияния эксплуатационных факторов на тепловое состояние автомобильного генератора // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2018. № 1 (52). С. 16-23.

17. *Надараиа Ц.Г., Селиванов А.И., Шестаков И.Я., Фадеев А.А., Бабкина Л.А.* Химико-кинетический накопитель энергии и мотор-редуктор для электромобиля // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2017. № 1 (48). С. 12-17.

18. *Мельникова Т.Е., Мельников С.Е., Завязкина В.В.* Электромобили: перспективы и пути развития // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2019. № 3 (58). С. 22-26.

19. *Блудян Н.О.* Перспективы развития электрических автобусов // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2020. № 3 (62). С. 19-24.

20. *Ухов И.В., Климов А.В., Долгий И.О., Рябцев Ф.А.* Анализ и моделирование алгоритма i2t лимитирования тока для литий-ионных батарей // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2021. № 1 (64). С. 3-10.

21. *Климов А.В., Анисимов В.Р.* О некоторых аспектах повышения энергонасыщенности тяговых электрических двигателей // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2021. № 2 (65). С. 26-31.

22. *Пузаков А.В., Султанов Н.З.* Аналитическая модель обмотки ротора автомобильного генератора // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2022. № 4 (71). С. 11-17.

# КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

**Субботин Борис Сергеевич,**

*начальник Управления научно-исследовательскими работами (УНИИР), к.т.н.,  
МАДИ, Москва, Россия*

**Ахметжанова Эльмира Умяровна,**

*ведущий инженер, аспирант, МАДИ, Москва, Россия*

## **Аннотация**

*Рассмотрено понятие Цифровой двойник, выделены концепции, произведен анализ предыдущего опыта применения Цифровых двойников. Одной из главных задач цифровых двойников организации является поддержка принятия управленческих решений на этапах планирования, контроля, анализа компании, а также всех процессов, которые происходят в организации. Актуальность исследований подтверждается особенностью внедрения цифрового двойника, которой является увеличение эффективности предприятия.*

**Ключевые слова:** цифровой двойник, предприятие, визуализация, моделирование, математическая модель.

## **Введение**

Непрерывное развитие продуктов цифровизации изменяет цифровую экономику, затрагивает различные сферы глобализации, а также оптимизирует процессы современного производства, повышает надежность.

В настоящее время увеличивается заинтересованность в направлении «цифровизация промышленных комплексов» с использованием таких технологий как «цифровой двойник».

Некоторые исследователи считают, что цифровой двойник – абстрактная концепция, которая позволяет улучшить проектирование и производство продукции [1, 9-17]. Но несмотря на это, в последние годы данная концепция стала наполняться конкретным содержанием. В основе цифрового двойника лежит математическая модель, которую можно разделить на две составляющие: уравнения (методы модели) и данные (свойства модели).

Цифровой двойник обладает задачами, к которым относят разработку продукта, осуществление поддержания работы реального объекта, которое производится за счет виртуальной модели, которая работает на базе математического моделирования свойств и поведения реального объекта. Использование цифровых двойников позволит улучшить качество обслуживания в различных отраслях, в частности на рынке перевозок и, как следствие, будет влиять на уровень сервиса и позволит повысить доходность отрасли [2].

## **Методы и результаты исследований**

Согласно оригинальной концепции, цифровой двойник должен отвечать трём основным требованиям:

1. Возможность визуализации, разбора на виртуальные компоненты и их исследования;
2. Реалистичность поведения при проведении виртуальных испытаний;
3. Возможность получения информации от двойника, как при проверке реального продукта.

Основная часть. Большинство исследователей считают, что модель должна реализовывать методы имитационного моделирования [3] – с требуемой точностью и достоверностью описывать процессы так, как они проходили бы в действительности и с которой можно проводить вычислительные эксперименты с целью получения информации о динамике системы, что соответствует второму и третьему пункту концепции цифрового двойника.

Цифровые двойники должны строиться на базе математически формализованных методах теории упругости, прочности, надежности и т.д. Технология цифровых двойников должна сопровождаться методологией, которая включает теоретические, программные и технические методы и средства разработки имитационных моделей. Анализируя существующий опыт можно убедиться в правоте этих утверждений, в основе лежат имитационные модели.

Данные можно поделить на две категории, такие как: параметры модели и показатели. Параметры модели жестко заданы, представляют собой конструктивные характеристики, а показатели определяются в ходе функционирования цифрового двойника. Для двойника-прототипа задаются «идеализированные» параметры в соответствии с конструкторской документацией или планом факторного эксперимента. Параметры двойника-экземпляра соответствуют физическому объекту, они могут корректироваться в ходе его функционирования, например, вследствие изнашивания. Показатели двойника-прототипа определяются только как результат математического моделирования, двойника-экземпляра – как результат моделирования и определения на физическом объекте. В случае, если они не совпадают, производится корректировка математической модели. Данные могут накапливаться с целью последующего анализа и принятия решений.

Альтернативный подход к методам создания математической модели предполагает обратную последовательность – в начале происходит накопление данных, затем на их основе создается математическая модель [4], при этом используются методы машинного обучения, регрессионный анализ, нейросетевое моделирование, а также генетические алгоритмы [5]. Достоинство такого подхода – возможность выявить и в дальнейшем учесть неявные зависимости [6] и низкая чувствительность модели к зашумленности [7]. Недостатками являются: невозможность создания двойника-прототипа в отсутствие физического объекта (что критично на ранних стадиях проектирования объекта); недостаточно информативные возможности с позиции предсказания аварийных и других нетипичных ситуаций. Модель хорошо работает только в том диапазоне внешних условий, в котором она обучалась. Чтобы минимизировать эти недостатки некоторыми исследователями предлагается метод обучения нейросети по дифференциальным уравнениям.

Анализируя публикации и опыт применения, максимальная допустимая погрешность определения показателей цифрового двойника – 5 %. Соответствующая погрешность определяется действующими нормативно-техническими документами к методам испытаний.

Требование к возможности разбора на виртуальные компоненты реализуется с помощью компонентного подхода.

В идеальном варианте цифровой двойник должен функционировать в режиме реального времени «параллельно» с физическим объектом. К цифровому двойнику-прототипу это требование в полной мере не относится, поэтому при проведении предварительных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ можно и нужно применять более детальные компоненты, интегрированные CFD/FEM-модели, которые основаны на численных методах решения дифференциальных уравнений в частных производных.

Возможность получения информации от цифрового двойника обеспечивается двумя методами: как результат математического моделирования; от датчиков, установленных на физическом объекте (для двойника-экземпляра). Поэтому цифровые двойники часто называют кибер-физическими системами [8]. Под кибер-физическими системами понимают умные системы, включающие интерактивные инженерные сети из физических и коммуникационных компонент. Кибер-физические и связанные с ними системы, такие как интернет вещей, а также промышленный интернет – общепризнанные инструменты со значимым потенциалом внедрения, создающим пути направления использования инновационных приложений, оказывающих огромное влияние на множество секторов мировой экономики.

Технология создания цифровых двойников включает следующие этапы:

- разработка математических моделей, обладающих высоким уровнем адекватности по отношению к реальным физическим объектам;
- назначение ограничений и целевых показателей;
- проведение виртуальных испытаний с применением виртуальных стендов;
- автоматизация выполнения инженерных расчетов;

- создание базы данных моделей и расчетных вариантов;
- формирование системы мониторинга, обработки и визуализации результатов инженерных вычислений, изменения показателей и ограничений на всех этапах жизненного цикла изделия.

Формируемая система цифровых двойников, охватывающая весь жизненный цикл продукта, создает единое информационное поле, обеспечивающее прогноз и оптимизацию производственных процессов компании, прежде чем она начнет инвестировать в создание новых физических прототипов, их последующие маркетинг и продажу.

### Заключение

1. Современная экономика требует максимального сокращения затрат времени и средств на разработку и постановку продукции на производство, анализ технического состояния объектов на всех стадиях жизненного цикла, оперативное внесение изменений в их конструктивные параметры и режимы эксплуатации. Это в полной мере можно рассматривать на примере разных отраслей и производств.

2. Цифровые двойники, применяемые на протяжении всего жизненного цикла продукта, позволяют моделировать, прогнозировать и оптимизировать производственные системы и процессы компании, прежде чем компания начнет инвестировать в создание новых физических прототипов, их последующий маркетинг и продажу.

3. Технология цифрового двойника приобретает значимое значение в условиях формирования системы эксплуатации объекта, основанной на прогностических решениях, связанных с его ремонтом и обслуживанием

### Литература

1. *Boschert S., Rosen R.* Digital twin – the simulation aspect [электронный ресурс] // *Mechatronic futures*. Springer International Publishing. 2016, pp. 59-74. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-32156-1\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-32156-1_5) (дата обращения: 04.09.2023).

2. *Козограй О.А.* Информационные технологии как инструмент повышения качества транспортного обслуживания // *Экономика устойчивого развития*. 2023. № 1 (53). С. 173-175.

3. *Петров А.В.* Имитация как основа технологии цифровых двойников // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2018. т. 22, № 10. С. 56-66.

4. *Rosen R., G. von Wichert, Lo G., Bettenhausen K.D.* About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing [электронный ресурс] // *Proceedings of 15th IFAC symposium on information control problems in manufacturing*. 2015. doi:10.1016/j.ifacol.2015.06.141. URL: [https://www.researchgate.net/publication/282465830\\_About\\_The\\_Importance\\_of\\_Autonomy\\_and\\_Digital\\_Twins\\_for\\_the\\_Future\\_of\\_Manufacturing](https://www.researchgate.net/publication/282465830_About_The_Importance_of_Autonomy_and_Digital_Twins_for_the_Future_of_Manufacturing) (дата обращения: 04.09.2023).

5. *Kang C.C., Chuang Y.J., Tung K.C., Chao C.C., Tang C.Y., Peng S.C., Wong D.S.* A genetic algorithm-based Boolean delay model of intracellular signal transduction in inflammation [электронный ресурс] // *BMC Bioinformatics*. 2011. Vol. 12(1):S17. doi: 10.1186/1471-2105-12-S1-S17. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21342546> (дата обращения: 04.09.2023).

6. *Кабалдин Ю.Г., Шатагин Д.А., Аносов М.С., Кузьмишина А.М.* Разработка цифрового двойника станка с ЧПУ на основе методов машинного обучения // *Вестник Донского государственного технического университета*. 2019. Т. 19. № 1. С. 45-55.

7. *Tarkhov D.A., Vasilyev A.N.* New neural network technique to the numerical solution of mathematical physics problems. I: Simple problems // *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)*. 2005. Vol. 14(1), pp. 59-72.

8. *Khaitan S.K., McCalley J.D.* Design techniques and applications of cyberphysical systems: A survey // *IEEE Systems, Journal*. 2015. Vol. 9(2), pp. 350-365.

9. *Михайлов О.В.* Основы мировой конкурентоспособности // *Сер. Интеллектуальное богатство России*. Москва, 1999.

10. *Ивантер В.В., Кузык Б.Н.* Будущее России: инерционное развитие или инновационный прорыв? Монография. Москва, 2005.

11. *Кибанов А.Я., Дмитриева Ю.А.* Управление персоналом // конкурентоспособность выпускников вузов на рынке труда. Москва, 2011.

12. Карелина М.Ю., Арифиллин И.В., Терентьев А.В. Аналитическое определение весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автотранспортных средств // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2018. № 1 (52). С. 3-9.
13. Долина О.Н., Жидкова М.А., Шпилькина Т.А., Ахметжанова Э.У. Реализация политики импортозамещения в автомобильной промышленности // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. № 2 (49). С. 22-28.
14. Богумил В.Н., Элдиба Х.М.М.М. Разработка архитектуры бортового навигационно-связного блока для городского пассажирского транспорта, включающего функцию контроля режимов труда и отдыха водителей // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2022. № 4 (71). С. 96-101.
15. Ухов И.В., Анисимов В.Р., Рябцев Ф.А., Спинов А.Р. Исследование эквивалентного цикла движения автомобиля с тяговым электрическим приводом на основании анализа длины маршрутов и пассажиропотока // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2022. № 3 (70). С. 3-7.
16. Abid S.R., Ali S.H., Kadhum A.L., Al-Gasham T.S., Gunasekaran M., Fediuk R., Vatin N., Karelina M. Impact performance of steel fiber-reinforced self-compacting concrete against repeated drop weight impact // Crystals. 2021. Т. 11. № 2. С. 1-17.
17. Поляков В.В., Щенин Р.К., Адно Ю.Л., Аникин Б.А., Аникин О.Б., Антонов В.А., Атурин В.В., Варнаевский В.Г., Воронина Н.В., Гельвановский М.И., Гребеничиков Э.С., Елизаров В.Г., Иванова Н.И., Кириллов В.Н., Кудинова О.Н., Кузнецов А.В., Логинов Б.Б., Михайлов О.В., Могилевкин И.М., Нестеренко Ю.Н. и др. Мировая экономика и международный бизнес // Учебник для студентов высших учебных заведений / (Пятое издание, стереотипное) Москва, 2008.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ПОВОРОТАХ ДЛЯ ДВУХКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Сервица Александр Дмитриевич,  
МАДИ, Москва, Россия  
[aservitsa@mail.ru](mailto:aservitsa@mail.ru)

### Аннотация

*В данной статье показана новая система предупреждения о поворотах для мотоциклов, разработанная в рамках проекта SAFERIDER 7-й FP EC, среди других передовых систем помощи водителю. Описанная здесь функция предупреждения о поворотах (CW) следует целостному подходу, который сочетает в себе геометрию дороги, динамику мотоцикла, действия водителя и стиль вождения. Стратегия предупреждения основана на коррекции продольной динамики, полученной на основе предварительно просматриваемого идеального маневра (эталонный маневр), непрерывно вычисляемого на основе фактического состояния автомобиля. В нормальных условиях вождения эталонный маневр соответствует маневру водителя, корректировка не требуется и предупреждение не выдается. Но если обнаруживается большая разница между фактическим и идеальным ускорением, водитель получает предупреждение о необходимости снизить скорость или затормозить. Как только будет достигнуто правильное значение замедления, предупреждение исчезнет, что улучшит приемлемость системы.*

**Ключевые слова:** интеллектуальная система предупреждения о поворотах, коррекции продольной динамики.

### Введение

Мотоциклисты относятся к наиболее уязвимым группам участников дорожного движения, и по текущей статистике они участвуют в авариях со смертельным исходом в 20 раз чаще, чем пользователи автомобилей [1]. Исследование MAIDS [2] показало, что ошибка водителя РТW является основным фактором, способствующим несчастным случаям в 37% всех случаев. Несмотря на то, что другие водители транспортных средств несут ответственность за 61% аварий с участием нескольких транспортных средств, водители РТW являются причиной 52% несчастных случаев со смертельным исходом от MAIDS.

Почти в 30% случаев было установлено, что водитель не успел совершить действие, чтобы избежать аварии. Вышеприведенные факты свидетельствуют о том, что заблаговременное предупреждение водителя о потенциальной опасности может помочь ему/ей вовремя предпринять корректирующие действия и/или снизить риск потери контроля над транспортным средством [11-14].

### Методы и результаты исследований

Проект SAFERIDER 7-й Рамочной программы направлен на внедрение передовых систем помощи водителю, специально разработанных для мотоциклов, которые называются «Усовершенствованные системы помощи водителю» (ARAS). График проекта включает разработку пяти функций помощи водителю, встроенных в унифицированную аппаратную и программную структуру, а именно: предупреждение о превышении скорости, предупреждение о повороте, предупреждение о лобовом столкновении, поддержка перекрестков и поддержка смены полосы движения.

Исследования показывают, что аварии на поворотах, на которые приходится около 15-17% всех дорожно-транспортных происшествий с мотоциклами, в основном происходят по вине мотоциклистов, а не других участников дорожного движения. Это причина для разработки функции предупреждения о повороте, чтобы помочь водителю при преодолении поворота. От этого больше выиграют неопытные гонщики, так как у них почти в три раза больше шансов попасть в подобную аварию.

Однако разработка функции поддержки кривой не является простым переводом того же ADAS, разработанного для автомобилей [3, 4], потому что двухколесные автомобили с электроприводом (PTW) отличаются во многих аспектах. Мотоциклисты менее склонны принимать систему, которая мешает динамике мотоцикла и личному стилю вождения. Поскольку PTW являются одноколейными транспортными средствами, они по своей сути являются «нестабильными» системами; в то время как мотоциклисты на поворотах могут пересекать полосу движения по ширине, поэтому расчет рекомендаций, учитывающих траекторию движения водителя по полосе, является обязательным для системы, целью которой является выдача полезных и приемлемых предупреждений при движении по кривой.

Кроме того, ARAS технически сложны, потому что по сравнению с автомобилями в них меньше места для датчиков и меньше энергии. Мотоциклы также имеют большие углы крена, что затрудняет оценку положения автомобиля на полосе движения.

Первоначальный анализ прошлых и текущих проектов и доступных устройств на рынке [5] показал, что мало что было сделано для разработки таких систем для PTW, за исключением информационного уровня. Предшественники интеллектуальных систем для мотоциклов появились благодаря инициативе японских усовершенствованных транспортных средств безопасности (ASV), направленной на разработку технологий предотвращения аварий и смягчения их последствий. Был разработан ряд прототипов автомобильных систем, среди которых Yamaha ASV-2, которая передает предупреждающую информацию (например, лобовое столкновение, спидометр и навигацию) на визуальный дисплей на консоли и через наушник, который носит водитель. Система Yamaha ASV-2 также включает функцию предупреждения о превышении скорости на кривых, которая находится на начальном этапе разработки.

ISA (Intelligent Speed Adaptation) [6] – это технология, которая может помочь водителям поддерживать разрешенную скорость автомобиля на дороге. Был проведен ряд европейских испытаний для определения функциональной спецификации ISA, подходящей для мотоцикла, и оценки ее функциональности и производительности, а также приемлемости для пользователей.

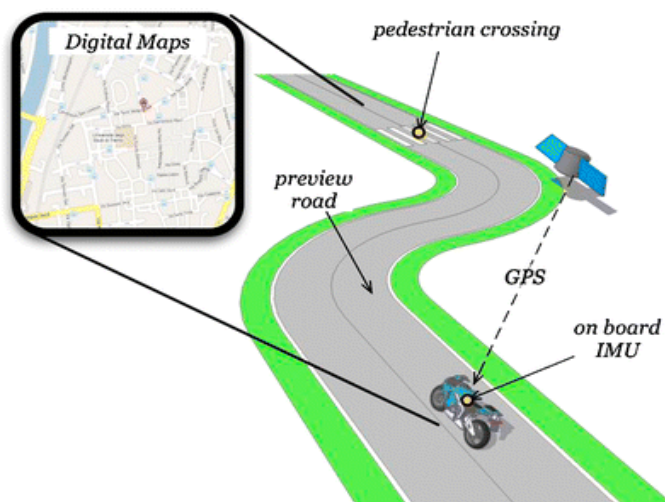
Другие соответствующие проекты, такие как SIM [7] и PISA [8], посвящены разработке активных электронных устройств (например, усовершенствованной антиблокировочной тормозной системы, контроля тяги и торможения по проводам) для PTW и/или алгоритмов для активации пассивных устройства безопасности, такие как защитные надувные мешки, которые носит водитель или прикрепленные к транспортному средству (для защиты нижних конечностей).

Функция Curve Warning (CW), описанная в данной статье, решает вышеупомянутые аспекты с помощью нового, уникального и целостного подхода, который сочетает в себе геометрию дороги, динамику мотоцикла, действия водителя и стиль вождения.

### **Концепция предупреждения о кривых**

Результаты анализа аварий показывают, что 15-17% всех мотоциклетных аварий происходят при движении по кривой [2]. Таким образом, система предупреждения о поворотах была разработана для обнаружения неправильных, недостаточных или отсутствующих действий водителя в таких ситуациях и ненавязчиво, но эффективно предупреждала его, предлагая более подходящие действия для правильного управления автомобилем в продольном направлении. Типичный сценарий: PTW движется по дороге с поворотами и возможными опасностями (горячие точки, пешеходные переходы и т.д.). В этой ситуации CW стремится помочь водителю позитивно и безопасно преодолеть дорогу впереди.





**Рис. 1.** Типовой сценарий и основные датчики, используемые в функции предупреждения о повороте

Функция CW вычисляет с частотой 5-10 циклов в секунду эталонный «оптимально-безопасный» маневр, прогнозируя скорость и схемы крена, обрабатывая цифровые карты, инерциальные измерения и информацию GPS. По сравнению с существующими системами представленная функция CW не основана на наборе эвристических правил и не относится к юридическим или каким-либо предполагаемым ограничениям скорости. Функция CW является примером передовых целостных методов оптимального нелинейного управления [9], которые учитывают многие аспекты динамики мотоцикла и характеристики сценария.

Эталонный маневр рассчитывается с частотой 5-10 циклов в секунду с использованием подхода динамической оптимизации [10], который включает:

- адекватная математическая модель динамики автомобиля ПТВ;
- текущее динамическое состояние РТВ;
- модель геометрии и атрибутов дороги;
- образец ускорения гонщика и целевое состояние в конце горизонта предварительного просмотра.

Функция распознает неадекватные маневры водителя, корректируя продольную динамику мотоцикла по отношению к прогнозируемому маневру. На основе этого рассчитывается индекс предупреждения о повороте, который оценивает уровень риска при движении по дороге впереди, который используется для надлежащего предупреждения водителя с помощью предварительно определенного набора устройств НМИ.

### Вывод

Представленное предупреждение о поворотах – это первая попытка реализовать целостную функцию, которая предупреждает водителя, когда он или она преодолевает поворот с неправильной динамикой для дорожных условий впереди. Предупреждение генерируется путем расчета оптимального предварительного маневра, учитывающего множество аспектов: от динамики мотоцикла до геометрии и характеристик дороги, стиля вождения и физических ограничений.

CW является одной из усовершенствованных систем помощи при вождении, разрабатываемых в рамках проекта SAFERIDER, который также включает в себя функции предупреждения о превышении скорости, предупреждения о лобовом столкновении, поддержки перекрестков и поддержки смены полосы движения. CW основан на архитектуре SAFERIDER и размещается на ЭБУ, который собирает данные с доступных датчиков, реконструирует сценарий движения, рассчитывает маневр предварительного просмотра и выдает соответствующее предупреждение о кривой. Это предупреждение впоследствии используется менеджером НМИ для управления наиболее подходящим элементом НМИ.

Функция CW сначала была настроена и протестирована на симуляторе верховой езды высшего уровня. Та же среда использовалась выборкой из 20 водителей для оценки системы с зарегистрированными объективными данными и для оценки ее приемлемости с помощью вопросников. Предварительный объективный анализ эффективности системы был проведен путем расчета среднего изменения продольного ускорения и газа после события предупреждения. Результаты показывают, что когда система активна, водители реагируют быстро и с более сильными корректировками.

### Литература

1. Гаевский В.В. Развитие теории движения одноколейных транспортных средств : монография. М.: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2019. 176 с. ISBN 978-5-7962-0257-9. EDN YPTCMJ.
2. Мельников А.С., Петренко М.Л., Юшкевич А.В. Алгоритм управления системой активной безопасности двухколесного транспортного средства на силовых источниках информации // Актуальные вопросы машиноведения. 2022. Т. 11. С. 66-69. EDN CYIHXJ.
3. Варламова Е.С., Гаевский В.В., Князев И.М. Пути повышения устойчивости мотоцикла // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2013. № 6(34). С. 12-15. EDN RSCDEP.
4. Грачев Д.Г. Разработка адаптивной фары для двухколесных транспортных средств // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : Тезисы докладов, Москва, 15-16 марта 2018 года. М.: Общество с ограниченной ответственностью "Центр полиграфических услуг " РАДУГА", 2018. С. 130. EDN YVBONB.
5. Ершов В.С., Акулов А.А., Моторин Р.Р. Электромобили: будущее автомобилей // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2021. № 1. С. 162-166. EDN YODPIU.
6. Селютин В.Л. Разработка программно-аппаратного комплекса для подбора индивидуальных параметров двухколесного транспортного средства "Пак-м" // Будущее науки – 2015 : Сборник научных статей 3-й Международной молодежной научной конференции в 2-х томах, Курск, 23-25 апреля 2015 года / Ответственный редактор: Горохов А.А.. Том 2. Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2015. С. 322-324. EDN TYBZTL.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022667751 Российская Федерация. Программное средство для определения параметров устойчивости компактных транспортных средств (КТС) при равномерном круговом движении для пяти вариантов крена : № 2022667299 : заявл. 26.09.2022 : опубл. 26.09.2022 / Г. Сатер, В. В. Гаевский, И. В. Одиноква [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет". EDN STTEPO.
8. Петренко М.Л., Юшкевич А.В., Лихтар С.В. Совершенствование системы активной безопасности двухколесного транспортного средства для предотвращения кувырка // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : Материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 20-21 апреля 2023 года. Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования "Белорусско-Российский университет", 2023. С. 245. EDN RBUIWH.
9. Птицын Д.А., Акулов А.А., Ершов В.С. Программное обеспечение для моделирования интеллектуальных транспортных систем // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. 2021. Т. 10. № 4. С. 29-32. EDN GJDDDF.
10. Шадрин С.С., Иванов А.М., Невзоров Д.В. Автономное колесное транспортное средство в составе интеллектуальных транспортных систем // Естественные и технические науки. 2015. № 6(84). С. 309-311. EDN UDDYUT.
11. Dymkova S.S., Dymkov A.D. Synchronizing of moving object with novel 3d maps imaging // В сборнике: 2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2020. 2020. С. 9166029.
12. Dymkova S.S., Dymkov A.D. Multifactorial methodology of cycling routes time calculation based on 3d maps // В сборнике: 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings. 2021. С. 9416046.
13. Khadonova S.V., Ufimtsev A.V., Dymkova S.S. Wide application innovative monitoring system with personal smart devices // В сборнике: 2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2020. 2020. С. 9166115.
14. Дымкова С.С. Облачные IoT платформы и приложения для оптимизационного управления транспортом // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2020. Т. 10. № 4. С. 39-50.